



CADASTRO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO EM BAIXA TENSÃO E PROJETO DE SUBSTITUIÇÃO DE CONDUTORES NUS POR CABOS DE TORÇADA

JOÃO PEDRO DIAS REGO

Outubro de 2017

CADASTRO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO EM BAIXA TENSÃO E PROJETO DE SUBSTITUIÇÃO DE CONDUTORES NUS POR CABOS DE TORÇADA

João Pedro Dias Rego



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2017

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

Candidato: João Pedro Dias Rego, Nº 1120470, 1120470@isep.ipp.pt

Orientação científica: Eng.º António Gomes, aag@isep.ipp.pt

Empresa: EDP Distribuição

Supervisão: Eng.º Luiz Sérgio Quinteira, LuisSergio.Quinteira@edp.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2017

AGRADECIMENTOS

Desde o início do estágio, tive o privilégio de contar com a confiança e o apoio de inúmeras pessoas que foram responsáveis pela minha integração na equipa, a quem eu gostaria de realçar a minha gratidão.

Ao meu Orientador na Empresa, Engenheiro Luiz Quintera, agradeço o apoio, a partilha do saber e o acompanhamento constante.

Um agradecimento particular também ao meu orientador no ISEP, Engenheiro António Gomes, pela dedicação e disponibilidade na colaboração sempre que por mim foi solicitado.

Aos meus amigos, que sempre demonstraram disponibilidade, camaradagem e apoio no meu percurso académico.

Por fim, agradeço à minha família, pelo incentivo constante, pelo apoio incondicional e pelos valores que me foram transmitindo durante a minha vida.

O meu sincero obrigado por acreditarem em mim e por me apoiarem,

João Pedro Dias Rego

RESUMO

Uma das problemáticas mais importantes, e que se tem assumido como uma vantagem competitiva, é a segurança nas redes de distribuição e a qualidade no fornecimento de energia elétrica. Nesse contexto, o fornecimento de energia a consumidores domésticos deve ser adequado ao seu consumo, quer em termos de quantidade requisitada, quer em qualidade, nomeadamente no que diz respeito à qualidade da onda de tensão e à continuidade de serviço.

A operação de redes e sua exploração em segurança preveem que sejam protegidos equipamentos, mas sobretudo os seres humanos, havendo uma priorização da proteção da vida humana. Uma vez que, em especial nas zonas rurais, a distribuição de energia elétrica é efetuada com recurso a redes aéreas, por motivos económicos e de facilidade de alteração ou deteção de defeitos é priorizada a reestruturação destas redes no sentido de substituição de condutores nus por cabos de torçada, por motivos de segurança, logística, aplicação, durabilidade, design e comportamento elétrico. Para obter uma adequada gestão da rede e uma exploração mais fiável, eficaz e eficiente é importante que haja conhecimento e catalogação da rede e das suas características. Esse processo de recolha e de entendimento de dados é facilitado pela informatização da rede, e pela operação à distancia, sendo preponderante a operação *on-line*. No caso de operações relacionadas com avarias é muito importante que se possa localizar, ou pelo menos delimitar adequadamente a zona de avaria, para que se saiba onde é necessário efetuar reparações e minimizar o número de clientes afetados pela eventual interrupção de serviço. A agilidade de operação pode ser incrementada com recurso à cadastragem da rede de distribuição, sendo que a rede de baixa tensão ainda não está totalmente cadastrada, apesar de estar em decurso um processo gradual com esse efeito. A curto prazo será levado a cabo um reposicionamento da rede de baixa tensão, tendo como objetivo georreferenciar os pontos de iluminação pública, os pontos de entrega e outros elementos de rede como caixas ou armários, e ainda criar uma aproximação do traçado de rede. Um processo mais completo e muito mais moroso, apesar de ser conhecido e correntemente utilizado, consiste em efetuar a caracterização de toda a rede, e de todos os seus elementos devidamente georreferenciados e qualificados.

Nesse contexto será efetuado o levantamento de todos os elementos de rede existentes numa zona onde o processo de cadastro ainda não tinha sido iniciado, implementando os respetivos dados em *software* específico, para que se possa flexibilizar a gestão dessa mesma rede,

nomeadamente em pedidos de deslocamento de infraestruturas, novos pedidos de ligação e resolução de avarias.

Em termos gerais pode-se referir que a distribuição de energia elétrica deve garantir que cada cliente receba com qualidade e de forma praticamente ininterrupta energia elétrica. Com o intuito de garantir a qualidade de energia, a rede de distribuição deve cumprir o previsto no enquadramento legal e normativo em vigor, priorizando, no caso da rede de baixa tensão, as quedas de tensão admissíveis para instalações de consumo. Os estudos de rede visam precisamente determinar esse fator e validar a solução técnica a implementar, sem violação das condições de serviço aos consumidores, podendo em certos casos ser reforçada a rede, ou serem implementados novos postos de transformação, e assim ser reestruturada uma parte significativa da rede.

A remodelação da rede é muitas vezes realizada em circuitos que são alvo de alterações, ou seja, por vezes é requalificado o traçado quando são necessárias alterações substanciais num determinado circuito. Assim sendo, é proposta a reestruturação da rede existente, sendo que para isso será necessário projetar as alterações a efetuar, bem como justificar a pertinência das intervenções a levar a cabo e a conformidade das alterações. A rede considerada tem na sua constituição um conjunto de condutores nus, sendo que se propõe a substituição desses condutores por cabos de torçada, tendo em conta os requisitos legais e de qualidade acima mencionados. Será determinada a adequação das infraestruturas existentes, nomeadamente no que diz respeito aos dados atualizados e cadastrados da rede bem como do consumo existente. O projeto conta com a substituição de cabos, derivações, proteções e também apoios. Serão incluídos no estudo cálculos justificativos e mapa das quantidades. Será também validada a rede atual no que respeita à adequação dos cabos de torçada já instalados, respetivas proteções, postes a utilizar e antecipação de possíveis expansões da rede atual.

Palavras chave: Rede de Distribuição, Baixa Tensão, Cabos de Torçada, Qualidade de Serviço, Segurança

ABSTRACT

One of the most important problems, which has been assumed as a competitive advantage, is the safety of the distribution networks and the quality of the electricity supply. In this context, the supply of energy to domestic consumers must be adequate for their consumption, in terms of quantity and quality requested, particularly regarding voltage wave quality and continuity of service.

The operation of networks and their safe operation predict the protection of equipment, but above all, human beings, with a prioritization of the protection of human life. Since, particularly in rural areas, the distribution of electricity is carried out using aerial networks, for economic reasons and for ease of alteration or detection of defects, it is prioritized the restructuring of these networks by replacing bare conductors for bundled cables in order to increase the safety, logistics, application, durability, design and electrical behavior. In order to obtain an adequate network management and a more reliable, effective and efficient operation, it is important that the network and its characteristics are known and cataloged. This process of collecting and understanding data is facilitated by the computerization of the network, and by remote operation, being predominant the operation on-line. In the case of operations related to failures, it is very important that the failure can be located or at least properly delimited to known where repairs are necessary and minimize the number of customers affected by the interruption of service. The agility of operation can be increased by the registration of the distribution network, and the low voltage network is not yet fully registered, although a gradual process is under way with this effect. In the short term, a repositioning of the low voltage network will be carried out, with the objective of georeferencing public light devices, delivery points and other network elements such as electric cabinets or electric poles. This intervention will create an approximation of the network layout. A more complete and much more time-consuming process consist in the characterization of the entire network, and all its elements properly georeferenced and qualified.

In this context, all the network elements existing in an area where the registration process has not yet been started will be surveyed, implementing their data in specific software, in order to improve the management of that network, to apply new requests for connection and troubleshooting.

In general terms it can be mentioned that the distribution of electric energy must ensure that each customer receives electricity with quality and almost uninterrupted. In order to guarantee the quality of energy, the distribution network must comply with the legal and normative framework in force, prioritizing, in the case of the low voltage network, the permissible voltage drops for consumption installations. The network studies are made precisely to determinate this factor and validate the technical solution to be implemented, without violating the conditions of service to consumers. In some cases the network needs to be reinforced, or even needs to be implemented new transformation stations. That cases could lead to a significant restructuration of the network.

Network remodeling is often performed on circuits that are subject to change, witch means the layout is sometimes requalified when substantial changes are required in a certain circuit. Therefore, it is proposed to restructure the existing network, for which it will be necessary to design the changes to be made, as well as justify the pertinence of the interventions to be carried out and the conformity of the changes. The network considered has a set of bare conductors and it is proposed to replace these conductors with bundled cables, considering the legal and quality requirements mentioned above. The adequacy of existing infrastructures will be determined, namely with regard to the updated and registered data of the network as well as the existing consumption. The project includes the replacement of cables, derivations, protections and supports. The study will include justification calculations and quantity of materials. The current network will be validated in terms of the adequacy of the cables that are already installed, their protections, the electric poles to be used and anticipation of possible expansions of the current network.

Keywords: Distribution Network, Low Voltage, Bundled Cables, Quality of Service, Security

ÍNDICE

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract.....	v
Índice	vii
Índice de Tabelas	xi
Índice de Figuras	xv
Siglas e Acrónimos.....	xvii
1. Introdução	1
1.1. Contextualização	1
1.2. Apresentação do aluno	2
1.3. Apresentação dos orientadores.....	2
1.3.1. No Instituto Superior de Engenharia do Porto.....	2
1.3.2. Na empresa	2
1.4. Apresentação da empresa	2
1.5. Objetivos	6
1.6. Calendarização	6
1.7. Organização do relatório	7
2. Sistema Elétrico de Energia	9
2.1. Aspetos gerais	9
2.2. Estrutura	10
2.3. Produção de energia	12
2.4. Transporte de energia	14
2.5. Distribuição de energia.....	16
2.5.1. Média Tensão	17
2.5.1.1. Rede de Distribuição	17

2.5.1.2	Postos de transformação	19
2.5.2.	Baixa Tensão	22
2.5.2.1.	Tipos de redes de distribuição em baixa tensão	24
2.5.2.2.	Redes Subterrâneas	25
2.5.2.3.	Redes Aéreas.....	28
2.5.2.4.	Redes mistas.....	36
2.5.2.5.	Estrutura das redes	36
2.5.2.6.	Modos de exploração	38
2.5.2.7.	Dimensionamento	40
2.6.	Softwares usados no planeamento e exploração de redes de média e baixa tensão	47
2.6.1.	Aspetos gerais	47
2.6.2.	CADGis.....	48
2.6.3.	Sistemas de informação técnica	49
2.6.4.	Distribution PLANing (DPLAN).....	51
2.7.	Iluminação pública.....	52
2.8.	Qualidade de serviço.....	54
2.8.1.	Aspetos gerais	54
2.8.2.	Regulamento da qualidade de serviço	55
2.8.3.	Qualidade da onda de tensão	57
3.	Estudo técnico de substituição de uma rede de baixa tensão aérea em condutores nus para condutores em torçada	63
3.1.	Aspetos gerais	63
3.2.	Fases de um projeto de construção ou remodelação de uma rede de baixa tensão .	63
3.3.	Caracterização demográfica e geográfica da localidade intervencionada	64
3.4.	Levantamento e caracterização das infraestruturas existentes.....	67
3.4.1.	Levantamento da rede	67
3.4.2.	Caracterização da rede	71

3.4.3.	Inserção da informação recolhida nas plataformas da Energias de Portugal (EDP).....	82
3.5.	Condições técnicas da rede existente	85
3.5.1.	Análise técnica do circuito 1	86
3.5.2.	Análise técnica do circuito 2	88
3.6.	Proposta de alteração.....	90
3.6.1.	Circuito 1	91
3.6.2.	Circuito 2	96
3.7.	Condições técnicas após alterações.....	100
3.7.1.	Circuito 1	101
3.7.2.	Circuito 2	102
3.8.	Comparação de resultados.....	105
3.8.1.	Implementação de condutores de 70mm ²	105
3.8.2.	Implementação de condutores de 50mm ²	108
3.8.3.	Implementação de condutores de 25mm ²	111
3.8.4.	Implementação de condutores de 16mm ²	113
4.	Outras atividades desenvolvidas durante o periodo de estágio.....	115
4.1.	Aspetos gerais	115
4.2.	Formação em segurança	115
4.3.	Análise e revisão de projetos.....	116
4.4.	Auditoria de segurança ao prestador de serviços externo	116
4.5.	Acompanhamento de obra.....	117
5.	Conclusões	119
5.1.	Conclusões gerais	119
5.2.	Componente académica.....	120
5.3.	Perspetivas de trabalho futuro	121
6.	Referências bibliográficas.....	123

6.1. Referências documentais.....	123
6.2. Webgrafia.....	126
Anexos.....	127
Anexo 1 – Amarrações de cabos de torçada.....	127
Anexo 2 – Trânsito de energia do circuito 1 – Original.....	131
Anexo 3 – Trânsito de energia do circuito 1 – Alterado	135
Anexo 4 – Trânsito de energia do circuito 2 – Original.....	139
Anexo 5 – Trânsito de energia do circuito 2 – Alterado	145

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Características da Área Operacional de Vila Real.....	5
Tabela 2 – Produção de energia elétricas por fontes de energia renovável.....	14
Tabela 3 – Produção de energia elétricas por fontes de energia não renovável	14
Tabela 4 – Comprimento por nível de tensão da rede nacional de transporte.....	15
Tabela 5 – Valores de tensão normalizada	18
Tabela 6 – Comprimento das redes de distribuição em média tensão e alta tensão	18
Tabela 7 – Tipos de portinhola.....	23
Tabela 8 – Canalizações normalizadas dos ramais de redes subterrâneas	26
Tabela 9 – Tipos de armários	27
Tabela 10 – Cabos de torçada com condutor de alumínio.....	29
Tabela 11 – Característica do Cobre e do Alumínio	30
Tabela 12 – Características dos postes de betão normalizados	31
Tabela 13 – Canalizações principais a utilizar na rede aérea	34
Tabela 14 – Cabos a utilizar nos ramais da rede aérea.....	34
Tabela 15 – Características dos cabos subterrâneos diretamente enterrados no solo.....	41
Tabela 16 – Características dos cabos subterrâneos enterrados no solo com tubo ou cabos à vista sobre braçadeiras	42
Tabela 17 – Principais características dos cabos aéreos (torçada)	42
Tabela 18 – Proteções (fusíveis).....	45
Tabela 19 – Classes de iluminação da via pública	52
Tabela 20 – Variações da frequência industrial.....	60
Tabela 21 – Variações da tensão nominal	60
Tabela 22 – Tremulação máxima regulamentar	61
Tabela 23 – Valores de tensão harmónicas para baixa tensão até à ordem 25	62
Tabela 24 – Valores de tensão harmónicas para média tensão até à ordem 25.....	62

Tabela 25 – Características dos pontos de entrega.....	73
Tabela 26 – Características das baixadas e circuito de alimentação	73
Tabela 27 – Altura dos apoios da rede de baixa tensão do posto de transformação de Lamas	74
Tabela 28 – Tipos de apoios.....	76
Tabela 29 – Comprimento associado a cada tipo de cabo.....	79
Tabela 30 – Modelos de luminárias existentes (Lamas)	81
Tabela 31 – Características globais do circuito 1	86
Tabela 32 – Características globais do circuito 2.....	89
Tabela 33 – Solicitação máxima para cada apoios.....	92
Tabela 34 – Troços alterados no circuito 1	93
Tabela 35 – Solicitação por apoio	94
Tabela 36 – Alterações do traçado do circuito 1	95
Tabela 37 – Troços alterados no circuito 2	98
Tabela 38 – Solicitação por apoio	99
Tabela 39 – Características globais do circuito 1 após alterações	101
Tabela 40 – Características globais do circuito 2 após alterações	103
Tabela 41 – Variações dos parâmetros dos troços alterados (Cu 5x16 por LXS 4x70+16)	106
Tabela 42 – Variações dos parâmetros dos troços alterados (Cu 5x10 por LXS 4x70+16)	107
Tabela 43 – Variações dos parâmetros dos troços alterados (Cu 3x6 por LXS 4x70+16)	108
Tabela 44 – Variações dos parâmetros dos troços alterados (Cu 5x16 por LXS 4x50+16)	109
Tabela 45 – Variações dos parâmetros dos troços alterados (Cu 5x10 por LXS 4x50+16)	110
Tabela 46 – Variações dos parâmetros dos troços alterados (Cu 3x6 por LXS 4x50+16)	111

Tabela 47 – Variações dos parâmetros dos troços alterados (Cu 5x10 por LXS 4x25+16)
..... 112

Tabela 48 – Variações dos parâmetros dos troços alterados (Cu 3x6 por LXS 4x25+16) 112

Tabela 49 – Variações dos parâmetros dos troços alterados (Cu 2x6 por LXS 4x25+16) 112

Tabela 50 – Variações dos parâmetros dos troços alterados (Cu 2x16 por LXS 2x16).... 114

Tabela 51 – Variações dos parâmetros dos troços alterados (Cu 2x6 por LXS 2x16)..... 114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Cadeia de valor da empresa Energias de Portugal (EDP)	3
Figura 2 – Fluxo energético no sistema elétrico nacional	10
Figura 3 – Interligações com Espanha.....	16
Figura 4 – Montagem em poste de uma caixa de proteção aérea	35
Figura 5 – Esquema de uma rede média tensão radial	37
Figura 6 – Esquema de uma rede alta tensão e média tensão malhada	38
Figura 7 – Esquema da queda de tensão ao longo de uma saída de um posto de transformação.....	41
Figura 8 – Curva de fadiga térmica do fusível e da canalização	47
Figura 9 – Ambiente de trabalho CADGis	48
Figura 10 – Ambiente de trabalho do SIT a) - ortofotos ligadas b) - ortofotos desligadas .	50
Figura 11 – Carta de rede da linha de Soutelo - Ribeira de Pena	66
Figura 12 – Ortofotos ligadas da aldeia de Lamas	68
Figura 13 – Fotos do levantamento em papel relativo às infraestruturas de alimentação da aldeia de Lamas.....	69
Figura 14 – Transformador do posto de transformação de Lamas	71
Figura 15 – Quadro Geral de Baixa Tensão do posto de transformação de Lamas	72
Figura 16 – Esquema da secção transversal do poste em I.....	75
Figura 17 – Postaleta (Lamas).....	77
Figura 18 – Circuito 1 (esquerda) e Circuito 2 (direita) da RDBT em Lamas	78
Figura 19 – União entre condutores nus e cabos de torçada	80
Figura 20 – Luminária em poste à esquerda e em postaleta à direita.....	81
Figura 21 – Aldeia de Lamas na plataforma CADGis	83
Figura 22 – Aldeia de Lamas na plataforma SIT PE.....	83
Figura 23 – Apoios da rede de distribuição da Aldeia de Lamas (CADGis)	84

Figura 24 – Ramais e clientes da rede de distribuição da Aldeia de Lamas (CADGis).....	85
Figura 25 – Avaliação das quedas de tensão nos PLs no circuito 1	87
Figura 26 – Avaliação das quedas de tensão nos PLs no circuito 2.....	90
Figura 27 – Troços em cobre alterados no circuito 1	91
Figura 28 – Alteração do traçado no circuito 1 (Azul – a retirar; Verde – a instalar)	94
Figura 29 – Alterações no circuito 2	97
Figura 30 – Avaliação das quedas de tensão nos PLs do circuito 1 em Dplan	102
Figura 31 – Avaliação das quedas de tensão nos PLs do circuito 2 em Dplan	104

SIGLAS E ACRÓNIMOS

A	Amperes
ACR	Aparelho de Corte e Religação
AO	Área Operacional
APC	Alto Poder de Corte
AT	Alta Tensão
BT	Baixa Tensão
BTN	Baixa Tensão Normal
DPLAN	<i>Distribution Planing</i>
DRCN	Direção de Redes e Clientes Norte.
EDP	Energias de Portugal
EPI	Equipamentos de Proteção Individual
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
IAR	Interruptor Auto-Religador
INE	Instituto Nacional de Estatística
IP	Iluminação Pública
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
MAT	Muito Alta Tensão
MT	Média Tensão
NE	Norma Europeia
ORDBT	Operador da Rede de Distribuição em Baixa Tensão
PDIRT	Plano de desenvolvimento e Investimento da Rede de Transporte de Eletricidade
PEAD	Polietileno de Alta densidade
PEBD	Polietileno de Baixa densidade
PL	Ponto de Ligação
PNAEE	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
POVT	Programa Operacional da Valorização do Território
PRE	Produtores em Regime Especial
PRO	Produtores em Regime Ordinário
PT	Posto de Transformação
PSTs	Posto de Seccionamento e Transformação
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão

RDBT	Rede de Distribuição de Baixa Tensão
REN	Redes Energéticas Nacionais
RNT	Rede Nacional de Transporte
RQS	Regulamento de Qualidade de Serviço
SEE	Sistema Elétrico de Energia
SEN	Sistema Elétrico Nacional
SF ₆	<i>Sulfur Hexafluoreto 6</i> (Hexafluoreto de Enxofre 6)
SIT-PE	Sistema de Informação Técnica de Projeto Externo
SIT-DM	Sistema de Informação Técnica de Design Manager
THD	Distorção Harmónica Total

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

No enquadramento de um estágio curricular na Empresa Energias de Portugal (EDP) Distribuição – Energia S.A., o aluno integrou o departamento de obras desta empresa, ao qual estão alocadas atividades de planeamento, cadastragem, execução e acompanhamento de tarefas relacionadas com a operação de redes de distribuição em média e baixa tensão. As atividades decorrentes desse estágio estão relacionadas com a Baixa Tensão (BT), mais concretamente com a recolha e atualização de dados relativos à constituição de redes de distribuição aéreas.

Atualmente ainda não existe um cadastro total da rede de BT, o que dificulta a realização de tarefas de remodelação, de atualização ou de novas ligações no terreno, sem haver um estudo prévio. Para colmatar a falta de informação, num processo gradual, a EDP Distribuição, tem vindo a promover a recolha de dados no terreno e a inclusão de informação numa plataforma de inserção e consulta de dados de diversas modalidades. A zona de recolha é rural, o que implica que se esteja perante uma rede aérea. Este facto pode facilitar na tarefa de posicionamento das canalizações, uma vez que estas são visíveis.

Outros fatores em foco são: a segurança, as preocupações ambientais e a eficiência do sistema elétrico de energia. Nesse contexto é importante a avaliação das vantagens da substituição de alguns elementos de rede obsoletos, como condutores nus de cobre ou postales, por outros elementos, como os cabos de torçada, correntemente utilizados em redes aéreas. Esta avaliação prevê que se determine quais as melhorias que advém dessa remodelação, nomeadamente na segurança, na fiabilidade e nas perdas de energia.

1.2. APRESENTAÇÃO DO ALUNO

O presente relatório foi realizado pelo aluno João Pedro Dias Rego que concluiu em 2015 a Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). Encontra-se desde 2015 a frequentar o mestrado Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia, na mesma instituição, concluindo-o com a presente dissertação.

1.3. APRESENTAÇÃO DOS ORIENTADORES

1.3.1. NO INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

O presente trabalho foi orientado, no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) pelo Eng.º António Gomes, docente no departamento de Engenharia Eletrotécnica e subdiretor da Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia.

1.3.2. NA EMPRESA

O presente trabalho foi orientado, na empresa Energias de Portugal (EDP)-Distribuição, pelo Eng.º Luiz Sérgio Quinteira, Eng.º Técnico Eletrotécnico em Sistemas Elétricos de Potência formado no ISEP em 1984.

Desempenha atualmente a função de gestor operacional do grupo de atividades de obras na Área Operacional de Vila Real, função essa que é desempenhada desde 2007.

1.4. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

Os operadores de rede podem funcionar em níveis de tensão diferentes, ou seja, na rede de distribuição em baixa tensão temos uma entidade a concessionar a rede denominada Operador da Rede de Distribuição em Baixa Tensão (ORDBT). De acordo com os contratos de concessão a concessionária desta rede é a EDP distribuição [1].

A EDP encontra-se subdividida em várias empresas sendo que a EDP distribuição é a principal responsável por desenvolver, explorar e manter a Rede de Distribuição de Baixa Tensão (RDBT) de acordo com os parâmetros estabelecidos no Regulamento de Qualidade de Serviço (RQS) e garantindo que os clientes recebem a energia com qualidade, na quantidade certa e com a eficiência adequada [2].

A cadeia de valor da EDP encontra-se disponível no documento da “missão da EDP” [2] e está representada na figura 1.

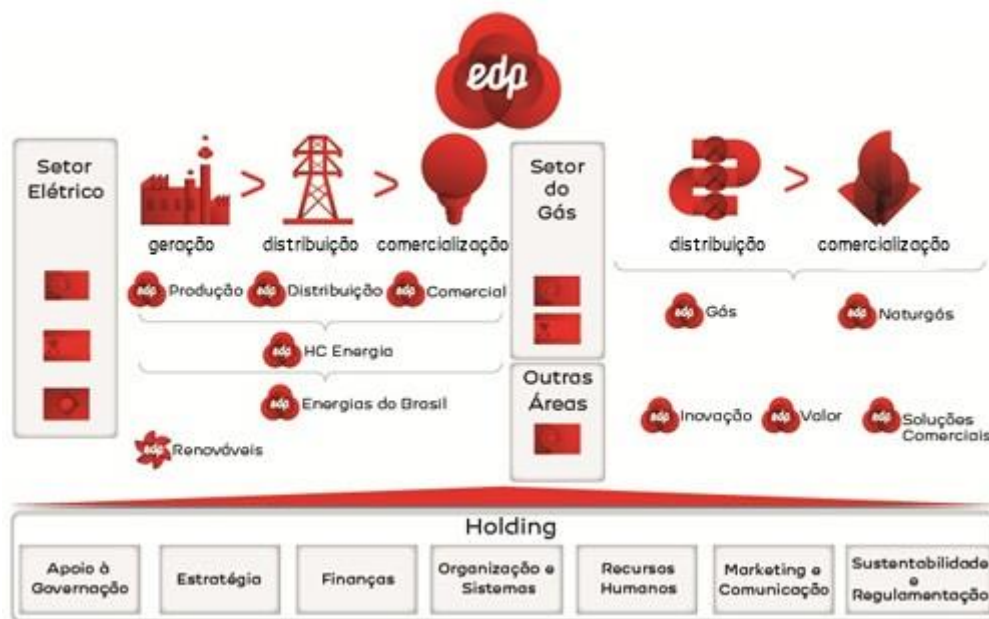


Figura 1 – Cadeia de valor da empresa Energias de Portugal (EDP)

Conforme definido no regulamento da rede de distribuição, os princípios gerais de exploração da concessionária da RDBT são [3]:

- Assegurar a exploração e manutenção da rede de distribuição em condições de segurança, fiabilidade e qualidade de serviço;
- Gerir os fluxos de eletricidade na rede, assegurando a sua interoperacionalidade com as redes a que esteja ligada e com as instalações dos clientes, no quadro da gestão técnica global do sistema;
- Assegurar a capacidade da respetiva rede de distribuição de eletricidade, contribuindo para a segurança do abastecimento; A disponibilização para consulta do teor de diplomas legislativos não dispensa a consulta do Diário da República, não se

responsabilizando a Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) pelo seu conteúdo.

- d) Assegurar o planeamento, construção e gestão da rede, de forma a permitir o acesso de terceiros e gerir de forma eficiente as instalações;
- e) Assegurar que não haja discriminação entre os utilizadores ou categorias de utilizadores da rede;
- f) Facultar aos utilizadores as informações de que necessitem para o acesso à rede;
- g) Fornecer ao operador de qualquer outra rede com a qual esteja ligada, aos comercializadores e aos clientes as informações necessárias ao funcionamento seguro e eficiente, bem como ao desenvolvimento coordenado das diversas redes;
- h) Preservar a confidencialidade das informações comercialmente sensíveis obtidas no exercício da sua atividade.

A EDP distribuição está subdividida em seis direções de rede e clientes. A cada direção, ao qual está alocada uma zona delimitada do país, estão atribuídas as seguintes responsabilidades:

- Gerir o relacionamento com os principais *stakeholders* da empresa;
- Estudar, projetar e executar obras de carácter não estruturante para a rede;
- Realizar operações de reposição de serviço em toda a rede e realizar operações de manutenção de natureza planeada e corretiva em Posto de transformação (PT) / Posto de Seccionamento e Transformação (PSTs) e na rede BT/Iluminação Pública (IP);
- Coordenar e acompanhar a execução de ordens de serviço e contagens.

Uma das seis direções de rede é a Direção de Redes e Clientes Norte (DRCN).

A DRCN, está responsável pela região mais a norte do país, lidera e coordena seis Áreas Operacionais (AO).

As AO que compõe a DRCN são quatro:

- AO Braga/ Viana do Castelo
- AO Bragança
- AO Penafiel/ Guimarães
- AO Vila Real

A AO de Vila Real, por sua vez é composta por dois departamentos, com funções complementares: o departamento de manutenção e o departamento de obras.

A tabela 1 mostra a estrutura operacional da AO Vila Real, em 2016.

Tabela 1 – Características da Área Operacional de Vila Real

Área Operacional de Vila Real	
13	Concelhos
199.688	Habitantes
142.430	Consumidores
4.136	Área (km ²)
7.163	Rede Média e Baixa Tensão (km)
533	Energia Distribuída (GWh)
34	Colaboradores
123.425	Pontos de Luz
1957	PT de Distribuição

Como é referido na missão da empresa [2], a EDP distribuição deve:

- Garantir a expansão e a fiabilidade da rede;
- Garantir o abastecimento de eletricidade;
- Fornecer serviços aos comercializadores

Atualmente esta empresa é a concessionária da distribuição de energia elétrica em baixa tensão nos 278 municípios de Portugal Continental, em regime de exclusividade.

1.5. OBJETIVOS

Sem prejuízo da realização de outras atividades, eram objetivos principais do trabalho:

- Realização do estado da arte sobre o projeto e exploração de redes de distribuição de energia elétrica em baixa tensão;
- Estudo das vantagens técnicas, económicas e de qualidade de serviço de substituição de redes de aéreas de baixa tensão em condutores nus por condutores em torçada;
- Estudo de caso: Estudo de viabilidade técnica e económica de substituição de uma rede de distribuição de baixa tensão em condutores nus por condutores em torçada (Freguesia de Alvadia).

1.6. CALENDARIZAÇÃO

O referido estágio iniciou-se a 27 de fevereiro com a apresentação do aluno na empresa, e com o estabelecimento do mesmo no local de estágio. Iniciou-se de seguida uma fase de formação e recolha de elementos para formar uma base sólida de conhecimento acerca da rede de distribuição. O aluno foi familiarizado com diversos documentos essenciais à execução de tarefas na rede de distribuição, nomeadamente regulamentos de segurança, de operação, de execução e preparação de trabalhos. Além disso, dispôs de manuais de boas praticas e formação em segurança no trabalho, na qual dispôs de Equipamentos de Proteção Individual (EPI).

Após essa fase introdutória na empresa o aluno integrou tarefas de acompanhamento de obra, de rebate, reuniões interdisciplinares e verificação. Foi também instruído, no âmbito do utilizador, nos principais *softwares* que são utilizados no planeamento de redes de distribuição. Isto possibilitou que o aluno desenvolvesse competências de manuseamento destas ferramentas e assim utiliza-las para realizar o seu caso de estudo.

De seguida integrou uma equipam de cadastragem para realizar o levantamento das infraestruturas de um posto de transformação e respetiva rede de distribuição em baixa tensão. A essa recolha de dados seguiu-se o desenho e caracterização da rede numa aplicação

de desenho (CADGis). A importação de dados para uma plataforma de consulta e inserção de informação georreferenciada referente a esta e outras especialidades foi o passo seguinte.

Por ultimo foi exportada a rede criada para um *software* de apoio à decisão que permite determinar as condições técnicas de exploração da rede. Nesse mesmo *software* o aluno determinou as condições técnicas obtidas na rede atual, nomeadamente no que toca a quedas de tensão, perdas técnicas e transito de potência pelas linhas. As propostas de alteração projetadas pelo aluno foram igualmente implementadas e testadas nessas ferramentas de avaliação de desempenho da rede, de forma a testar a pertinência das mesmas e a rentabilidade que elas podem apresentar. O estágio curricular que o aluno integrou teve o seu término a 30 de junho.

1.7. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

A presente dissertação está subdividida em 5 capítulos, os quais serão sumariamente descritos em seguida:

Capítulo 1: Neste capítulo é apresentada a contextualização do tema abordado bem como da empresa de estágio. São apresentados os principais intervenientes na realização desta dissertação, os principais objetivos da mesma e a forma como ela se processou.

Capítulo 2: Neste capítulo são descritos os principais conceitos relativos ao tema a tratar e ao sistema elétrico em geral. Neste contexto são abordadas temáticas como a produção, transporte e distribuição. São também descritas as redes de distribuição em baixa e média tensão, tendo em conta os principais constituintes da rede de baixa tensão e os diferentes tipos de rede.

Capítulo 3: Neste capítulo é feita uma breve caracterização da localidade em estudo. São abordadas as metodologias de levantamento, cadastro, simulação e projeção de alterações/remodelações a levar a cabo.

Capítulo 4: Neste capítulo são descritas outras actividades desenvolvidas durante o estágio paralelamente ao projeto, nomeadamente formação, acompanhamento de obra, auditorias e alterações de projetos.

Capítulo 5: Neste capítulo são mencionadas as principais conclusões a retirar da realização desta dissertação e deste estágio. É referido o contributo da formação prévia e prespetivas de trabalho futuro.

2. SISTEMA ELÉTRICO DE ENERGIA

2.1. ASPETOS GERAIS

Neste capítulo pretende-se fazer uma apresentação e caracterização geral das principais infraestruturas que compõe o Sistema Elétrico de Energia (SEE), bem como fazer uma apresentação e caracterização dos intervenientes na exploração das diferentes redes que compõe o sistema.

O SEE consiste no conjunto de princípios, organizações, agentes e instalações elétricas relacionados com as atividades de produção, transporte, distribuição e comercialização de eletricidade, abrangidas pelo decreto-Lei n.º 172/2006, de 23 de Agosto e pelo decreto-Lei n.º 29/2006, de 15 de Fevereiro, no território nacional [3][4].

O transporte e distribuição da energia de forma eficiente implica que o SEE seja composto por várias redes interligadas que operam a níveis de tensão distintos, minimizar as perdas na transmissão da energia e a maximizar a potência transportável. Assim sendo, este sistema é composto por redes de transporte e distribuição de energia interligadas por meio de subestações e postos de transformação.

As subestações são instalações de alta tensão destinadas a algum ou alguns dos fins seguintes:

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

Os postos de transformação são instalações de alta tensão destinadas à transformação da corrente elétrica por um ou mais transformadores estáticos, quando a corrente secundária de todos os transformadores for utilizada diretamente nos recetores, podendo incluir condensadores para compensação do fator de potência.

Os postos de transformação alimentam as Redes de Distribuição de Energia Elétrica em Baixa Tensão (RDBT), que alimentam as instalações de utilização alimentadas em baixa tensão (BT).

2.2. ESTRUTURA

O sistema elétrico é composto por um conjunto de infraestruturas que se destinam a transmitir a energia elétrica, desde a produção até aos consumidores finais. Para que essa condução seja mais eficiente são ajustados os níveis de tensão, o que permite que as perdas sejam minimizadas e maximizada a capacidade de transporte de energia

O circuito do fluxo do sistema elétrico de energia está esquematizado na figura 2 [5].

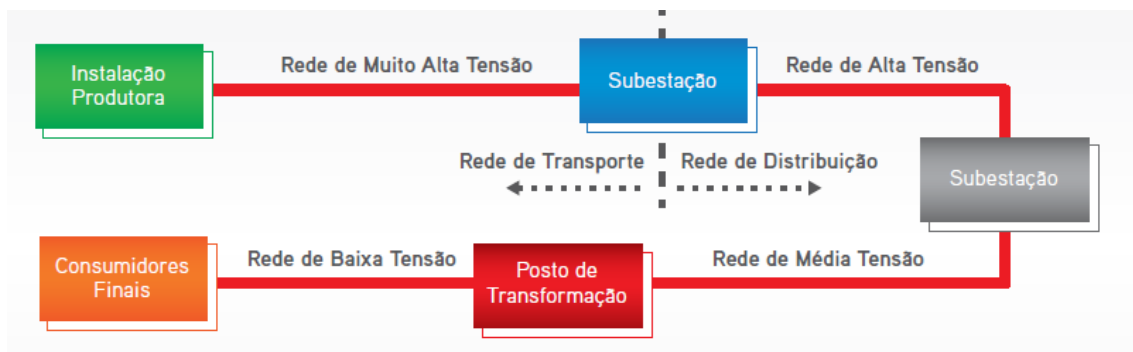


Figura 2 – Fluxo energético no sistema elétrico nacional

[Fonte: Manual de Ligações, 2015]

A tensão tem tendência a decrescer à medida que nos aproximamos dos consumidores. A níveis mais alto de tensão estão associadas menos perdas, o que implica que possa ser transportado mais energia com menores dissipações. Ocorre um maior risco elétrico em tensões elevadas, pelo que nos locais mais próximos dos consumidores deve-se priorizar a segurança, o que obriga ao abaixamento de tensão. O encadeamento do SEE possibilita uma maior fiabilidade e eficiência, mas ao mesmo tempo assegura a segurança e garante os níveis de qualidade exigidos.

O rendimento do SEE, e consequentemente a sua eficiência, está diretamente relacionado com as perdas. As perdas podem ter diversas origens e são determinadas usualmente pela diferença entre a energia entregue e a energia contabilizada nos pontos de entrega.

As perdas têm essencialmente duas origens [6] [7]:

- Perdas técnicas: São perdas resultantes das atividades referidas na figura 2, até à entrega ao consumidor final, e advêm sobretudo da dissipação de calor nos condutores e nos equipamentos e das perdas no núcleo dos transformadores.
- Perdas não técnicas: Traduzem a potência ou energia que é entregue ao consumidor, mas não é contabilizada e conseqüentemente não é faturada. Podem resultar, por exemplo, de furtos de energia elétrica, ligações clandestinas, erros de ligação ou erros de medição.

As perdas técnicas, que estão mais relacionadas com as características dos equipamentos, podem ser subdivididas em perdas reativas e ativas.

As perdas reativas surgem nas reactâncias dos equipamentos (em corrente alternada), particularmente no núcleo ferromagnético dos transformadores [7].

As perdas ativas, também denominadas perdas por efeito de Joule, estão relacionadas com a produção de calor afeta à passagem da corrente elétrica por um condutor. Este tipo de perdas é intrínseco a todos os condutores e aumenta com a resistência dos condutores, mas sobretudo com a corrente que os atravessa.

O efeito de Joule constitui geralmente a maior fração das perdas técnicas. Segundo Joule, um condutor dissipa sobre a forma de calor a seguinte potência:

$$P_{\text{Perdas}} = R \times I^2$$

Os transformadores de potência permitem alterar os valores de tensão e de corrente de forma a manter a potência fornecida aproximadamente constante. Já que, como demonstrado acima, as perdas ativas são independentes da tensão e influenciadas pelo quadrado da corrente, a longas distâncias e para grandes potências é utilizada a Alta Tensão (AT) ou Muito Alta Tensão (MAT). Isto permite que as perdas ativas sejam mais reduzidas, pois ao elevar a tensão a corrente irá diminuir, numa relação inversamente proporcional, e como a corrente diminui, as perdas de Joule também diminuirão.

Assim sendo, e uma vez que se pretende que o fornecimento de energia seja eficiente, a tensão apenas se apresentará nos valores de BT nas proximidades dos pontos de entrega. A

tensão BT padronizada (230/400V) que é fornecida a grande parte dos consumidores, é definida e caracterizada no regulamento de qualidade de serviço [6].

2.3. PRODUÇÃO DE ENERGIA

A produção de eletricidade implica que exista uma eficaz condução para poder ser injetada nas redes elétricas de serviço público e chegar ao consumidor final. Esta produção já prevê a utilização de centrais e/ou instalações destinadas a transformar a energia primária em energia elétrica.

De acordo com as potências de cada centro produtor e com o tipo de energia primária os produtores são classificados em Produtores em Regime Especial (PRE) e Produtores em Regime Ordinário (PRO).

Tradicionalmente, a produção era maioritariamente assegurada por centrais térmicas de grande capacidade, pelo que a produção de energia era centralizada nesses centros produtores. No entanto, impulsionado pelo cumprimento de metas ambientais e pela preocupação pela sustentabilidade, tem vindo a aumentar a produção de energia a partir de fontes de energia renovável. As principais fontes de energia renovável atualmente utilizadas, e em contante desenvolvimento e crescimento são:

- Aproveitamentos eólicos;
- Aproveitamentos solares fotovoltaicos;
- Centrais mini-hídricas;
- Centrais térmicas a partir da combustão de biomassa e biogás.

Para além das centrais acima enunciadas também se tem verificado um crescimento da energia elétrica proveniente da cogeração. Estas centrais permitem produzir simultaneamente energia sob forma de calor e de eletricidade, permitindo o aproveitamento do calor da combustão para fins industriais ou aquecimento, o que aumenta o rendimento e potencia o aproveitamento da energia primária.

Estas tecnologias, em foco atualmente, constituem a PRE. Este tipo de produção segundo o regulamento ERSE refere-se à “produção de energia elétrica através de recursos endógenos,

renováveis e não renováveis, de tecnologias de produção combinada de calor e de eletricidade (cogeração) e de produção distribuída”. Atualmente a maior representante deste tipo de produtores é a energia eólica, quer em termos de potência instalada, quer em termos de energia produzida. Uma outra característica de parte destas tecnologias é a intermitência delas, ou seja, algumas destas tecnologias estão condicionadas por fatores ambientais (como é o caso da energia eólica e fotovoltaica). Em geral estes produtores estão ligados diretamente à rede de distribuição.

Um outro grupo de produtores, os PRO, referem-se à produção de eletricidade com base em fontes tradicionais não renováveis (como o carvão e o petróleo), e em grandes centros electroprodutores hídricos. Neste regime a produção é centralizada nos centros produtores com grandes potências instaladas e geralmente é entregue na rede de transporte que por sua vez canaliza a energia até às redes de distribuição. Este tipo de produção é importante para o funcionamento do SEE pois além de ter grande capacidade de produção, constitui reservas importantes de energia que podem facilmente ser utilizadas em caso de solicitação de energia. Este fator é particularmente importante pois a energia elétrica é produzida e consumida quase instantaneamente e desse modo quando é solicitada maior demanda de energia, esta deve ser produzida através de fontes de energia não intermitentes que possam responder a essa demanda.

Atualmente a produção de energia é assegurado por estes dois tipos de produtores que podem ser agrupadas em renováveis e não renováveis.

Na tabela 2 e 3 estão apresentadas as produções de energia renovável e não renovável, respetivamente [8].

Tabela 2 – Produção de energia elétricas por fontes de energia renovável

Produção Renovável	Potência instalada (MW)	Energia Produzida (GWh)
Grande Hídrica	6522	14080
Mini-hídrica	423	1332
Eólica	5046	12188
Cogeração	353	1491
Outra Térmica	262	1196
Solar	439	781
Total	13046	31069

[Fonte: REN 2017]

Tabela 3 – Produção de energia elétricas por fontes de energia não renovável

Produção Não Renovável	Potência instalada (MW)	Energia Produzida (GWh)
Carvão	1756	11698
Cogeração (Gás Natural)	828	4197
Gás Natural	3829	7374
Cogeração (outros)	47	318
Outros	13	244
Total	6473	23587

[Fonte: REN 2017]

De acordo com a informação indicada é possível verificar que a potência instalada de produção renovável é muito superior à não renovável. Isto acontece devido ao aumento da preocupação ambiental e com questões de sustentabilidade. No entanto é verificável que a produção de energia por fontes não renováveis ainda é considerável, pelo que estas fontes ainda não serão abandonadas totalmente nos próximos tempos.

2.4. TRANSPORTE DE ENERGIA

Uma outra atividade que compõe o SEE é o transporte de energia. Esta atividade de transporte de eletricidade, assegura a transferência da energia elétrica produzida desde as centrais electroprodutoras até às redes de distribuição que conduzem essa energia até às

instalações dos consumidores finais [9]. Em casos pontuais, podem ser ligados grandes consumidores diretamente à rede de transporte, por questões técnicas e económicas.

O transporte de energia eléctrica é assegurado pela Rede Nacional de Transporte (RNT), cuja concessão está atribuída em exclusivo à Redes Energéticas Nacionais (REN). Este contrato de concessão atribui ainda à REN e responsabilidade pelo planeamento e a gestão técnica global do Sistema Eléctrico Nacional (SEN), e assim assegurar o funcionamento coordenado das infraestruturas que o compõe no sentido da continuidade de serviço e da segurança no abastecimento de electricidade [9]. Para possibilitar essa gestão, a RNT deve dispor equipamentos e instalações de telecomunicações que possibilitem a operação remota e permanente e ainda ter estabelecido com o operador da RNT um contrato de planeamento e exploração de redes. Isto permite maior coordenação dos intervenientes no SEN e desse modo potencia a equidade, eficiência, segurança e qualidade de serviço.

O comprimento da RNT, é indicado na tabela 4 [8].

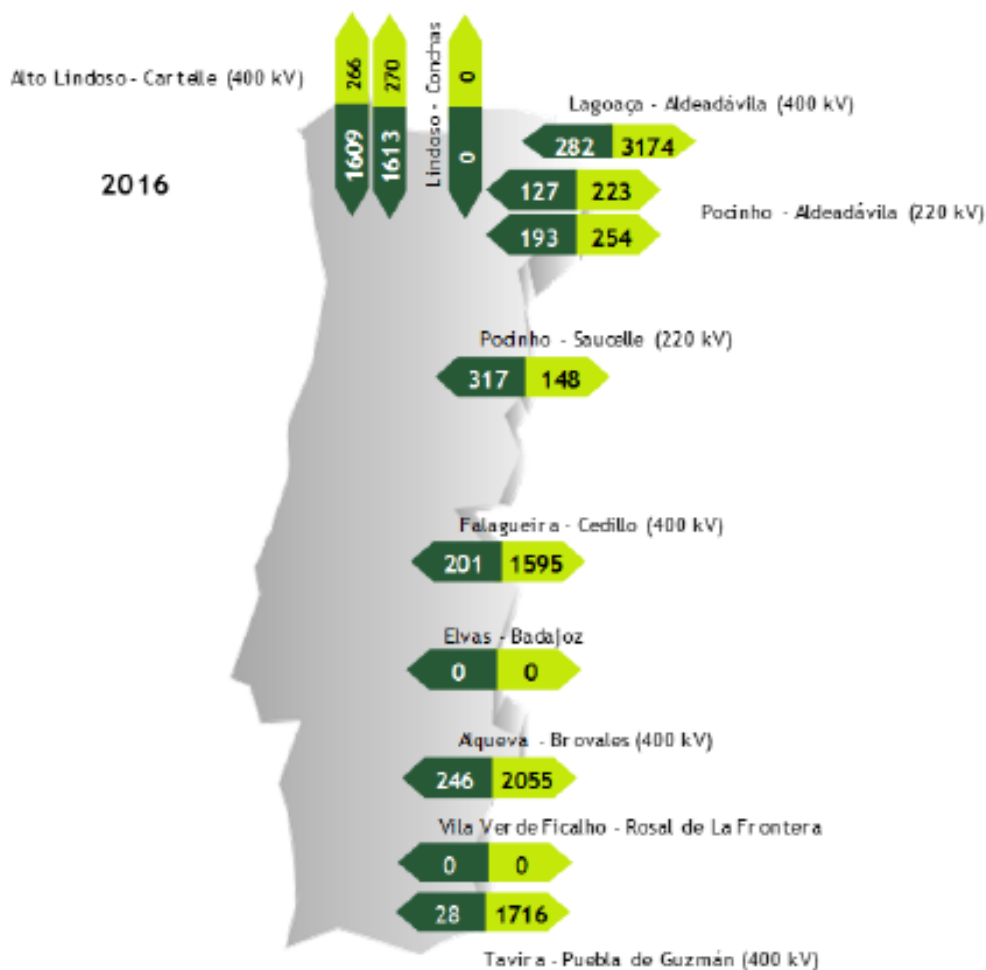
Tabela 4 – Comprimento por nível de tensão da rede nacional de transporte

Níveis de tensão	Comprimento das linhas(km)
400kV	2670
220kV	3611
150kV(inclui 132kV)	2582
Total	8863

[Fonte: REN 2017]

A RNT, segundo o regulamento da rede de transporte[4], pode operar na AT (60 kV) no entanto apenas opera em níveis correspondentes a MAT. A rede de transporte é constituída quase exclusivamente por linhas aéreas, nos níveis de tensão de 400 kV, 220 kV e 150 kV, existindo ainda uma linha explorada a 132 kV. Esta rede também é a rede que permite a interligação com Espanha, ao longo de varias regiões [8].

Na figura 3 são referidas as interligações com Espanha [8].



[Fonte: REN 2017]

Figura 3 – Interligações com Espanha

A interligação ibérica constitui o mercado ibérico e permite otimizar em termos económicos o fornecimento de energia, aumentar a concorrência ibérica no ramo da energia elétrica e melhorar os índices de segurança e fiabilidade do SEE.

O surgimento de novos centros produtores e de subestações pode alterar a constituição da rede de transporte. Estes fatores, aliados à necessidade de escoar alguma produção de energia renovável excedente, pode levar ao reforço, remodelação e evolução da RNT.

2.5. DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA

As redes de distribuição são destinadas a conduzir e transmitir a energia elétrica, desde as subestações ou de alguns centros produtores, até às instalações consumidoras [9]. Estas redes

são responsáveis pela entrega de energia aos clientes, operando em Alta Tensão (AT), Média Tensão (MT) e Baixa Tensão (BT). Podem fornecer a energia elétrica aos clientes em qualquer dos níveis de tensão disponibilizados de acordo com o contrato realizado pelo mesmo.

O surgimento de novos centros produtores, bem como a evolução geográfica dos consumos, obriga o operador de rede a alterar a rede existente de forma a adaptar-se aos novos requisitos, tendo em atenção a modernização da rede e o aumento da sua eficiência.

2.5.1. MÉDIA TENSÃO

A distribuição de energia contempla vários níveis de tensão, mas o último nível que precede as redes de distribuição em baixa tensão é a média tensão.

Esta rede tem mais de 73 000 km e é a responsável por alimentar os postos de transformação, quer eles sejam afetos à rede de distribuição ou a um cliente. É esta rede que alimenta os 67.063 PTs existentes ao longo do país [10].

2.5.1.1. REDE DE DISTRIBUIÇÃO

A rede de distribuição, que como referido acima, contempla diferentes níveis de tensão, destina-se a transmitir a energia elétrica desde a RNT até às instalações dos clientes e integram os seguintes elementos:

- Subestações;
- Postos de Seccionamento;
- Postos de Transformação;
- Ligações às instalações particulares;
- Instalações de Iluminação Pública;
- Órgãos, equipamentos e telecomando da rede.

Esta rede conta com diversos níveis de tensão, sendo que para facilitar as interligações bem como para padronizar equipamentos, são utilizadas as tensões nominais representadas na tabela 5 na distribuição de energia elétrica em média e baixa tensão em Portugal [5].

Tabela 5 – Valores de tensão normalizada

	Linhas Aéreas e Cabos Subterrâneos em:
Alta Tensão	60 kV (tensão nominal)
Média Tensão	30 kV
	15 kV (tensões nominais)
	10 kV
Baixa Tensão	400/230 V (tensão nominal)

[Fonte: Manual de Ligações, 2015]

Como as redes de distribuição em baixa tensão não são totalmente cadastradas, apenas é conhecida a constituição das redes de distribuição em AT e MT.

Os comprimentos das linhas de AT e MT são apresentados na tabela 6 [10].

Tabela 6 – Comprimento das redes de distribuição em média tensão e alta tensão

Nível de tensão	Comprimento das linhas (km)		TOTAL
	Aéreas	Subterrâneas	
AT	8990	526	9516
MT	58606	14436	73042
Total	67596	14962	82558

[Fonte: EDP Distribuição 2017]

Para a operação das redes de distribuição estão atualmente implementados cerca de 434 subestações, que por sua vez têm instalados 766 transformadores com uma potência total de 17 671 MVA [10].

2.5.1.2 POSTOS DE TRANSFORMAÇÃO

Os postos de transformação são instalações destinadas à transformação da corrente elétrica por um ou mais transformadores estáticos cujo secundário é de baixa tensão, destinados a alimentar a RDBT, bem com os Pontos de Ligação (PLs) que dela dependem. Marcam assim o início da RDBT.

O PT é constituído essencialmente por três componentes: equipamentos de interrupção/seccionamento e de proteção, um ou mais transformadores e o Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT).

Os equipamentos de interrupção/seccionamento e de proteção refere-se a equipamentos que estão colocados antes do primário do transformador e que se destinam à proteção da instalação do lado da média tensão e possibilitam ações de manobra e de manutenção da rede. São equipamentos essenciais à transferência de cargas em média tensão, possibilitam a operações de manutenção que exigem a colocação do PT fora de serviço, podendo ser operados à distância (no caso de possuírem telecomando) ou manualmente junto ao PT. Estão restritos à utilização por pessoal especializado [11].

O mesmo PT pode possuir um ou mais transformadores, estando interligados ou apresentando alguns de reserva. O transformador, como o próprio nome indica, destina-se a transformar a energia recebida em baixa tensão, possibilitando a regulação da tensão na saída, de forma a manter a qualidade do serviço exigido no RQS. Essa função confere-lhe uma importância fulcral, já que é ele que permite, através dos princípios de transformação eletromagnética, variar as grandezas de tensão e corrente de forma a manter a potência aproximadamente constante. Assim sendo, é neste equipamento que se consegue variar a tensão sem comprometer em muito a potência transportada e desse modo aumentar a eficiência do SEE, pois são equipamento utilizados não só no abaixamento de tensão, mas também na elevação da mesma, sendo a base de todos os PTs e subestações.

Após a saída do secundário do transformador e destinado a propagar energia elétrica pelas diversas saídas do PT, a alojar equipamentos de proteção dessas saídas e suportar os circuitos de comando da IP, está o QGBT. Este equipamento normalizado não é mais que o quadro de saída da RDBT e de acordo com a tipologia do PT pode ter uma ou várias saídas para RDBT e em geral apresenta duas saídas para a IP. Cada um desses circuitos encontra-se

protegido neste mesmo quadro, recorrendo a fusíveis de facas dimensionados para proteger as canalizações principais. Uma vez que o QGBT contém os circuitos de comando da IP, é nele que se faz a programação horária da ligação da IP, apesar de ser uma função dos municípios.

Os QGBT são especificados de acordo com a potência do transformador da potência, sendo os QGBT mais pequenos destinados a transformadores até 100 kVA e os maiores R630 destinados a utilizações até 630 kVA. De acordo com o QGBT utilizado, o número de saídas do PT também se altera, por exemplo um R100 conta apenas com uma saída, e o R630 conta com quatro saídas para a RDBT [12] [13].

A conjugação dos equipamentos dá origem ao PT, sendo que este possui várias tipologias, de acordo com a disposição desses equipamentos e o formato do PT.

Para simplificar o projeto do PT e para normalizar as soluções técnicas a aplicar, a Entidade reguladora dos serviços energéticos, lançou uma série de Projetos-Tipo. Nestes documentos são apresentadas especificações relativas a equipamentos, aparelhagens e ao modelo a seguir no seu dimensionamento, bem como os requisitos normativos a respeitar.

Assim encontram-se padronizados diversos tipos de PT, agrupados em três grupos: os postos de exterior Aéreos (A), os postos de interior instalados em Cabine Alta (CA) e os postos de interior instalados em Cabine Baixa (CB) [12]. No que diz respeito a PTs aéreos, estes são normalmente apoiados em 1 ou 2 apoios de betão concebidos especificamente para suportar os equipamentos do PT, de acordo com a DMA- C67-212/N [14].

Podem-se encontrar os seguintes tipos de PT aéreos [15].

- Tipo A: Transformador aéreo ligado diretamente à rede MT, de potência nominal até 100 kVA e tensão de alimentação igual ou inferior a 30 kV.
- Tipo AS: Transformador aéreo ligada a seccionador a montante do primário, também de potência nominal até 100 kVA e tensão de alimentação igual ou inferior a 30 kV.
- Tipo AI-1 e AI-2: Transformador aéreo com interruptor-seccionador adequado à potência de curto-circuito da rede MT no local de instalação, de potência nominal até 250 kVA e tensão de alimentação igual ou inferior a 30 kV.

Em relação aos PTs cujos equipamentos estão no interior de uma construção, denominada cabine, podem ser dos seguintes tipos [15].

- Tipo CA1: PTs em cabina alta, concebidos para receber alimentação por linha aérea de potência até 250 kVA e tensão de alimentação igual ou inferior a 30 kV.
- Tipo CA2: PTs em cabina alta, com características construtivas semelhantes ao anterior, mas com maiores dimensões interiores, isto possibilita potência até 630 kVA e tensão de alimentação igual ou inferior a 30 kV. Este tipo de PT possui Corta-circuitos fusível do lado da MT.
- Tipo CBU: PT em cabina baixa com a disposição das celas em “U”, de potência até 630 kVA e tensão de alimentação igual ou inferior a 15 kV. Concebidas para receber alimentação subterrânea em anel, permite seis saídas BT e duas saídas IP, todas subterrâneas.
- Tipo CBL: PT em cabine baixa com a disposição das celas em “L”, com características semelhantes ao anterior, variando as suas dimensões de acordo com a existência de uma saída radial. Também apresentam potência até 630 kVA e tensão de alimentação igual ou inferior a 15 kV.

Os aparelhos de corte e seccionamento podem ser isolados de quatro formas distintas: ar, óleo, hexafluoreto de enxofre (SF₆) e o vácuo. Como a MT apresenta uma tensão relativamente elevada, o corte leva ao surgimento de um arco elétrico que pode constituir perigo para pessoas e equipamentos. Por essa razão o corte ao ar apenas é utilizado em instalações exteriores, como em PTs aéreos, implicando maiores dimensões dos equipamentos e maior ruído nas manobras.

No caso dos PTs em cabine (principalmente em cabine baixa) são utilizados os aparelhos de corte em SF₆ ou em vácuo, pois este tipo de equipamentos, além de ser menos ruidoso, é também mais compacto e seguro. A segurança advém de os arcos não serem visíveis, serem controlados pelos isolamentos e ainda pelo facto destes isolamentos apresentarem pequeno risco de incêndio. Assim sendo, quando é previsível que haja um grande número de manobras é mais adequado instalar equipamentos em SF₆, apesar de o custo inicial do equipamento ser superior aos custos de um aparelho de corte ao ar.

2.5.2. BAIXA TENSÃO

A baixa tensão é geralmente utilizada pelos consumidores finais, sendo que apenas contempla uma tensão nominal: 400/230V. A rede de distribuição, que é maioritariamente concessionada pela EDP Distribuição, encerra em si os componentes necessários à distribuição de energia, na quantidade necessária e com a segurança requerida pelas diferentes instalações de utilização que alimenta.

De acordo com os contratos de concessão municipais existem atualmente cerca de onze operadores da RD, que são os seguintes:

- Cooperativa Eléctrica de Vale D’Este;
- Cooperativa Eléctrica de Vilarinho, C.R.L.;
- Cooperativa Eléctrica de Loureiro, C.R.L.;
- Cooproriz - Cooperativa de Abastecimento de Energia Eléctrica, CRL.;
- A Eléctrica Moreira de Cónegos, CRL;
- A Celer - Cooperativa Electrificação de Rebordosa, CRL;
- Casa do Povo de Valongo do Vouga;
- Junta de Freguesia de Cortes do Meio;
- Cooperativa Electrificação A Lord, CRL;
- Cooperativa Eléctrica S. Simão de Novais;
- EDP Distribuição.

Tipicamente a fronteira entre a rede de distribuição e as instalações de utilização é a portinhola (mais concretamente os ligadores de saída da mesma), no entanto podem ser dispensados estes equipamentos, a título excepcional e com aprovação da EDP Distribuição. Para esses casos a fronteira situa-se nos ligadores de entrada do contador, nos ligadores de entrada do quadro de colunas, ou nos ligadores do aparelho de corte de entrada do lado da instalação [4].

A portinhola enquanto zona de fronteira deve estar acessível ao ORDBT, por isso é que o regulamento de segurança de redes de distribuição de energia elétrica de baixa tensão sugere que as portinholas estejam localizadas num local de fácil acesso, de preferência junto à via pública, no muro de vedação do recinto ou na fachada do edifício. Pretende-se que o acesso do operador de rede à portinhola permita a manutenção dos equipamentos de proteção instalados na mesma.

As portinholas devem obedecer ao estipulado no DMA-C62-807. De acordo com a DIT C-14-100N [11] as portinholas normalizadas são as que estão representadas na tabela 7.

Tabela 7 – Tipos de portinhola

designação	Corrente nominal (A)	Cabos de Entrada (a usar nos ramais)		Fusíveis		
		derivação	designação	Nº	Tamanho	I _n
P25	25	Subterrânea	LSVAV 2x16	1	10x38	25
P50	50	Aérea	LXS 2x16	1	14x51	50
		Subterrânea	LSVAV 2x16			50
P100	100	Aérea	LXS 2x16	3	22x58	63
			LXS 4x16			63
LXS 4x25	80					
Subterrânea	100	Subterrânea	LSVAV 2x16	3	22x58	80
			LSVAV 4x16			80
			LSVAV 3x35			100
P400	400	Subterrânea	LSVAV 4x95 LVAV 3x85+95	3	2	200 315

[Fonte DIT C-14-100N]

Uma vez que as portinholas devem ser colocadas em locais exteriores acessíveis às vias públicas, estão sujeitas a maiores preocupações com a proteção dos invólucros. Isto implica que se apresentem os índices de proteção mínimos de IP45 e IK10 para as portinholas dos tipos P50, P100 e P400, e IP 32D e IK09 para a portinhola P25 [11].

A responsabilidade pela instalação a jusante da referida fronteira, doravante denominada por Ponto de Ligação (PL) é da responsabilidade do cliente, não integrando a rede de distribuição nem sendo alvo de estudo neste documento.

Versando sobre a RDBT, estende-se desde uma fronteira física entre duas redes de distribuição, o PT e os PLs. O posto de transformação, como o próprio nome indica, transforma, a média tensão em baixa tensão, destinada aos clientes BT. É no PT que está

instalado o QGBT, cuja função é proteger a RDBT, e simultaneamente serve de fronteira entre a média e baixa tensão. [3] [16]

A RDBT é uma instalação elétrica no qual o valor eficaz da tensão não ultrapassa os 1000V em corrente alternada e 1500 V em corrente contínua, que se destina a transmitir energia elétrica desde o secundário do PT ou de uma central geradora até aos PL, sendo constituída por canalizações principais e ramais [3][4].

A RDBT integra um conjunto de equipamentos de condução e de proteção nos quais se incluem [3][4][16].

- Linhas de BT: conjunto de condutores, isolantes, suportes e acessórios destinados à distribuição de energia elétrica;
- Ramais: canalização elétrica, sem qualquer derivação, que parte do PT, de uma central geradora ou de uma canalização principal e termina no PL;
- Instalações de iluminação pública: Iluminação instalada nas vias públicas, com função de proporcionar os níveis mínimos de iluminância, luminância e uniformidade necessários à circulação e segurança de pessoas e bens;
- Aparelhos e acessórios afetos à exploração: engloba equipamentos de controlo e medição como instalações de telecomunicações, teled medida e telecomando.

2.5.2.1. TIPOS DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO EM BAIXA TENSÃO

A RDBT enquanto rede de distribuição, cuja presença é mais próxima dos consumidores pois estende-se nas proximidades dos PL, implica que sejam necessários cuidados reforçados com a segurança de pessoas e bens, uma vez que mais pessoas sem instrução na área elétrica possam ter contacto com esta rede.

Existem essencialmente dois tipos de distribuição: subterrânea e aérea, sendo que se encontram tipicamente mais rede subterrâneas em meios urbanos e mais redes aéreas em meios rurais. Em algumas situações podem-se encontrar redes cuja composição é subterrânea e aérea, sendo aí designadas redes mistas.

2.5.2.2. REDES SUBTERRÂNEAS

Como exposto anteriormente, estas rede são mais comuns em zonas urbanas e consistem em cabos enterrados diretamente no solo ou inseridos em tubos ou galerias, que por sua vez são enterrados no solo. Segundo o regulamento de segurança de redes de distribuição de energia elétrica em baixa tensão [16], as canalizações afetas a este tipo de rede têm de estar enterradas a pelo menos 0,8 metros, sendo que, no caso de travessias (que devem ser evitadas sempre que possível), a distância aumenta para um metro.

O dimensionamento da tubagem deve considerar o diâmetro exterior dos cabos que a tubagem vai suportar. Nesse dimensionamento deve ser considerado que o diâmetro do tubo deve exceder diâmetro exterior no cabo em 50%, respeitando a fórmula seguinte:

$$\varnothing \text{ Tubo(int.)} \geq 1,5 \times \varnothing \text{ Cabo(ext.)} .$$

Para qualquer instalação da RDBT que possua tubagens, os tubos utilizados devem ser, de acordo com a DIT-C11-010/N [17], de Polietileno de Alta ou de Baixa densidade (PEAD ou PEBD). Mesmo nas instalações cujas linhas de BT são diretamente enterradas no solo, as travessias serão obrigatoriamente efetuadas com recurso a tubos PEAD ou PEBD, sendo que poderão ser utilizadas apenas as seguintes dimensões dos mesmos: 110, 125 e 160 mm de diâmetro.

Uma vez que o enterramento anteriormente descrito exige a mobilização de maquinaria, abertura de vala e cobrimento da mesma, o estabelecimento destas redes é mais oneroso, devendo ser tido em conta que as que as posteriores alterações na rede que necessitem serem realizadas terão também dificuldade acrescida.

Com o intuito de facilitar operações de alteração e manutenção, o regulamento existente [16] obriga a que as travessias sejam feitas recorrendo a tubagens e recomenda que a instalação de tubagem seja estendida a toda a rede, bem como ocorra sobredimensionamento das tubagens, o que possibilita em primeira instância facilidade na passagem de cabos, e em segunda instância estabelecimento de novas ligações.

De destacar ainda que na terminação da rede de tubagem, bem como em zona de curvatura, devem ser instaladas caixas de visita subterrâneas para facilitar ações de manutenção, no

entanto essas mesmas operações, sendo realizadas no subsolo, exigem reforçada preocupação com a segurança dos operários.

É conveniente, pelas razões enumeradas acima, que antes do cobrimento das valas sejam colocados tubos de reserva que se destinam a precaver eventuais modificações na rede sem que essas modificações impliquem alterações consideráveis na via pública [12].

A instalação de novos PLs numa rede subterrânea implica a realização de valas e consequente alteração da topografia das zonas a intervir, o que obriga a uma maior articulação com entidades municipais e congestionamento de vias.

Na concessão de redes subterrâneas, usualmente aplicadas em novos loteamentos urbanos, deve ser tida em atenção a possibilidade de crescimento desses mesmos loteamentos, bem como a expansão da rede. Isso implica que seja utilizada tubagem nos extremos do mesmo loteamento, que não é explorada inicialmente, mas que futuramente poderá possibilitar a extensão da rede ou a ligação de novos clientes. Estes fatores são particularmente importantes neste tipo de rede, uma vez que um reforço das instalações de distribuição na rede subterrânea implica um grande esforço económico e logístico.

As redes subterrâneas, tal como qualquer tipo de rede de distribuição de baixa tensão, são constituídas por canalizações principais e ramais. Os ramais, cujo objetivo é conduzir a corrente elétrica desde um armário até um e um só PL, podem apresentar diferentes dimensões, de acordo com a potência requisitada, apesar disso apenas pode apresentar as dimensões normalizadas, apresentadas na tabela 8.

Tabela 8 – Canalizações normalizadas dos ramais de redes subterrâneas

	Tipos de Cabos e de Condutores (nº cond. x mm ²)	Iz (A)	In (fusível) (A)
Rede Subterrânea	LSVAV 2x16	95	80
	LSVAV 4x16	90	80
	LSVAV 4x35	130	100
	LSVAV 4x95	235	200
	LSVAV 3x185+95	355	315

[Fonte: DMA-C63-201]

No caso de instalações monofásicas apenas pode ser utilizado um cabo com dois condutores de 16 mm², destinados um à fase e outro ao neutro. Todos os seguintes, são indicados para

instalações trifásicas, integrando quatro condutores (um destinado ao neutro e três às fases) cuja corrente “Iz” representa a corrente máxima admissível pela canalização. Essa corrente indica o valor máximo em amperes (A) a que a canalização pode estar sujeita, sem comprometer as suas características originais e o seu isolamento. A cada ramal está associado uma proteção que se destina a garantir que, em caso de sobreintensidade, a canalização não se danifique. Os fusíveis utilizados por cada tipo de cabo devem ter a corrente nominal indicada na 3ª coluna da tabela 8 [18].

A separação entre as canalizações principais e os ramais é feita em armários de distribuição, cujo objetivo é alocar diversas saídas para vários ramais, ou para subdividir a canalização principal, alocando em si proteções que se destinam a proteger as instalações a jusante. As proteções utilizadas nos armários de distribuição são fusíveis com Alto Poder de Corte (APC), estando normalizadas duas dimensões para os fusíveis: T00 e T2.

De acordo com o número de blocos e as dimensões dos suportes para fusíveis dos armários, segundo a DMA-C62-801N[19], existem os seguintes tipos de armários, descritas na tabela 9.

Tabela 9 – Tipos de armários

Tipos de Armários	Nº bases T00	Nº bases T2	Secção de barramento Neutro (mm)	Secção de barramento Fases	Dimensões máximas do invólucro		
					Altura	Largura	Profundidade
X	0	5	30x5	40x5	875	800	360
Y	4	2			875	800	360
Z	0	7		60x5	875	1250	360
W	4	2		40x5	875	600	325
T	4	2 Shunt			600	400	200

[Fonte: DMA-C62-801/N]

Apesar de estarem indicados cinco tipos de armários na tabela acima, os armários do tipo Y e Z não são utilizados em novas instalações, sendo apenas utilizados em situações pontuais de substituição de armários idênticos já instalados.

Uma vez que os armários de distribuição são colocados na via pública, geralmente em passeios, estão sujeitos a condições climatéricas adversas e à circulação pedonal, o que implica haja um cuidado reforçado nas características do invólucro. De acordo com a DMA-C62-801N[19], os invólucros devem possuir no mínimo IP44 e IK10, bem como nível 2 de

isolamento. Estas características pretendem garantir que os equipamentos ativos existentes no armário não estejam sujeitos a humidade, a esforços mecânicos externos e permite ainda proteger pessoas e bens de contactos diretos com os condutores ativos da RDBT.

A utilização de fusíveis nos armários, além de permitir a proteção das instalações a jusante destes, possibilitam um aumento da seletividade da RDBT, já que permite retirar parte da instalação de serviço, mantendo o resto da rede em exploração.

Partindo do PT e terminando nos armários, ou interligando armários, estende-se a canalização principal da RDBT. Esta canalização, como seria de esperar, tem dimensões normalizadas, contando apenas com duas dimensões para os seus cabos: LVAV 3x185+95 e LSVAV 4x95. De referir que apenas conta com dois tipos de canalizações que são geralmente sobredimensionadas, para precaver situações de alteração como as explicadas anteriormente.

Uma vez que toda a rede de distribuição se encontra no subsolo, não há indícios visuais da distribuição de energia elétrica, o que torna este tipo de rede de distribuição discreta e sem impacto visual na disposição arquitetónica.

2.5.2.3. REDES AÉREAS

O tipo de rede “aérea”, tendencialmente abandonado em zonas urbanas, essencialmente devido a motivos estéticos, continua a ser muito utilizado em zonas rurais devido à facilidade de modificação, extensão de rede, operações de manutenção e custo de implementação [20].

Este tipo de redes consiste na disposição de apoios, que se destinam a suportar condutores ou cabos destinados à distribuição de energia elétrica. Estas instalações podem ser constituídas por condutores nus, condutores isolados ou cabos.

Os condutores nus de cobre foram muito utilizados no passado, por serem extremamente leves, fáceis de manusear, rápidos de instalar, ter uma boa capacidade de condução e baixo custo [37]. Atualmente não são aplicados estes condutores, havendo mesmo a tendência de substituir este tipo de condutores por cabos isolados em feixe ou de torçada. Os motivos prendem-se principalmente com a falta de segurança existente: uma vez que estes condutores não possuem isolamento, no caso de haver contacto humano podem levar a eletrocussão, o

contacto entre dois ou mais desses condutores origina um curto circuito, levando ao disparo das proteções e conseqüente falha no abastecimento de energia, e ainda devido à pilhagem massiva de cobre. A destacar ainda que a instalação destes condutores obriga a utilização de isoladores nos apoios, sendo que o condutor de neutro usualmente apresenta uma cor distinta [4].

Uma forma de incrementar a segurança relativa a ter condutores separados consiste em isolar cada um deles, no entanto não é uma solução usual já que é preferível isolar os condutores, mas agrupa-los num mesmo feixe, surgindo assim os condutores em feixe ou cabos de torçada.

Os cabos de torçada não são mais que a junção dos vários condutores da rede de distribuição: três fases, neutro e iluminação pública, isolados e entrelaçados entre si, de forma a compor um único feixe que será suportado nos apoios, recorrendo a amarrações específicas, apresentadas no anexo 1 [21]. Devido ao fator de pilhagem anteriormente descrito, também têm sido abandonadas as almas condutoras em cobre, tendo sido substituídas por alumínio ou ligas de alumínio. As canalizações passíveis de serem utilizadas na rede de distribuição estão descritas na tabela 10 [22].

Tabela 10 – Cabos de torçada com condutor de alumínio

S (mm ²)	R20° (Ω/km)	Z (Ω/km)	Iz (A)	Is (A)
LXS 2x16	1,91	2,19	85	63
LXS 4x16	1,91	2,19	75	63
LXS 4x25 + 16	1,20	1,38	100	80
LXS 4x35 + 16	0,87	1,05	120	100
LXS 4x50 + 16	0,64	0,75	150	125
LXS 4x70 + 16	0,44	0,49	190	160
LXS 4x70+2x16	0,44	0,49	190	160

Legenda: S – secção e tipo de condutores, R – resistência Z – impedância, Iz – corrente máxima admissível nas condições de instalação, Is – corrente máxima de serviço

[Fonte: Redes de Distribuição de BT- Eletricidade dos Açores SA]

Este tipo de materiais é mais leve, no entanto tem maior resistência para a mesma secção comparativamente ao cobre, o que implica que sejam utilizados diâmetros das almas condutoras superiores. Comparando os dois materiais são encontradas as propriedades descritas na tabela 11 [36].

Tabela 11 – Característica do Cobre e do Alumínio

Características	Cobre (recozido)	Alumínio
Grau de pureza (%)	> 99,9	> 99,5
densidade a 20°C (gr/cm ²)	8,89	2,70
Resistividade a 20°C (Ω mm ² /m)	0,017241	0,028264
Coefficiente de variação da resistência óhmica, temp. de referência = 20°C (°C ⁻¹)	0,00393	0,00403
Coefficiente de dilatação linear (°C ⁻¹)	17x10 ⁻⁶	23 x10 ⁻⁶
Condutividade térmica (w/cm. °C)	3,85	2,17
Calor específico (Cal/°C.g)	0,093	0,214
Ponto de fusão (°C)	1080	660
Tensão de rotura (N/mm ²)	200 a 250	25 a 205: 60 a 105 (macio)
Alongamento à rotura (%)	15 a 35	1 a 4: 15 a 25 (macio)

[Fonte: Manual – Cabos Elétricos de Baixa Tensão]

O suporte destes cabos exige o maior esforço à cabeça de cada apoio, o que obriga à utilização de apoios mais robustos, no entanto são instalações mais duradouras e esteticamente mais agradáveis. Os apoios utilizados na RDBT podem ser postes de betão, postes de madeira ou postaletes. A utilização de postes de madeira é desaconselhada, uma vez é mais difícil de determinar os esforços à cabeça que este tipo de apoios pode suportar e exige uma proteção acessória na parte do apoio que fica subterrado.

A utilização destes postes ainda se utiliza excecionalmente em aldeias protegidas, por motivos estéticos e de classificação, apesar de serem mais suscetíveis de deterioração, por exemplo devido a possíveis incêndios.

Os postaletes, geralmente em ferro, eram comumente utilizados, sendo caracterizados pela sua fixação a faixadas de habitações. A sua popularidade deveu-se ao facto de pouparem espaço público, uma vez que eram “suspensos”, o que permitia que a via, já por si frequentemente estreita, não sofresse redução da sua largura. Este tipo de apoios não apresenta grande esforços à cabeça, sendo que mais uma vez não era passível de determinar esse mesmo esforço (é desconhecido o esforço tolerado pelas fachadas e respetivos suportes). Este problema não era crucial, uma vez que os condutores nus de cobre eram extremamente leves, no entanto com a substituição destes, torna-se inviável a manutenção dos postaletes. Sempre que possível eles são substituídos por apoios de betão aquando da alteração das linhas.

Os apoios preferencialmente utilizados nas redes aéreas são os postes de betão, cuja designação permite determinar qual a altura dos mesmos e qual o esforço suportado à cabeça. O primeiro algarismo da designação do poste indica qual a altura total do poste, isto é, contabilizando a altura de enterramento. A designação “B” indica que estes postes são indicados à utilização em baixa tensão, e os três últimos algarismos indicam qual o esforço à cabeça (a 0,25 metros do topo) que o poste suporta na direção de solicitação principal, em daN [23] [24]. Também nos apoios se verifica uma normalização que pretendem uniformizar os apoios fabricados e utilizados pelas diferentes entidades. Os apoios passíveis de serem utilizados na RDBT, disponíveis na DMA-C67-205N [24] estão enumerados na tabela 12.

Tabela 12 – Características dos postes de betão normalizados

Solicitação principal, F (daN)	Altura total, (H) (m)				Topo	
	8	9	10	12	Ao x Bo (mm)	Código (dimensões do topo)
100	8B100	9B100			120x100	F00
200		9B200	10B200	12B200		
400		9B400	10B400	12B400	140x110	P00
600		9B600	10B600			
800		9B800	10B800		168x130	P01
1000		9B1000	10B1000		196x150	P02

Legenda: H – Altura total do poste; Ao – Lado maior da secção transversal do topo; Bo – Lado menor da secção transversal do topo

[Fonte: DMA-C67-205N]

A aplicação dos postes de betão segue um conjunto de procedimentos expostos no regulamento de segurança de redes de distribuição de energia elétrica em baixa tensão[16], sendo de destacar a profundidade mínima de enterramento, que deve ser determinada segundo a seguinte fórmula:

$$h = H/10 + 0,5$$

sendo que, H é a altura total do poste e h é a altura de enterramento, compreendida entre o fundo do apoio e a superfície do solo, nunca podendo ser inferior a 2 metros.

O dimensionamento dos apoios deve ter em linha de conta a sua utilização, devendo haver mesmo o cuidado de orientar a face do poste de acordo com as solicitações requeridas [23].

Os postes podem ser utilizados nas seguintes situações:

- Apoios de alinhamento - estão alinhados com os apoios anterior e seguinte, a força aplicada é vertical. É um apoio destinado ao suporte de linhas.
- Apoios de ângulo – apoios nos quais as canalizações formam um ângulo, havendo assim um esforço lateral elevado. Tendencialmente estes apoios possuem um maior esforço à cabeça para suportar a força lateral que as canalizações provocam.
- Apoios de derivação – apoios nos quais ocorre derivação da canalização principal para outra(s) canalização(ões) ou ramal(is). Neste tipo de apoios é dimensionada o esforço à cabeça de acordo com a direção das linhas que partam do apoio. É deste tipo de apoios que derivam os PLs.
- Apoios de fim de linha - este tipo de apoio caracteriza-se por se encontrar na extremidade da instalação, ou seja, as canalizações principais terminam nesse apoio. Uma vez que a solicitação mecânica por parte da rede de distribuição é unilateral, o esforço à cabeça é usualmente elevado, para evitar a cedência do apoio.

Para cada um dos apoios listados acima, o esforço causado pelo suporte de cabos pode ser determinado pelas seguintes fórmulas:

- Apoio de alinhamento

$$F_v = \alpha \times c \times q \times s$$

- Apoio de ângulo

$$F = 2 \times T \times \sin \frac{\theta}{2} \times 439 \times 10^{-3} \times d \times a_m \times \cos^2 \frac{\theta}{2}$$

- Apoio de derivação

$$F_y = 439 \times 10^{-3} \times (d \times a_m \times \cos^2 \frac{\theta}{2} + d' \times \frac{a'}{2} \times \cos^2 \beta) + 2 \times T \times \sin \frac{\theta}{2} + T_D \times \sin \beta$$

- Apoio de fim de linha

$$F_v = 439 \times 10^{-3} \times d \times \frac{a}{2}$$

$$F_x = T_d \times \cos \beta$$

As variáveis das fórmulas anteriores correspondem a:

d – diâmetro aparente do feixe (mm)

a – comprimento do vão adjacente ao apoio (m)

a_m – semissoma do comprimento dos vãos adjacentes (m)

a' – Comprimento do vão adjacente ao apoio da linha derivada (m)

T – Tração máxima do feixe da linha principal (N)

T_D – Tração máxima do feixe da linha derivada (N)

α – Coeficiente de redução (0,6)

β – Ângulo entre a linha principal e a derivada (rad)

θ – Ângulo do desvio do traçado (rad)

c – Coeficiente de forma (1,3)

q – Pressão dinâmica do vento (563 N/m²)

s – Área da superfície batida pelo vento (m²)

F – Esforço lateral devido à ação de canalizações em ângulo (N)

F_v – Esforço devido à ação do vento (N)

F_x – Esforço perpendicular à bissetriz do ângulo principal/Esforço na direcção da linha (N)

F_y – Esforço no sentido da bissetriz do ângulo da linha principal/ Esforço no sentido perpendicular da linha (N)

O espaçamento entre apoios da RDBT aérea (vão) deve cumprir os requisitos legais exigidos, nomeadamente no que se refere a travessias e ao cumprimento máximo de vãos. A distância máxima de um vão é de 90 metros fora das povoações ou aglomerados populacionais, sendo que dentro destas o limite é reduzido para 50 metros [16].

Os valores apresentados referem os vãos máximos, devendo e podendo ser reduzidos de acordo com as condições do local, a proximidade dos PLs e/ou a pertinência da iluminação pública(IP). É referido também no guia técnico de redes aéreas BT [16] [23] que as canalizações devem estar à altura mínima de 6 metros nos locais mais densos das zonas rurais, sendo permitido que essa altura baixa para 5 metros em zonas não ocupadas.

Como qualquer outro tipo de rede de distribuição, a rede aérea é composta por canalizações principais e ramais. De forma a padronizar as redes de distribuição e normalizar os

equipamentos utilizados, a DIT-C11-010N [17] indica os tipos de cabos passíveis de serem utilizados nas canalizações principais e nos ramais, enumerados nas tabelas 13 e 14.

Tabela 13 – Canalizações principais a utilizar na rede aérea

Rede Aérea	Tipos mm ²
	LXS 4x25+16
	LXS 4x50+16
	LXS 4x70+16
	LXS 4x95+16

[Fonte: DIT-C11-010N]

Tabela 14 – Cabos a utilizar nos ramais da rede aérea

Rede Aérea	Tipos de Cabos e de Condutores (nº cond. x mm ²)	Iz (A)	Im (fusível) (A)
	LXS 2x16	85	63
	LXS 4x16	75	63
	LXS 4x25	100	80

[Fonte: DIT-C11-010N]

Como se pode verificar na tabela 13, as canalizações principais têm diversas dimensões normalizadas. Uma vez que em geral alimentam clientes com baixas potências instaladas é mais viável instalar troços com menores dimensões, reduzindo o custo de instalação da rede BT. No caso da expansão da rede, também é mais fácil alterar as canalizações, quer pelo reforço da rede, quer por substituição de troços, uma vez que as linhas estão mais acessíveis tornando os processos mais simples, mais rápidos e menos onerosos. Quer isto dizer que no caso de ocorrência de defeitos a reparação é mais rápida do que nos cabos subterrâneos e as potências afetadas em caso de incidente são inferiores.

Relativamente aos ramais, é constatável que a rede aérea comporta menor variedade de dimensões, e a dimensão máxima apresenta um Iz menor. Isto acontece porque, em geral, os clientes de redes aéreas têm potências contratadas menores, além disso o ramal máximo garante que a potência máxima de Baixa Tensão Normal (BTN) de 41,4kVA é cumprida. As instalações que por norma requerem potências superiores a este valor, como em escolas ou em indústrias, são alimentadas por redes subterrâneas ou em média tensão.

As redes aéreas são frequentemente utilizadas em zonas rurais, nomeadamente na região interior do país, uma vez que esta região apresenta clientes mais dispersos, têm potências contratadas reduzidas e ocorre mais frequentemente alterações da rede. Em geral estas redes são muito extensas, pelo que este tipo de instalação permite ações de manutenção e atualização mais eficientes.

Enquanto que nas redes subterrâneas as derivações canalizações são executadas em armários, nas redes aéreas tal não acontece. As derivações da canalização principal são por vezes realizadas recorrendo a ligadores de aperto, sendo apenas protegidos os ramos pelas proteções contidas nas portinholas. Por vezes, para executar derivações ou subdividir a canalização principal em duas saídas, são utilizadas ordens de proteção, sendo para isso utilizadas as caixas de proteção e seccionamento aéreas. As redes rurais em geral apresentam menor complexidade, o que determina que a normalização contemple caixas de proteção com apenas duas saídas [23].

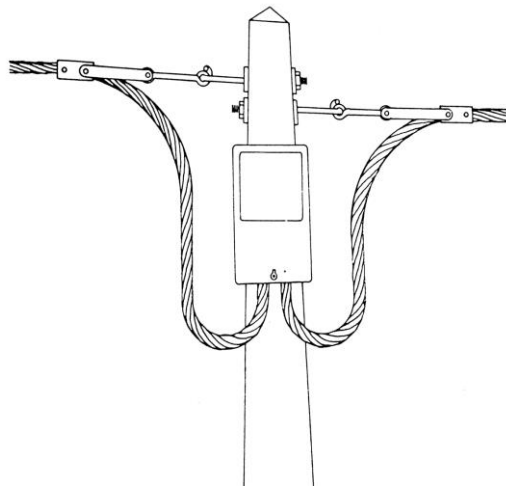


Figura 4 – Montagem em poste de uma caixa de proteção aérea

[Fonte: Guia técnico de redes aéreas de BT]

De acordo com a DMA-C62-700N [25], as caixas de proteção a utilizar nas redes aéreas, mais concretamente para cabos de torçada, contam com uma entrada sem proteção e duas saídas com apoios para fusível de tamanho 00. Tal como no caso dos armários de distribuição as caixas de proteção contêm tri-blocos, sendo que os barramentos têm as dimensões mínimas de $20 \times 5 \text{ mm}^2$ para as fases e o neutro e $20 \times 3 \text{ mm}^2$ para a IP.

Por a estarem sujeitas a ações climatéricas e ambientais adversas, estes equipamentos devem contar com uma proteção adequada e ser constituída por materiais menos suscetíveis a

degradação por fatores meteorológicos. A passagem de energia elétrica pelos condutores provoca o aquecimento, pelo que as caixas de proteção devem permitir a adequada ventilação sem comprometer os índices de proteção mínimos, IP33D e K08 e permitindo evitar condensações.

2.5.2.4. REDES MISTAS

Cada vez mais é observado que algumas redes aéreas sofrem remodelações em parte das linhas, podendo essa remodelação significar a passagem de rede aérea para rede subterrânea. Do mesmo modo, em algumas redes subterrâneas verifica-se um prolongamento de rede aéreo que pode significar a alimentação de um novo cliente longe do extremo atual da rede.

O surgimento de situações destas leva a que apareçam RDBT mistas. Em algumas destas redes a única instalação cuja remodelação versa, é a IP, isto implica que a RDBT se mantenha, para já, aérea, mas a IP passa a ser garantida com recurso a colunas de IP e não aos apoios de betão. Também pode ser encontrado este tipo de rede quando surge um novo loteamento, no qual se aproveita a execução de valas para incluir outras infraestruturas de distribuição. Esse aproveitamento consiste em colocar tubagens e infraestruturas de suporte às canalizações BT. Quando essas tubagens forem preenchidas e essas infraestruturas ligadas, surge uma rede mista que conta com uma transição aéreo-subterrânea no início do loteamento.

2.5.2.5. ESTRUTURA DAS REDES

Dependendo da configuração das redes, um sistema pode ser mais ou menos fiável de acordo com a fiabilidade de cada um dos seus elementos ou com a estrutura implementada. Um dos princípios utilizados recorrentemente para colmatar a eventual ocorrência de falhas é a redundância. A redundância consiste em utilizar vários equipamentos semelhantes em paralelo para em caso de falha de um dos seus elementos o sistema se mantenha em funcionamento. Sem dúvida que a redundância é uma das formas mais eficazes de incrementar a fiabilidade, no entanto está associado a um sistema redundante um aumento drástico dos custos de investimento.

Os elementos que fazem parte da rede estão naturalmente sujeitos a falhas e a avarias, do qual podem advir interrupções do fornecimento energético a algumas zonas ou alguns clientes.

Será então preciso encontrar um equilíbrio entre os custos de implementação e os benefícios obtidos com modificações na topologia aplicada ou na aplicação de redundância. Existem duas categorias topológicas da rede: as redes malhadas ou de estrutura fechada e as redes radiais ou de estrutura aberta [20].

– Rede com estrutura radial

Denomina-se rede com estrutura radial ou somente rede radial, a redes constituídas por linhas que se vão ramificando a partir de um ponto de origem, contando com apenas uma alimentação.

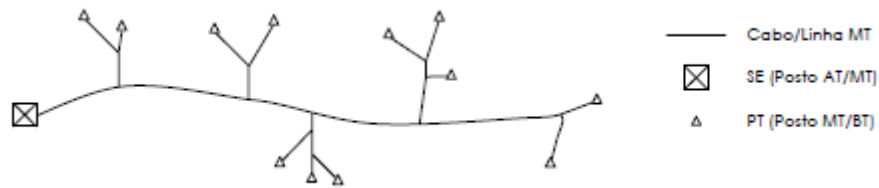


Figura 5 – Esquema de uma rede média tensão radial

[Fonte: Guia do Planeador]

Este tipo de distribuição também pode ser designado em malha aberta, e no caso de falha de alimentação todas as instalações a jusante ficarão desligadas. Esse facto leva a que a fiabilidade deste tipo de rede seja menor, no entanto é um modo de instalação mais fácil de proteger pois as correntes de curto circuito são apenas alimentadas por um ponto e em caso de falha o número de elementos desligados aumenta, o que reduz a possibilidade de outros equipamentos não diretamente relacionados com o defeito serem afetados. Nas redes BT, em geral, são utilizadas redes com esta estrutura.

– Rede com estrutura malhada

A uma rede malhada, corresponde uma rede onde as instalações que a constituem podem ser alimentados por duas ou mais linhas. A existência de várias linhas de alimentação interligadas leva ao aparecimento de malhas, estando dimensionadas para a capacidade de

transporte necessária para o caso de falha de uma delas. Nesse caso a outra alimentação deve manter o sistema em funcionamento, passando a ter o comportamento de uma rede radial.

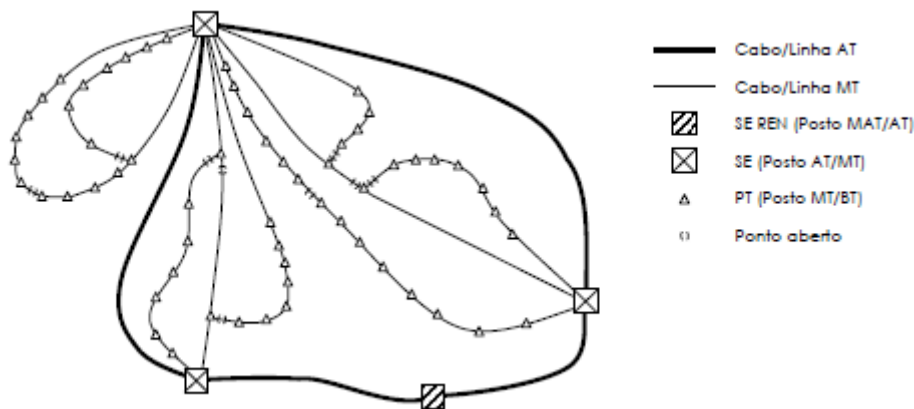


Figura 6 – Esquema de uma rede alta tensão e média tensão malhada

[Fonte: Guia do Planeador]

Numa rede explorada em malha fechada, ocorrendo a falha de linha, a potência que por essa transitava, deverá passar a transitar instantaneamente por outra, sem se notar qualquer interrupção. Para que isto se verifique é necessário que o defeito seja isolado rapidamente de forma a não comprometer outros elementos. No caso de o isolamento não ser atempado as correntes de curto circuito passam a ser alimentadas por vários pontos, o que pode aumentar drasticamente essas correntes e expor ao incidente mais equipamentos. Assim sendo este tipo de rede tem uma fiabilidade superior, no entanto exige uma maior eficácia na deteção e atuação perante defeitos ou falhas, pois pode expor a esses efeitos mais elementos [20].

2.5.2.6. MODOS DE EXPLORAÇÃO

Podem identificar-se dois modos de exploração da rede elétrica, particularmente nas redes de distribuição encontram-se a exploração radial ou malha aberta e a exploração em malha fechada. Em algumas redes apresentam uma conjugação destes modos, no entanto é possível delinear em que parte da instalação se encontra cada um deles pois estes conceitos não só distinguem o modo de exploração como identificam tipos de estrutura de rede.

A exploração radial é economicamente vantajosa na execução do projeto e não tem desvantagens na exploração em situações normais. No entanto quanto ocorrem falhas de

alimentação ou avarias de equipamentos constituintes da rede este tipo de exploração fica comprometido. Como apenas conta com um circuito passível de alimentar as instalações uma falha pode levar a desligar mais clientes, que permanecem desligados até à reposição do serviço, pois não contam com possibilidade de alimentação alternativa.

Apesar de uma avaria causar maior distúrbio na RDBT, a detecção de erro é mais célere, o que possibilita maior rapidez na reparação. Apesar disso estão associados a esta exploração maiores tempos de não fornecimento. Este tipo de exploração é mais comum na RDBT, principalmente em zonas rurais pois o custo de implementação é muito mais reduzido e em caso de avarias o número de clientes afetados bem como a energia que eles consomem é relativamente pequeno. Além disso, as restrições legais são menos apertadas para estas zonas, nomeadamente no que respeita à continuidade de serviço [26].

Por outro lado, as redes malhadas ou em anel permitem que um cliente seja alimentado por dois circuitos distintos, o que permite que quando ocorrem falhas ou avarias haja uma transferência das cargas para o outro circuito que por sua vez deve garantir a alimentação a todos os clientes (excetuando a instalação em avaria). Isto possibilita um aumento considerável de fiabilidade pois cria formas alternativas de alimentar os clientes, limitando as falhas de fornecimento. Apesar de apresentar vantagens na continuidade de serviço, este tipo de exploração acarreta algumas desvantagens. Uma das suas desvantagens prende-se com a exploração da rede e com aplicação de proteções. Uma vez que neste tipo de exploração a alimentação pode advir de vários circuitos a propagação de energia não é unidirecional, o que implica a utilização de proteções mais sofisticadas, não só pelo sentido variável da alimentação, mas também pela velocidade de isolamento da instalação afetada. Estas proteções têm de atuar rapidamente e de forma articulada para isolar a avaria e evitar que essa mesma avaria interfira com o resto do sistema, uma vez que as correntes de curto circuito podem ser superiores e são alimentadas por mais de um circuito. Outra desvantagem desta rede prende-se com a dificuldade de deteção do erro pelas equipas de resolução, quer pela complexidade do sistema quer pela pluralidade de cenários possíveis de alimentação. Em centros urbanos este tipo de exploração é mais comum, pois as exigências de continuidade de serviço são superiores e os custos de não fornecimento são mais consideráveis [26].

2.5.2.7. DIMENSIONAMENTO

Uma rede de baixa tensão comporta um conjunto de infraestruturas com dimensões distintas, cujo projeto deve ter em conta as restrições técnicas e regulamentares aplicadas, fatores económicos e cumprir requisitos técnicos. Estas restrições prendem-se com:

- Queda de tensão máxima admissível na canalização;
- Corrente de serviço da canalização;
- Seletividade entre as proteções colocadas em série;
- Comprimentos máximos protegidos contra curto-circuitos.

De forma a garantir que nenhuma das restrições é violada, deve ser utilizada a maior secção determinada, de acordo com as canalizações normalizadas, podendo ser utilizada uma secção superior ao mínimo requerido, se se provar economicamente vantajoso devido à redução de custos de exploração ou à previsão de expansão/reforço da rede. A seleção de canalizações e equipamentos deve ter como prioridade garantir que os clientes não sejam prejudicados, verificando que os mesmos possam usufruir de um serviço mais fiável e eficiente.

Tendo por base o cumprimento das quedas de tensão admissíveis, deve ser determinado qual a redução da tensão (em percentagem), em relação à tensão nominal. De acordo com a DIT-C14-100/N [11], a queda de tensão máxima admissível desde o PT até ao final da RDBT, não pode ser superior a 8%. Quer isto dizer que o PL mais desfavorável da rede de distribuição não pode apresentar uma tensão inferior a 92% da tensão nominal.

Uma vez que o transformador tem um comando que permite aumentar parcialmente a tensão de saída, pode ser aumentada a tensão de saída do transformador, não ultrapassando os limites impostos pelo RQS, permitindo assim que as redes sejam mais extensas, pois o valor total da queda de tensão é compensado [20].

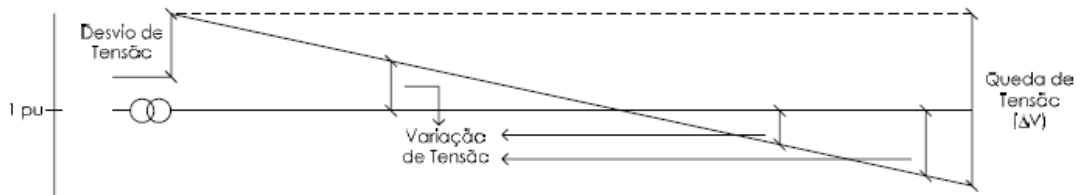


Figura 7 – Esquema da queda de tensão ao longo de uma saída de um posto de transformação

[Fonte: Guia do Planeador]

Como os cabos são normalizados, assim como as suas características, estão determinados os comprimentos máximos que estas canalizações podem ter de acordo com a corrente que os atravessa e a percentagem de tensão que decresce.

Nas tabelas 15, 16 e 17 estão representados esses valores, de acordo com o tipo de cabo e o tipo de instalação a que está aplicado, normalizados na EDP Distribuição, segundo o regulamento DIT-C14-100N [11].

Tabela 15 – Características dos cabos subterrâneos diretamente enterrados no solo

S (mm ²)	R _{20°C} Ω/km	R _{70°C} Ω/km	X Ω/km	Z Ω/km	P.L kW.km	I _z A	I _n =I _s A	L máx (m)							
								1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%
LSVAV 2 x 16	1,910	2,292	0,100	2,332	0,227	95	80	12	25	37	49	62	74	86	99
LSVAV 4 x 16	1,910	2,292		2,332	0,686	90	80	12	25	37	50	62	75	87	99
LSVAV 4 x 35	0,868	1,042		1,082	1,479	130	100	21	43	64	86	107	129	150	172
LSVAV 4 x 95	0,320	0,384		0,424	3,774	235	200	27	55	82	109	137	164	191	219
LSVAV 3 x 185+ 95	0,164	0,197		0,237	6,757	355	315	31	62	93	124	155	187	218	249

Legenda: S - Secções e tipos de cabos normalizados; R_{20°C}/R_{70°C} - Resistência do cabo a 20°C e a 70°C; X - Admitância do cabo, Z - Impedância do cabo; P.L - Momento eléctrico (U²/Z); I_z - Corrente máxima admissível no cabo, nas condições de instalação; I_n - corrente estipulada do fusível para proteger os cabos contra sobreintensidade (I_f ≤ 1,45 I_z e I_f = 1,6 I_n), que deverá ser superior ou igual a I_s; I_s - Corrente de serviço; L_{máx} - Comprimento máximo do cabo para uma queda de tensão de 1% a 8% e para uma corrente igual a I_s (I_n fus) para o P.L calculado.

[Fonte: DIT-C14-100/N]

Tabela 16 – Características dos cabos subterrâneos enterrados no solo com tubo ou cabos à vista sobre braçadeiras

S (mm ²)	R _{20°C} Ω/km	R _{70°C} Ω/km	X Ω/km	Z Ω/km	P.L kW.km	I _z A	In=Is A	L máx (m)							
								1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%
LSVAV 2 x 16	1,910	2,292	0,100	2,332	0,227	71	63	16	31	47	63	78	94	110	125
LSVAV 4 x 16	1,910	2,292		2,332	0,686	68	50	20	40	60	80	99	119	139	159
LSVAV 4 x 35	0,868	1,042		1,082	1,479	98	80	27	54	80	107	134	161	188	214
LSVAV 4 x 95	0,320	0,384		0,424	3,774	176	160	34	68	103	137	171	205	239	273
LSVAV 3 x 185+ 95	0,164	0,197		0,237	6,757	266	250	39	78	118	157	196	235	274	313

Legenda: S - Secções e tipos de cabos normalizados; R_{20°C}R_{70°C} - Resistência do cabo a 20°C e a 70°C; X - Admitância do cabo, Z - Impedância do cabo; P.L - Momento eléctrico (U²/Z); I_z - Corrente máxima admissível no cabo, nas condições de instalação; In - corrente estipulada do fusível para proteger os cabos contra sobreintensidade (If ≤ 1,45 I_z e If = 1,6 In), que deverá ser superior ou igual a Is; Is - Corrente de serviço; L_{máx} - Comprimento máximo do cabo para uma queda de tensão de 1% a 8% e para uma corrente igual a Is (In fus) para o P.L calculado.

[Fonte: DIT-C14-100/N]

Tabela 17 – Principais características dos cabos aéreos (torçada)

S (mm ²)	R _{20°C} Ω/km	R _{50°C} Ω/km	X Ω/km	Z Ω/km	P.L kW.km	I _z A	In=Is A	L máx (m)							
								1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%
LSVAV 2 x 16	1,910	2,150	0,100	2,190	0,242	85	63	17	33	50	67	83	100	117	133
LSVAV 4 x 16	1,910	2,150		2,190	0,731	75	63	17	34	50	67	84	101	118	134
LSVAV 4 x 25	1,200	1,340		1,380	1,159	100	80	21	42	63	84	105	126	147	168
LSVAV 4 x 50	0,641	0,716		0,756	2,116	150	125	25	49	74	98	123	147	172	196
LSVAV 4 x 70	0,443	0,495		0,535	2,991	190	160	27	54	81	108	135	163	190	217
LSVAV 4 x 95	0,320	0,357		0,397	4,030	230	200	29	58	88	117	146	175	204	234

Legenda: S - Secções e tipos de cabos normalizados; R_{20°C}R_{70°C} - Resistência do cabo a 20°C e a 50°C; X - Admitância do cabo, Z - Impedância do cabo; P.L - Momento eléctrico (U²/Z); I_z - Corrente máxima admissível no cabo, nas condições de instalação; In - corrente estipulada do fusível para proteger os cabos contra sobreintensidade (If ≤ 1,45 I_z e If = 1,6 In), que deverá ser superior ou igual a Is; Is - Corrente de serviço; L_{máx} - Comprimento máximo do cabo para uma queda de tensão de 1% a 8% e para uma corrente igual a Is (In fus) para o P.L calculado.

[Fonte: DIT-C14-100/N]

É referido nas tabelas, e é considerado em todo o dimensionamento, a corrente Is, ou corrente de serviço, que corresponde à corrente estipulada de acordo com a potência atribuída a cada uma das instalações de utilização e a sua agregação. Os valores de Is apresentados referem-se à potência total das canalizações, no entanto a Is utilizada para o dimensionamento de todas as canalizações da rede de distribuição têm em conta coeficientes de simultaneidade que pretendem oferecer realismo pois nem todas as instalações estarão no seu pico de utilização, simultaneamente, e muitos dos pontos de entrega têm mesmo potências contratadas muito inferiores à corrente de serviço da sua instalação. A não consideração

desses fatores implicaria canalizações colossais, levando a um enorme esforço financeiro, sem trazer benefícios.

O fator de simultaneidade (C) a utilizar em canalizações principais, de acordo com os Guias Técnicos das redes de baixa tensão, é dado por:

$$C = 0,2 + 0,8\sqrt{N} .$$

Nesta equação, “N” representa o número de instalações de utilização.

No caso dos ramais devem ser utilizados os fatores de simultaneidade que constam das regras técnicas de instalações elétricas de BT e que são atribuídos de acordo com o número de fogos existentes.

Para que seja determinada a potência do PT bem como a potência a considerar em cada troço da canalização principal, sabendo que as potências dos PL são distintas, é necessário utilizar uma fórmula de cálculo que admita potências diferentes.

Assim para a agregação dos consumidores distintos:

$$P = 0,2 \times \Sigma(P_i \times N_i) + \sqrt{(\Sigma(0,8 \times P_i)^2 \times N_i)} .$$

Em que:

P_i : Potências contratadas normalizadas;

N_i : Número de instalações de utilização com potência P_i .

A determinação dos coeficientes de simultaneidade, e das potências associadas à RDBT permite determinar a corrente de serviço, e é a partir desta que se dimensionam as linhas e todos os equipamentos afetos ao correto funcionamento da rede [12].

Permitindo garantir que, em caso de anomalias na distribuição de energia, os elementos principais da rede não são comprometidos, são dimensionadas proteções. O dimensionamento de proteções tem em conta a canalização que protege, devendo ser seletiva, isto é, garantir que em caso de anomalia não é colocada fora de serviço toda a RDBT. Para que haja seletividade, uma proteção a jusante na instalação deve retirar de serviço apenas a zona comprometida, não permitindo que as proteções a montante atuem e

mantendo-se a restante rede de distribuição em funcionamento, uma vez que não foram afetadas por esse defeito. Também deve ser tido em conta que, de acordo com as tabelas da DIT-C14-100/N, uma canalização não está protegida acima de uma certa distância. A partir desse limite pode-se comprometer as características da canalização, sem que a proteção atue.

A garantia de seletividade pode ser feita recorrendo ao calibre das proteções ou ao tempo de atuação dos mesmos, devendo serem ambos menores à medida que se aproximam das instalações finais, pois assim estas ficam fora de serviço previamente, não permitindo que as outras proteções atuem. Segundo a DMA-C63-201 [18] todos os fusíveis utilizados na rede de distribuição devem ser do tipo gG, excluindo os fusíveis de ação ultra rápida (tipo AR) e de ação lenta (tipo aM), independentemente dos seus suportes. Os seus suportes, de acordo com a norma acima referida, podem ser cilíndricos ou de facas. A utilização destes equipamentos em armários de distribuição é feita em tri-bloco, que são a conjugação de três bases de fusíveis unipolares numa só unidade.

Os calibres dos fusíveis utilizados, bem como as suas dimensões e tipos de suporte estão na tabela 18.

Para a proteção contra sobreintensidades ou curto circuitos devem ser respeitadas as seguintes inequações:

$$I_s \leq I_n \leq I_z \quad ; \quad I_f \leq 1,45 I_z.$$

De acordo com estas expressões, fica latente que o calibre do fusível deve estar compreendido entre a corrente de serviço e a corrente máxima admissível da canalização, e ainda que o I_f , corrente de fusão do fusível seja no máximo igual a um acréscimo de 45% da corrente máxima admissível (I_z).

Esta condição pretende que a canalização principal não possa estar sujeita a uma corrente superior à corrente admissível durante mais de 5 segundos, isto porque, se a condição se verificar, o fusível dispara.

Outro fator a ter em conta do dimensionamento dos fusíveis é o tempo de atuação dos mesmos que, por imposição legal, tem de ser inferior a 5 segundos e inferior ao tempo de fadiga térmica da instalação. Para o cálculo da fadiga térmica da instalação a norma (Reg.T) indica a seguinte fórmula de cálculo:

$$\sqrt{t} = k.s / I_{cc}.$$

O valor de “k” representa uma constante atribuída à alma condutora, o “s” representa a secção da alma condutora e o “ I_{cc} ” representa a corrente de curto-circuito máximo da instalação a proteger.

A verificação desta condição permite garantir que a curva de fadiga térmica do fusível que para curtos circuitos inferiores ao curto-circuito máximo, o fusível funde antes de se atingir o tempo de fadiga térmica de instalação.

Na figura 8 é representado graficamente que para essa instalação o I_{cc} mínimo tem de ultrapassar o I_{cc1} [12].

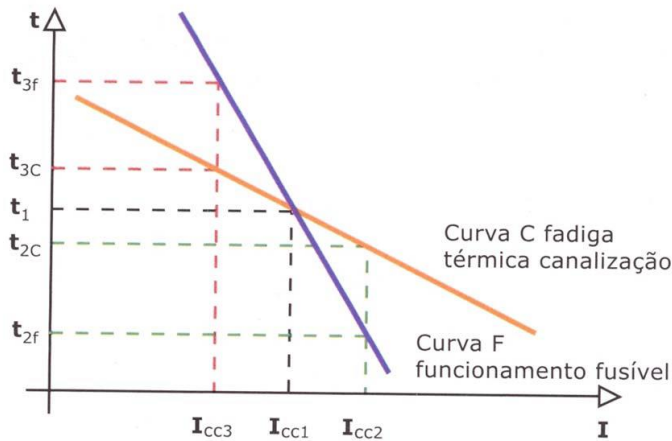


Figura 8 – Curva de fadiga térmica do fusível e da canalização

[Fonte: Gomes A. et al., Instalações elétricas de baixa tensão, 2017]

Nesta situação o I_{cc3} não garante a proteção da canalização, sendo que esta se irá danificar antes de fundir o fusível [20].

O adequado dimensionamento das canalizações e das suas proteções permite obter uma boa qualidade de serviço, facilita ações de manutenção que possam ser levadas a cabo e melhora a fiabilidade do sistema.

2.6. SOFTWARES USADOS NO PLANEAMENTO E EXPLORAÇÃO DE REDES DE MÉDIA E BAIXA TENSÃO

2.6.1. ASPETOS GERAIS

Com o propósito de aumentar a eficiência, sistematizar procedimentos, melhorar a gestão e o conhecimento da rede, são diversas as ferramentas informáticas utilizadas no planeamento de rede, cuja aplicabilidade inclui o desenho e caracterização de uma rede, a avaliação do desempenho da mesma, a catalogação de dados e a orçamentação.

De acordo com o tipo de tarefa a desempenhar é selecionado o *software* a utilizar, sendo importante conhecer a finalidade de cada um.

Os *softwares* expostos referem-se a ferramentas específicas da EDP Distribuição, cuja utilização pretende auxiliar a consulta e a atualização de dados.

Os programas descritos têm sobretudo o intuito de facilitar o cadastro da rede, a organização de dados numa plataforma interdisciplinar e avaliação de desempenho de uma determinada rede.

2.6.2. CADGIS

O CADGIS é uma ferramenta complementar do CAD (*Computer-Aided Design* ou, em português, desenho assistido por computador), que permite desenhar infraestruturas elétricas.

Como essa ferramenta contém na sua base de dados os elementos constituintes de uma rede de distribuição (nomeadamente cabos, armários, apoios e pontos de ligação), é possível caracterizar as infraestruturas desenhadas nas plantas CAD. As plantas são georeferenciadas o que permite que esta ferramenta faça a inserção de elementos de rede nas plantas existentes, devidamente caracterizadas.

Este *software* é importante para efetuar levantamentos no terreno, uma vez que possibilitam a informatização da informação recolhida, podendo ser utilizado no local do levantamento.

Na figura 9 é apresentado o interface deste programa, já contendo alguns troços desenhados.

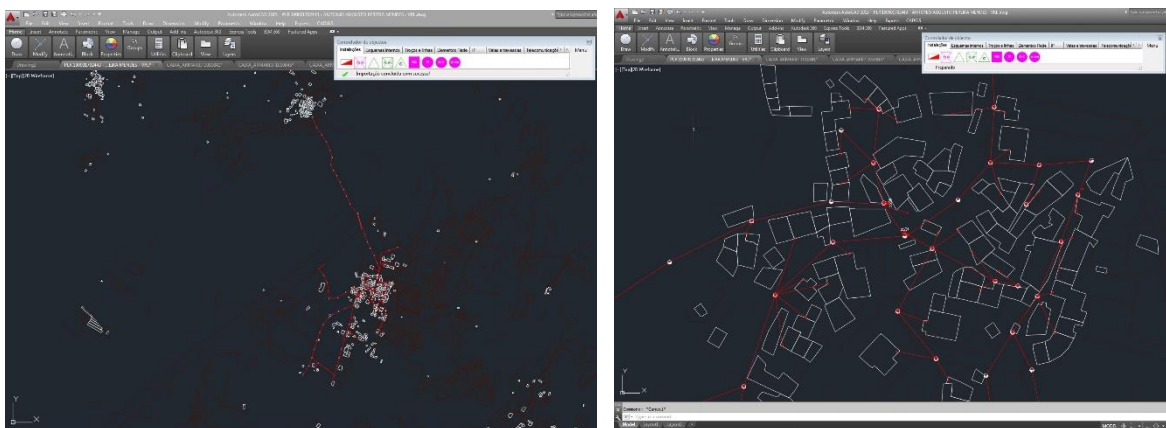


Figura 9 – Ambiente de trabalho CADGIS

Esta ferramenta é correntemente utilizada na realização do levantamento das RDBT aquando de um novo pedido de ligação.

Geralmente os levantamentos efetuados neste programa são feitos pelo prestador de serviços, sendo que a entrega dos ficheiros CADGis permite a obtenção de dados importantes de uma determinada rede.

As plantas de rede elétrica podem ser depois transferidas para a aplicação SIT (Sistema de Informação Técnica), ficando assim a informação disponível para outros utilizadores.

Este programa é um importante elemento na atualização e cadastragem da RDBT.

2.6.3. SISTEMAS DE INFORMAÇÃO TÉCNICA

O Sistema de Informação Técnica, na sua modalidade de Projeto Externo (SIT-PE) é a base de informação geográfica da EDP distribuição e permite efetuar a caracterização da rede existente, processo que está na sua fase inicial, no que toca a BT.

Este *software* faz a leitura dos dados fornecidos pelo CADGis, recolhendo a informação geográfica e a caracterização técnica contida nesse ficheiro, importando essa informação para a base de dados do operador da RDBT, permitindo que este tenha cadastrado na sua própria base de dados uma determinada instalação.

A utilização desta ferramenta permite que estejam inseridos em SIT cada vez mais instalações RDBT e que assim esta plataforma de informação contenha dados realistas dos componentes sob sua alçada, uma vez que apenas estão totalmente caracterizadas as instalações relativas à rede de distribuição em media e alta tensão.

O Sistema de Informação Técnica na sua modalidade de design Manager (SIT-DM) permite que os seus colaboradores acedam a informação topográfica de BT, MT e AT, já que faz parte deste programa o repositório nacional de dados das infraestruturas acima mencionadas, constando ainda infraestruturas de telecomunicações e outra informação adicional, como limites de áreas geográficas, mapeamento e números de polícia.

A figura 10 mostra o *interface* da plataforma SIT.

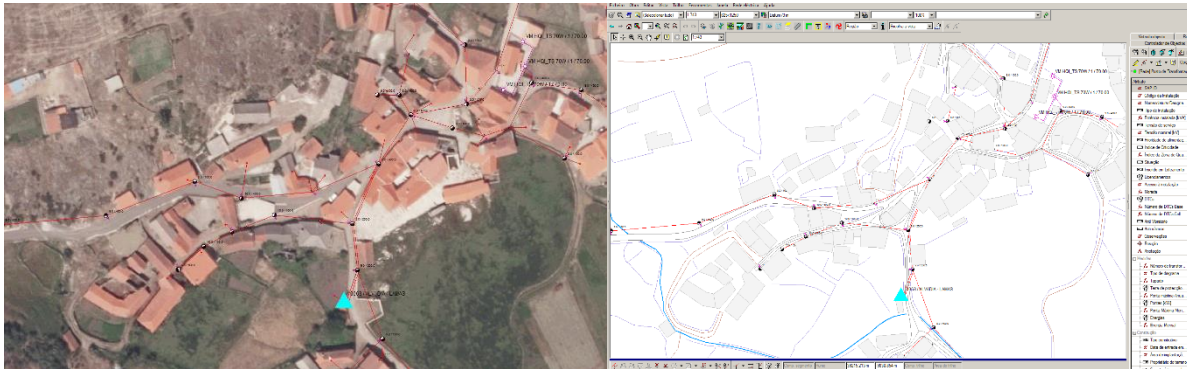


Figura 10 – Ambiente de trabalho do SIT a) - ortofotos ligadas b) - ortofotos desligadas

O objetivo deste programa é realizar a localização espacial sobre uma base cartográfica, permitindo atualizar o cadastro da rede elétrica, com o intuito de incrementar a qualidade da informação existente e a partilha de informação entre diferentes departamentos como forma de facilitar tomadas de decisão e maior conhecimento dos ativos existentes.

De destacar que na rede de distribuição, apesar de estar em curso um plano de reposicionamento, a sua modalidade BT não está totalmente cadastrada, sendo assim a que suscita maior preocupação, pois muitos dos componentes que fazem parte da mesma são desconhecidos ou não estão localizados nos locais reais.

A utilização deste programa tem sido reforçada pois ele permite realizar e programar obras durante todo o seu ciclo de vida. Quer isto dizer que uma determinada obra, em diferentes níveis de tensão, pode ser descrita e atualizada à medida que vai avançando.

O gestor da obra pode, no fim dos trabalhos, dar a obra por “concluída”, passando assim a informação da rede atualizada a estar disponível para os restantes utilizadores.

Atualmente a ferramenta está a assumir um papel ainda mais importante, pois a orçamentação de obras também passará a ser feita com recurso a este *software*.

2.6.4. DISTRIBUTION PLANING (DPLAN)

O programa Distribution PLANing (DPLAN) foi criado com o intuito de encontrar uma boa solução de planejamento de RDBT que cumpra os requisitos legais e normativos. Quer isto dizer que este programa considera os requisitos de qualidade de energia existentes no Regulamento da Qualidade de Serviço (RQS) para assim determinar se a solução testada não viola essas mesmas imposições.

Após ser introduzida uma rede e devidamente caracterizada em SIT, pode ser exportado um ficheiro para DPLAN cuja caracterização é reconhecida e, à posteriori, o DPLAN fará a avaliação e o cálculo das canalizações existentes de forma a determinar se as mesmas se adequam aos PLs que alimentam.

Quando é executado o o programa, a rede em teste assumirá uma de três cores: verde, no caso de serem respeitadas todas as imposições legais, amarelo, no caso se haver a iminência de transposição de requisitos legais ou vermelho, no caso de incumprimento.

Tendencialmente, os PLs mais próximos do PT apresentarão a cor verde, uma vez que as quedas de tensão aumentam com o distanciamento ao PT, em redes radiais.

Além de permitir testar o enquadramento legal, possibilita a avaliação de perdas no sistema, de acordo com os equipamentos utilizados, e dessa forma determinar a eficiência das alterações propostas.

Permite também determinar a fiabilidade do sistema e avaliar a variação da tensão ao longo da rede, permitindo discriminar quais os pontos críticos existentes, relativamente a perdas e aos limites da tensão.

Torna-se assim uma ferramenta de planejamento que testa se as propostas de alteração à rede garantem o cumprimento legal e se são adequadas a eventuais prolongamentos de rede ou alteração da tipologia existente, realizando também uma avaliação económica da mesma [27].

2.7. ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A Iluminação Pública (IP) está instalada ao longo das Redes de Distribuição de Baixa Tensão (RDBT) e destina-se a garantir que nas vias públicas sejam proporcionados os níveis mínimos de luminância, iluminância e uniformidade necessários à circulação em segurança de pessoas e bens [28].

A IP integra os contratos de concessão municipal, podendo os municípios e o operador de rede de distribuição acordar a transferência da responsabilidade da conservação dessas instalações [28].

Uma vez que é uma atividade regulada é necessário cumprir uma série de requisitos legais, que visam adequar os níveis de quantidade e qualidade da iluminação aos aglomerados populacionais a servir.

Sucintamente, os níveis de iluminação são estabelecidos de acordo com o tipo de vias a iluminar (circulação automóvel, percursos pedonais ou jardins) e com o trânsito característico dessas mesmas vias.

A regulamentação em vigor prevê vários níveis de iluminação, aos quais estão alocados níveis de iluminância mínima, iluminância média, uniformidade e taxa de restituição.

As classes de iluminação existentes, que devem ser tidas em conta na projeção da iluminação pública constam da tabela 19, disponível no manual de iluminação pública da EDP [28].

Tabela 19 – Classes de iluminação da via pública

Classe de Iluminação	Superfície da estrada			Molhada	TI (%)	SR
	Seca					
	L. média	Uo	UI			
M1	2	0,4	0,7	0,15	10	0,5
M2	1,5	0,4	0,7		10	
M3	1	0,4	0,6		15	
M4	0,75	0,4	0,6		15	
M5	0,5	0,35	0,4		15	
M6	0,3	0,35	0,4		20	

[Fonte: Manual de Iluminação Pública]

Estas classes de iluminação são obtidas após determinação de requisitos fotométricos que consideram, entre outros, a velocidade do movimento, a proximidade de objetos, o tipo de superfícies e a pertinência de reconhecimento facial.

Como referido, a iluminação pública consta da exploração da RDBT, o que implica que a mesma incorpore as instalações necessárias à exploração desta rede. Quer isto dizer que na concessão nas RDBT devem constar os circuitos necessários a que sejam alimentadas as luminárias afetas à IP, tanto na rede subterrânea como na rede aérea.

No caso da rede subterrânea, a IP possui um circuito específico por toda a expansão da rede. Os condutores afetos à BT têm única e exclusivamente a função de alimentar os PLs, enquanto que a IP pode seguir um traçado diferente, já que conta com condutores exclusivos para essa função.

Os circuitos da IP, que contam com secção normalizada de 16 mm², apesar de poderem ser utilizados circuitos monofásicos e trifásicos, com 2 e 4 condutores, respetivamente, contam com derivações desses mesmos condutores na portinhola de cada coluna de IP [29].

As colunas de IP destinam-se a suportar as luminárias à altura e com a inclinação projetadas, bem como todos os equipamentos necessários ao bom funcionamento das luminárias. Geralmente as colunas IP são metálicas, verificando-se a existência de vários modelos, normalizados ou não, para melhorar o enquadramento estético com a paisagem na qual se inserem. Muitas das vezes também é tido em conta o fator estético na escolha do modelo da luminária a aplicar, bem como a qualidade de luz que a mesma imite.

Relativamente à rede aérea, verifica-se que a RDBT e a IP têm uma relação próxima. Quer isto dizer que em grande parte dos troços das canalizações principais da BT os cabos utilizados acumulam as duas funções, distribuição de energia elétrica e iluminação de vias públicas.

Este facto justifica que os cabos de torçada utilizados nas redes de distribuição aéreas tenham cinco condutores, sendo que três deles se destinam às três fases, outro condutor desempenha a função de neutro (para a BT e IP) e o último, de secção de 16 mm² (como na rede IP subterrânea) se destina à IP. Em todos os apoios BT em que existe uma luminária ligada é repicado o condutor de neutro e o condutor da IP para instalar a luminária. Quer isto dizer que os apoios que se destinam a suportar as canalizações afetas à BT também servem de

suporte para as luminárias e é neles que são feitas as ligações entre os circuitos de IP e a luminária.

Verifica-se que em alguns locais cuja RDBT é aérea e existe IP, mas não BT, os cabos utilizados são exclusivamente IP, ou seja, têm apenas dois condutores de 16 mm² (LXS 2x16). Geralmente o QGBT aloja os comandos e os contadores da IP. Nessas situações circuitos de IP saem do PT e são apenas alimentados no período noturno. Existem diversas formas de ativar os circuitos da IP, como células fotossensíveis, relógios digitais e relógios astronômicos. A tecnologia utilizada nos comandos IP mais comuns recorre a relógios astronômicos, que possibilitam a adaptação às alterações horárias, sendo que alguns deles permitem a reprogramação à distância.

Em casos pontuais como a iluminação de jardins ou iluminação cênica podem existir outros quadros de contagem da IP. Também ocorrem casos de IP não ligada às saídas do QGBT quando é incomportável ou desadequado estender a rede de iluminação até esses locais, mas existe nas proximidades redes de baixa tensão. Para esses casos é alimentado um quadro de IP de forma análoga a um PL.

Como a iluminação pública representa uma parte considerável dos consumos de energia elétrica, tem havido uma tendência para reduzir os encargos económicos e ambientais da exploração da IP, tendo sido lançados planos de requalificação, como o Programa Operacional da Valorização do Território (POVT) ou Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE).

Nesses planos é incentivado o uso de luminárias mais eficientes como os díodos emissores de luz (*Light Emitting Diode* - LED), a substituição de balastros existentes por balastros eletrónicos e a substituição total das lâmpadas de mercúrio.

2.8. QUALIDADE DE SERVIÇO

2.8.1. ASPETOS GERAIS

Enquanto prestador de serviços públicos o operador de rede deve gerir o sistema elétrico de forma a garantir o fornecimento de energia com um nível de qualidade mínimo que garanta o bom funcionamento das instalações por ele alimentadas.

Uma vez que atualmente o fornecimento de energia elétrica é considerado um produto e não um serviço, tem de ter um controlo permanente desse mesmo produto, contendo características específicas e mensuráveis, priorizando a satisfação do cliente.

Enquanto recetor do produto, o cliente tem o direito a receber a energia de que necessita (contratualmente) na quantidade necessária, com a qualidade estipulada e de forma praticamente ininterrupta.

De forma a quantificar a qualidade de serviço, as redes de distribuição estão sujeitas à medição do seu desempenho, tendo em conta os indicadores específicos.

Os principais documentos que parametrizam os indicadores de desempenho da RDBT estão descritos nas secções seguintes. Estes documentos, além de formularem o cálculo de desempenho de uma rede, também estabelecem os limites de variação de grandezas e os regimes sancionatórios aos quais os operadores estão sujeitos em caso de incumprimento.

2.8.2. REGULAMENTO DA QUALIDADE DE SERVIÇO

Por mais sofisticado ou fiável que um sistema possa ser, não é possível ter um sistema sem falhas ou sem variações, pelo que é necessário estabelecer limites para essas mesmas oscilações. O estabelecimento desses limites é da responsabilidade das entidades reguladoras, que também devem garantir o cumprimento dos mesmos por parte das entidades envolvidas no Sistema Elétrico Nacional (SEN).

A Entidade Reguladora Dos Serviços Energéticos (ERSE), como entidade responsável por regular o setor elétrico, apresenta um documento no qual estão representados os limites admissíveis para as variações e interrupções, aos quais estão previstas sanções por incumprimento: o Regulamento de Qualidade de Serviço (RQS) [30].

O RQS tem como objetivo estabelecer as obrigações de qualidade de serviço de natureza técnica e comercial a que devem obedecer os serviços prestados no SEN.

A componente técnica está relacionada com a continuidade de serviço, isto é, com a frequência de ocorrência de interrupções, com a duração das mesmas e ainda com a qualidade da energia elétrica. A qualidade está diretamente relacionada com as características da onda de tensão e com perturbações que possam afetar as suas propriedades

[30]. Assim sendo, o RQS pretende regular as atividades de prestação/participação de serviços relacionados com a energia elétrica, incluindo atividades de produção, transporte, distribuição, comercialização e mesmo utilização.

A EDP Distribuição, enquanto operador da rede de distribuição, deve cumprir o RQS, que por sua vez contempla um conjunto de indicadores apresentados na Norma Europeia EN 50160 [31]. Esta norma define as características da onda de tensão, bem como os limites de perturbação que o cliente de energia elétrica pode esperar.

A Rede Nacional de Transporte (RNT) é a rede que está sujeita a maiores interferências, podendo influenciar mais frequentemente as redes por ela alimentadas. Neste nível de tensão são avaliados os seguintes valores, que devem ser comunicados às entidades reguladoras:

- Valor eficaz da tensão;
- Tremulação (*flicker*);
- Distorção harmónica;
- Desequilíbrio do sistema trifásico de tensões;
- Cavas de tensão;
- Sobretensões.

Os conceitos de continuidade e qualidade de serviço podem ser quantificados de forma a estabelecer índices de fiabilidade no SEN. Nesse sentido foram criados diversos índices que pretendem avaliar o desempenho da rede.

Os indicadores mais relevantes e que têm de ser reportados para consulta pública, sendo também avaliados pela ERSE, são os seguintes:

- SAIFI - Índice de frequência média de interrupções do sistema;
- SAIDI - Índice de tempo médio de interrupções do sistema;
- MAIFI - Índice de frequência média de interrupções breves do sistema
- SARI - Índice de tempo médio de reposição de serviço do sistema;

- TIEPI - Índice do tempo de interrupção equivalente da potência instalada;
- END - Índice da Energia Não Distribuída;
- ENF - Índice da Energia Não Fornecida;
- TIE - Índice do tempo interrupção equivalente.

Os indicadores acima referidos são essenciais para definir o desempenho da rede e estão definidos limites para os mesmos na Diretiva n.º 20/2013 [26] (Parâmetros de Regulação da Qualidade de Serviço do setor elétrico).

A aplicação dos indicadores difere consoante as redes a considerar, e com as zonas de qualidade de serviço, que estão classificadas em A, B e C. A classificação destas zonas está estabelecida no Manual de Procedimentos da Qualidade de Serviço do Setor Elétrico, publicada pela ERSE, e é atribuída de acordo com a densidade e disposição dos clientes.

Os indicadores que são considerados para avaliar o desempenho da RDBT são o SAIFI e o SAIDI, que pretendem avaliar a fiabilidade da rede em concordância com a frequência e o tempo médio das interrupções. Estes indicadores são determinados por:

$$\text{SAIFI} = \frac{N^{\circ} \text{ anual de interrupções nos clientes}}{N^{\circ} \text{ total de clientes do sistema}}$$

$$\text{SAIDI} = \frac{N^{\circ} \text{ anual de horas de interrupção nos clientes}}{N^{\circ} \text{ total de clientes do sistema}} .$$

Os indicadores descritos acima pretendem determinar qual a frequência média de interrupções a que cada ponto de entrega está sujeito, e qual a duração média dessas mesmas interrupções de serviço.

2.8.3. QUALIDADE DA ONDA DE TENSÃO

A eletricidade apresenta diversas características variáveis que podem ser parametrizadas e avaliadas.

Enquanto produto, a energia elétrica pode ser utilizada para assumir diversas formas, como energia mecânica, luminosa ou térmica.

A qualidade de energia, decorrente da classificação e parametrização da onda de tensão, pode influenciar o funcionamento dos equipamentos. Idealmente a tensão de alimentação seria uma senoide perfeita com uma amplitude e uma frequência constantes [32]. No entanto, a onda de tensão pode ser condicionada consideravelmente pelos utilizadores [31].

No caso da eletricidade os consumidores são aqueles que mais influenciam na degradação das grandezas afetas à onda de tensão. Nesse contexto o cliente é um elemento importante para a manutenção da qualidade, pois pode produzir interferências como harmónicos decorrentes de aparelhos eletrónicos, energia reativa de motores eléctricos e abaixamento de tensão pela elevada solicitação de potência [31].

Os produtores bem como os operadores de rede estão sujeitos a regulamentação em relação à qualidade da onda de tensão devendo estar preparados para responder rapidamente às solicitações dos clientes, mantendo o sistema dentro dos parâmetros exigidos [32].

O agrupamento e interligação de redes de grande capacidade, ligadas a uma produção com elevada potência, pode limitar as flutuações de acordo com as variações na demanda de energia, já que pequenos ajustes nestas produções traduzem maiores diferenças no fornecimento.

Os parâmetros a avaliar são referidos no RQS e preveem o controlo das variações ocorridas. Essas variações estão descritas na norma portuguesa, (partindo de uma norma europeia), a NP EN 50160 [31].

A NP EN 50160 - Características da tensão fornecida pelas redes de distribuição pública de energia eléctrica – estabelece as principais características a verificar nos pontos de entrega da tensão de alimentação. Esta norma indica os limites e os valores característicos da onda de tensão, os quais o cliente pode esperar em condições normais de exploração. Está referida e é aplicável a redes de distribuição em BT e MT [37].

Como esta norma refere as características da onda de tensão em situações normais, refere as situações excepcionais não consideradas, de entre as quais se destacam [31]:

- Exploração em condições de avaria ou condições provisórias em trabalhos de manutenção;
- Não conformidade da instalação do cliente;
- Não conformidade das instalações de produção
- Situações esporádicas como catástrofes naturais, interrupções devidas a causas externas ou casos de força maior.

Os parâmetros a considerar e definir nesta norma são a frequência, a amplitude, a forma de onda e a simetria das tensões. Esses valores estão sujeitos a variações recorrentes de causas aleatórias de mudança de carga, aparecimento de perturbações ou defeitos. Devido a esta imprevisibilidade, esta norma permite que os níveis das características sejam excedidos, mas apenas um número restrito de vezes. Algumas perturbações da rede de distribuição a destacar são:

- Severidade da tremulação: intensidade do desconforto provocado pela tremulação, avaliado por:
 - Severidade de curta duração (P_{st}) medida num período de 10 minutos
 - Severidade de longa duração (P_{it}) calculada sobre uma sequência de 12 valores de P_{st} relativos a um intervalo de duas horas, segundo a expressão:

$$P_{it} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^3}{12}}$$

- Cavas de tensão: diminuição brusca da alimentação para um valor situado entre 90% e 1% da tensão nominal, convencionalmente com durações entre 10ms e 1minuto.
- Interrupção da alimentação: redução da tensão para um nível inferior a 1% da tensão nominal. Podem ser programadas ou acidentais e são classificadas de breves no caso de ser uma interrupção não superior a três minutos, ou longas nos seguintes casos.
- Tensão harmónica: tensão sinusoidal cuja frequência é um múltiplo inteiro da frequência fundamental. A distorção harmónica total (THD) pode ser calculada por:

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} U_h^2}$$

em que h representa a ordem da harmónica, e U_h a amplitude relativa da harmónica em relação à tensão fundamental. Contabilizando os harmónicos até à ordem 40, o THD não deve ultrapassar os 8%.

- Desequilíbrio de tensão: estado em que os valores eficazes das tensões ou o desfasamento entre as tensões das fases não são iguais

A referida norma encontra-se dividida em três partes, estando as duas últimas relacionadas com a caracterização dos parâmetros a avaliar e respetivos limites. O capítulo dois refere-se à alimentação em BT, e o três refere-se ao nível MT.

Em relação à BT, é definida a frequência nominal do sistema, a variabilidade permitida e a limitação temporal em que podem ser ultrapassados esses limites.

Esses valores estão sumariados na tabela 20 [31].

Tabela 20 – Variações da frequência industrial

Valores nominais (Frequência/Hz)	Variação aceite (%)	Tempo de verificação (%/ano)
50	± 1	99,5
50	+ 4 - 6	100

[Fonte: NP EN 50160]

A tensão também é alvo de parametrização no que diz respeito à sua amplitude a às variações em relação ao seu valor nominal, como representando na tabela 21.

Tabela 21 – Variações da tensão nominal

Valores nominais (Tensão/V)	Variação aceite (%)	Tempo de verificação (%/semana)
230	± 10	95
230/400 (eficaz)	+ 10 - 15	100

[Fonte: NP EN 50160]

A NP EN 50160 também contempla outros fenômenos verificáveis na onda de tensão como variações rápidas de tensão, tremulação, cavas de tensão ou interrupções de alimentação.

Das características acima referidas, apenas a tremulação apresenta valores limite para a sua severidade, os outros parâmetros são definidos, mas contam apenas com valores indicativos.

Além de ser avaliada a severidade da tremulação também está prevista a limitação dos valores do desequilíbrio entre as tensões de avaliação. Para este caso específico apenas são consideradas as tensões inversas pois elas constituem uma componente determinante nas perturbações. À semelhança das tabelas anteriores, apresentam-se a classificação dos valores esperados na tabela 22.

Tabela 22 – Tremulação máxima regulamentar

Flutuações da tensão (Pit)	Tempo de verificação (%/semana)
≤ 1	95

[Fonte: NP EN 50160]

De forma a avaliar a qualidade da onda de tensão, têm de se considerar as influências dos equipamentos na forma de onda.

Os equipamentos (principalmente devido a conversores eletrónicos) deformam a onda de tensão, ficando esta composta pela resultante da onda fundamental (sinusoide perfeita à frequência industrial), e pelos harmónicos introduzidos (de frequência distinta da industrial). Segundo a norma as tensões sinusoidais podem ser harmónicas, e desse modo ser múltiplos inteiros da frequência fundamental, ou inter – harmónicas, no caso de serem múltiplos não inteiros. Os principais influenciadores das tensões inter-harmónicas são os conversores de frequência, no entanto a norma ainda não prevê a limitação dos inter-harmónicos. Quanto às tensões harmónicas, para períodos de uma semana, 95% dos valores eficazes médios de cada harmónico não devem exceder os valores da tabela 23 [31].

Tabela 23 – Valores de tensão harmónicas para baixa tensão até à ordem 25

Harmónicas ímpares				Harmónicas pares	
Não múltiplas de 3		Múltiplas de 3			
Ordem h	Tensão relativa (%)	Ordem h	Tensão relativa (%)	Ordem h	Tensão relativa (%)
5	6,0	3	5,0	2	2,0
7	5,0	9	1,5	4	1,0
11	3,5	15	0,5	6 ... 24	0,5
13	3,0	21	0,5		
17	2,0				
19	1,5				
23	1,5				
25					

[Fonte: NP EN 50160]

Para o caso da MT, os valores considerados bem como os seus limites normativos são equivalentes, havendo apenas variações no que respeita aos valores das tensões harmónicas e à limitação das sobretensões temporárias. Para o caso das sobretensões, a norma estabelece o limite de 1,7 Uc para redes com neutro ligado à terra e 2,0 Uc para neutro isolado.

Tal como no caso da BT, a THD não deve ultrapassar os 8%, estando os valores das tensões harmónicas nos pontos de entrega na tabela 24 [31].

Tabela 24 – Valores de tensão harmónicas para média tensão até à ordem 25

Harmónicas ímpares				Harmónicas pares	
Não múltiplas de 3		Múltiplas de 3			
Ordem h	Tensão relativa (%)	Ordem h	Tensão relativa (%)	Ordem h	Tensão relativa (%)
5	6,0	3	5,0	2	2,0
7	5,0	9	1,5	4	1,0
11	3,5	15	0,5	6 ... 24	0,5
13	3,0	21	0,5		
17	2,0				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				

[Fonte: NP EN 50160]

3. ESTUDO TÉCNICO DE SUBSTITUIÇÃO DE UMA REDE DE BAIXA TENSÃO AÉREA EM CONDUTORES NUS PARA CONDUTORES EM TORÇADA

3.1. ASPETOS GERAIS

Neste capítulo será apresentado o trabalho prático desenvolvido no âmbito do estágio na EDP distribuição, mais concretamente no departamento de obras.

As tarefas descritas incidem sobre o estudo realizado de acordo com a propósito do estágio, estando contempladas atividades como levantamento, caracterização da rede atual e definição fundamentada de alterações.

Este trabalho consistiu na substituição de condutores nus em cobre por cabos de torçada em alumínio, com o intuito de melhorar a segurança de pessoas e bens sem comprometer a qualidade de serviço.

As substituições realizadas têm por base a retirada de condutores nus e a aplicação de novos troços, recorrendo a condutores aéreos isolados, de acordo com a normalização em vigor.

3.2. FASES DE UM PROJETO DE CONSTRUÇÃO OU REMODELAÇÃO DE UMA REDE DE BAIXA TENSÃO

Qualquer projeto que envolva energia elétrica prevê uma metodologia de trabalho, que tenciona estabelecer um processo contínuo e encadeado.

O processo inicia-se aquando da ordem de realização do projeto e termina com a adjudicação da obra e posterior entrega do projeto para assim poder ser executado.

O caso do projeto de construção ou remodelação de uma Rede de Distribuição em Baixa Tensão (RDBT) não é exceção, estando previsto um conjunto sequencial de fases a desenvolver:

- Planeamento;
- Levantamento prévio;

- Solicitações de potência;
- Atualização em sit;
- Determinação de exequibilidade;
- Fatores condicionantes/decisórios;
- Possibilidade de IP (contacto com CM);
- Condições técnicas regulamentares;
- Proposta inicial;
- Estudo;
- Orçamentação;
- Reuniões multidisciplinares;
- Ressarcimento;
- Validação;
- Adjudicação.

De entre o conjunto total de fases, neste documento não serão contempladas as fases posteriores ao “estudo” pois essas fases correspondem à avaliação de parâmetros económicos e de contacto com outras entidades, o que se distância do âmbito do projeto proposto.

3.3. CARACTERIZAÇÃO DEMOGRÁFICA E GEOGRÁFICA DA LOCALIDADE INTERVENCIÓNADA

O caso de estudo de foi desenvolvido numa freguesia cuja distribuição em baixa tensão é feita exclusivamente por linhas aéreas, sendo que uma parte significativa dessas linhas é realizada com soluções são normalizadas.

A freguesia é constituída por três aldeias: Lamas, Alvadia e Favais, que perfazem 196 habitantes, segundo os censos de 2011 do Instituto Nacional de Estatística (INE). Apesar das aldeias terem uma população reduzida, têm uma área relativamente elevada, num total de 33,79 km².

Apesar da população residente ter vindo a decrescer significativamente ao longo dos anos, o número de habitações (e o conseqüente número de pontos de entrega) têm aumentado. Este facto pode ser justificado com base no aumento da construção de casas de utilização temporária (por exemplo, destinadas a férias, turismo rural...), mas cujo fornecimento de energia também é necessário.

Cada uma das aldeias dispõem de um Posto de Transformação (PT), sendo que Alvadia e Lamas têm PTs de 100kVA [37], enquanto Favais conta com um PT de 50kVA.

A linha de média tensão, a 30 kV, que alimenta os PTs tem origem na subestação de Soutelo, localizada em Vila Pouca de Aguiar.

A rede de distribuição em Média Tensão (MT) que interliga os PT localizados na freguesia em estudo parte do apoio número 80 de uma linha que, conforme já referido, tem origem na subestação de Soutelo.

No referido apoio 80 da linha, está instalado um Aparelho de Corte e Religação (ACR) para proceder a eventuais manobras na rede, sejam estas devido a avarias ou a manutenção programada. O referido equipamento está instalado de acordo com a figura 11.

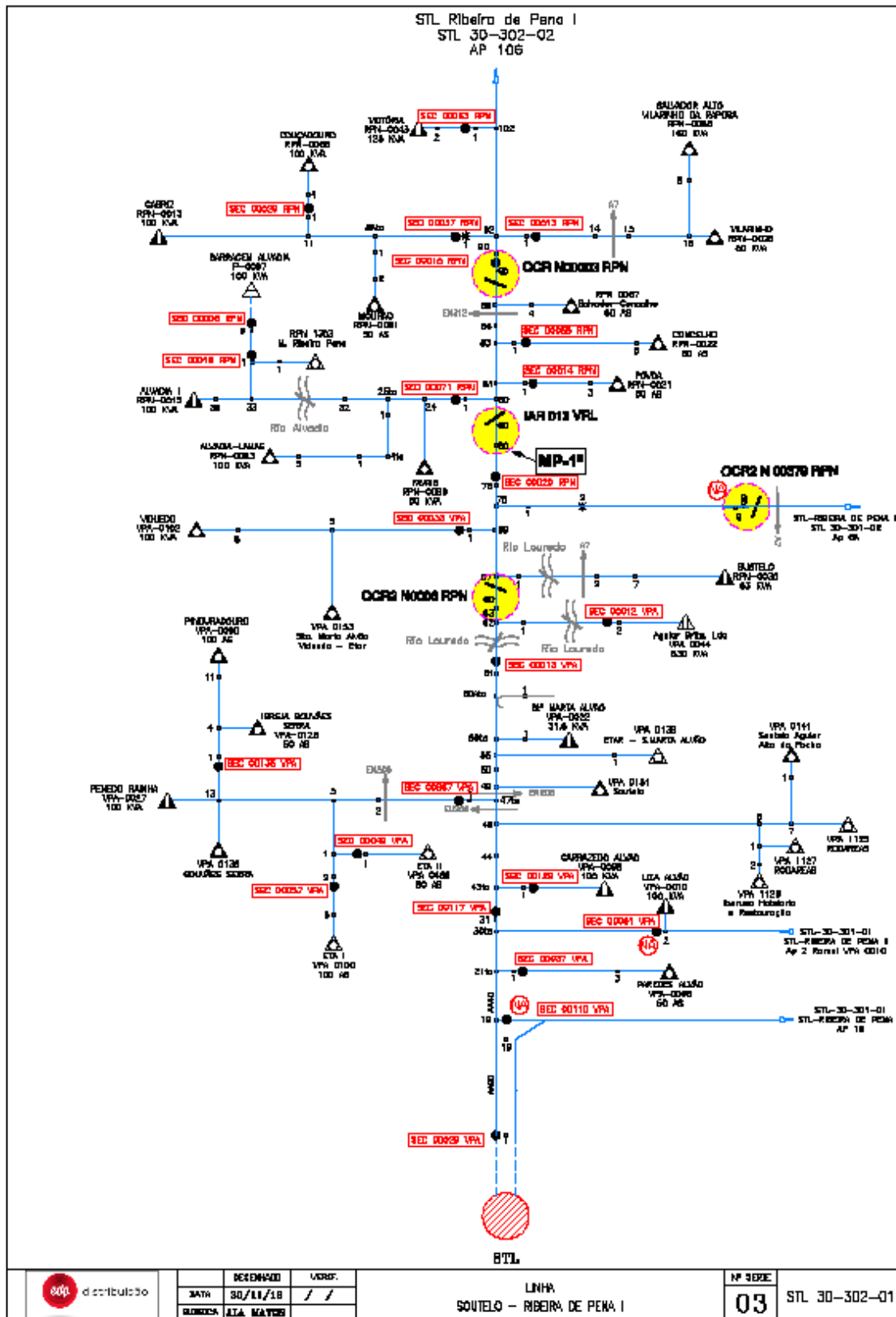


Figura 11 – Carta de rede da linha de Soutelo - Ribeira de Pena

A figura 11 apresenta de forma esquemática as interligações relativas à rede de MT da subestação de Soutelo, que alimenta uma parte do concelho de Ribeira de Pena, nomeadamente a freguesia alvo do estudo.

A rede acima descrita pode ser isolada da restante rede de distribuição recorrendo a um Interruptor Auto-Religador (IAR) instalado no primeiro apoio da rede derivada, SEC 00071 RPN. Como a rede é radial, quando este equipamento for accionado, as instalações a jusante ficarão fora de serviço. Assim sendo, a ação de isolamento recorrendo ao AIR deixará a rede BT de toda a freguesia desligada.

A aldeia de Lamas conta atualmente com 82 pontos de entrega, maioritariamente monofásicos e com potências contratadas reduzidas, o que permite que apenas exista um posto de transformação, do tipo AS e de potência relativamente reduzida, 100kVA.

3.4. LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DAS INFRAESTRUTURAS EXISTENTES

3.4.1. LEVANTAMENTO DA REDE

A rede de baixa tensão desta aldeia não tinha qualquer infraestrutura levantada nem cadastrada, o que implicou a necessidade de recolher os dados necessários à caracterização da rede. Procedeu-se assim à recolha no terreno das infraestruturas que compõem a rede de Baixa Tensão (BT) e identificação das respetivas características.

Inicialmente foi preparada a visita ao terreno a ser cadastrado, e uma vez que os dados recolhidos devem ter em conta a localização geográfica, foi retirado o mapeamento da zona, ou seja, foram impressas as plantas e as ortofotos atualizadas da zona a levantar.

O trabalho foi desenvolvido nas três aldeias da freguesia, mas como o trabalho foi semelhante em cada delas, apenas será apresentado o trabalho desenvolvido para a aldeia de Lamas.

A figura 12 mostra os ortofotos da aldeia de Lamas.



Figura 12 – Ortofotos ligadas da aldeia de Lamas

Nesta imagem podemos ver a aldeia de Lamas, de acordo com os dados obtidos pelo Google Earth, na sua forma original, isto é, sem qualquer infraestrutura da rede de distribuição inserida.

Além disso, foi extraída uma tabela contendo os números de contadores de cada cliente, com o intuito de atribuir a localização dos pontos de entrega.

Após a preparação acima descrita uma equipa de cadastragem da EDP Distribuição deslocou-se ao local para caracterizar as infraestruturas, partindo do PT, (sendo que, como já referido, possuía dois circuitos de saída) registando cada um deles e incluindo os ramais, as baixadas, os pontos de entrega, e ainda os pontos de iluminação pública e respetivos apoios.

A figura 13 mostra as fotos do levantamento em papel, que representa o resultado do trabalho de campo da equipa de cadastro que o aluno integrou.

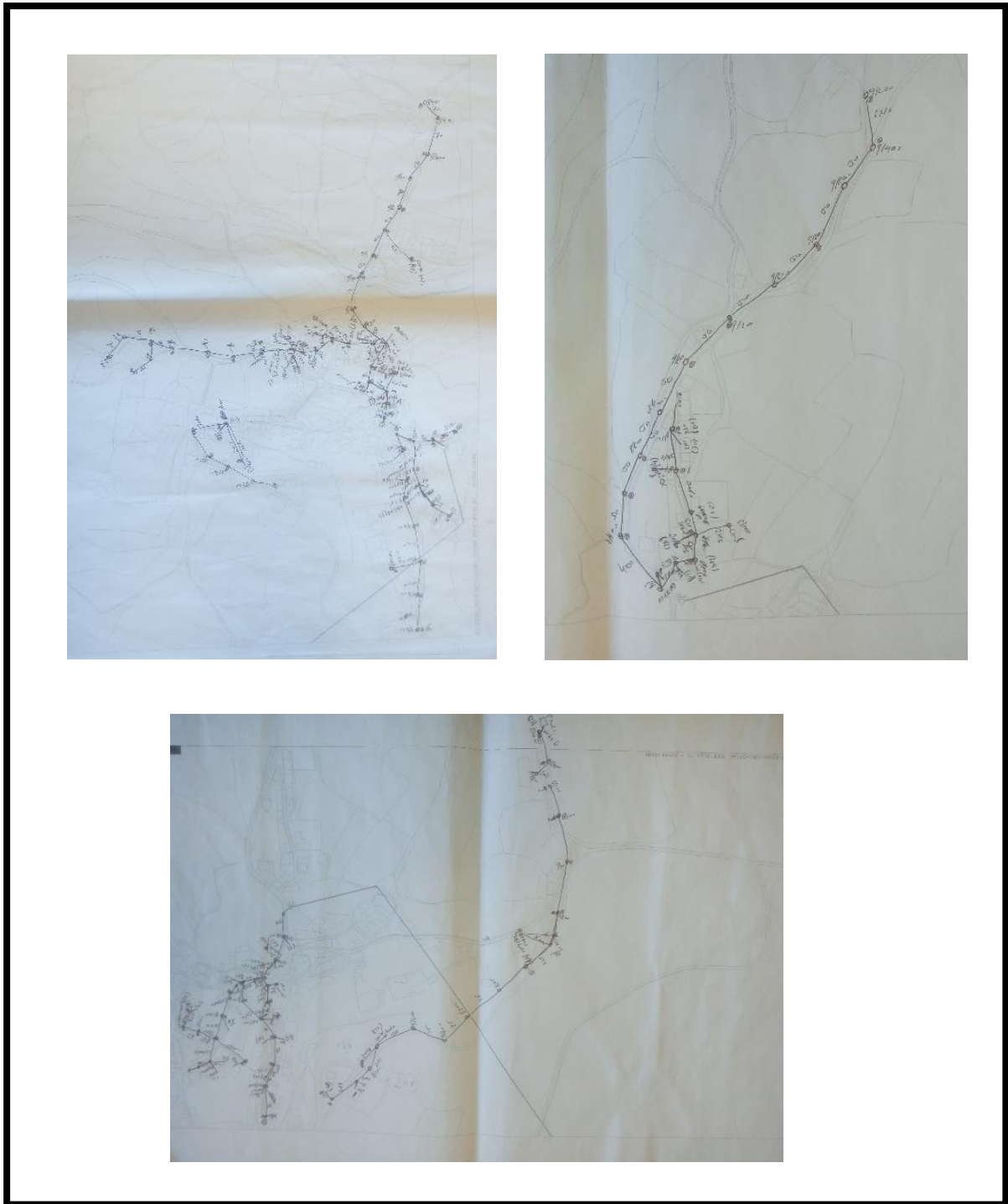


Figura 13 – Fotos do levantamento em papel relativo às infraestruturas de alimentação da aldeia de Lamas

O levantamento da rede foi executado por uma equipa constituída pelo aluno e dois colaboradores pertencentes à empresa na qual se realizou o estágio.

O trabalho iniciou-se com o levantamento das infraestruturas do circuito 1 do PT 0063, tendo sido percorrida a zona pela qual o circuito se desenvolve e registados os dados mais relevantes, bem como definidas as principais características do circuito.

De destacar que esta rede de distribuição, tal como uma parte significativa das redes rurais, conta com uma estrutura radial que é composta por dois circuitos de saída do PT, distintos e independentes. Neste caso em particular, o circuito 1 abrange principalmente a parte Oeste e Noroeste da aldeia, enquanto que o segundo circuito se estende pelo resto da aldeia.

Este trabalho de levantamento foi extremamente demorado e complexo porque a rede tinha uma extensão considerável, algumas infraestruturas não eram fáceis de identificar e caracterizar e houve sempre o cuidado de recolher os elementos de rede com detalhe quer ao nível da caracterização quer ao nível da localização.

Um dos elementos mais complexos de cadastrar foram os PL. A caracterização dos PL é morosa, porque a cada PL deve corresponder um cliente, de acordo com a identificação do contador, e muitos dos contadores da aldeia ainda estão instalados no interior das habitações ou não estão acessíveis da via pública. Esse fator dificultou bastante a identificação dos PL e a caracterização das potências associadas a cada um deles.

Também foi algo complexo a identificação da secção de alguns condutores devido à altura que eles apresentavam e no centro da aldeia, onde a concentração de PL é maior, a complexidade do traçado e da sua caracterização acresceu.

Apesar de ter sido algo demorada esta tarefa permitiu o contato com as infraestruturas e equipamentos, assim como possibilitou o desenvolvimento de capacidades de análise visual, de identificação de equipamentos (nomeadamente reconhecimento de elementos não normalizados).

O levantamento de infraestruturas realizado possibilitou a caracterização completa da rede de distribuição em baixa tensão.

3.4.2. CARACTERIZAÇÃO DA REDE

Os levantamentos realizados permitiram identificar, caracterizar e quantificar as infraestruturas existentes na aldeia de estudo.

Apesar do comprimento da canalização principal ser elevado, não foi verificada a existência de caixas de proteção e respetivas proteções ao longo da mesma. A proteção da Rede de Distribuição de Baixa Tensão (RDBT) estava apenas assegurada pelas proteções existentes no Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) do posto de transformação.

A instalação da RDBT inicia-se num posto de transformação do tipo AS, apoiado num poste de betão do tipo 14TP4, de acordo com a DMA-C67-212/N [14], equipado com um transformador de 100 kVA.

O transformador, é para montagem exterior, do tipo hermético e com isolamento em óleo (Figura 14).



Figura 14 – Transformador do posto de transformação de Lamas

Num Posto de Transformação (PT) de serviço público com esta potência é instalado um Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) do tipo R100, normalizado pela EDP-Distribuição.

Segundo a norma DMA-C62-808/N [13], o quadro R100 conta apenas com uma saída para as redes de distribuição, no entanto o quadro R100 aplicado foi alterado de forma a conter duas saídas.

Usualmente a solução adotada consiste em utilizar a saída do R100 até um apoio próximo e nesse apoio aplicar uma caixa de proteção aérea com o objetivo de subdividir a canalização principal. A adaptação existente permite que as duas saídas partam do QGBT, saindo também um circuito monofásico para a IP.

A figura 15 mostra uma imagem do quadro geral de baixa tensão do posto de transformação.



Figura 15 – Quadro Geral de Baixa Tensão do posto de transformação de Lamas

No que respeita à fronteira entre as instalações dos clientes e a RDBT, constatou-se que na aldeia em questão os pontos de entrega são em geral antigos. Este fator leva a que a maioria dessas fronteiras sejam nos ligadores da entrada do contador ou do limitador de potência, e não nas portinholas.

Nos Pontos de Ligação (PLs) que contêm portinholas verifica-se que os seus contadores são acessíveis da via pública, o que vai de acordo com a regulamentação em vigor e facilita ações de contagem. No entanto verifica-se que existem muitas instalações inacessíveis colocados no interior das habitações, pois era uma prática comum antes da certificação de instalações.

Verificou-se ainda que todas as portinholas existentes são, de acordo com a norma DMA-C62-810/N [33], do tipo P25 ou P50, que se destinam a PLs com baixa potência, que é comum em zona rurais.

Também foi constatado que a generalidade dos contadores são monofásicos, e os valores de potências contratadas são baixas.

A tabela 25 mostra o tipo de contratos de energia de clientes alimentados pelo posto de transformação.

Tabela 25 – Características dos pontos de entrega

Potência Contratada (W)	N	Potência Máxima (W)	N	Tipo Instalação	N
1150	16	3,45	61	MONO	68
2300	1	6,9	1	TRI	3
3450	46	10,35	3		
4600	1	13,8	1		
6900	5	17,25	2		
13800	1	52	2		
17250	1	56	1		
Total	71	Total	71	Total	71

Relativamente às baixadas de alimentação aos clientes finais foi possível verificar que estas eram realizadas maioritariamente com cabos em cobre, mas algumas das baixadas já eram realizadas com cabos em alumínio. Verificou-se ainda que alguns dos cabos não observavam a atual normalização da EDP-Distribuição.

A tabela 26 mostra as características das baixadas assim como o seu circuito de alimentação.

Tabela 26 – Características das baixadas e circuito de alimentação

designação do Cabo	N	Comprimento total do sistema (m)	Circuito 1 (m)	Circuito 2 (m)
Cu 2x16	1	22,79	22,79	0
Cu 2x6	1	10,08	0	10,08
FVV 4x6	1	8,08	8,08	0
LSVAV 2x16	1	2,36	0	2,36
LSVAV 4x16	4	49,25	2,67	46,58
LXS 2x16	26	280,76	142,96	137,80
VAV 4x10	1	2,31	2,31	0
VV 2x2,5	23	210,55	48,11	162,44
VV 2x6	1	2,27	2,27	0
XS 2x10	11	158,28	24,80	133,48
XS 2x6	6	46,00	32,08	13,92
XS 4x10	1	12,16	0	12,16
Total	77	804,89	286,07	508,74

Relativamente aos apoios da rede, no levantamento realizado foi possível verificar a existência de apoios com altura de 8, 9 e 10 metros, assim como a existência de alguns apoios que não se enquadram a atual normalizados da EDP-Distribuição.

A tabela 27 mostra as características dos apoios da rede de baixa tensão do posto de transformação de Lamas.

Tabela 27 – Altura dos apoios da rede de baixa tensão do posto de transformação de Lamas

Altura (m)	N
10	7
9	54
8	43
Postalete	18
Total	122

Verifica-se assim que a maioria dos apoios são de 9 metros, que número de apoios com 8 metros também é muito significativo. Também se pode verificar que existem diversos postaletes na aldeia, sendo que todos eles são metálicos e contam com dois ou três suportes fixados a fachadas.

Pode-se também verificar que existem poucos apoios de dez metros. Este facto pode indicar que não existem zonas muito íngremes, pois, este tipo de apoios é usado fundamentalmente, em situações de desníveis significativos, com o propósito de garantir que a linha se encontra sempre a uma altura igual ou superior a 5 metros do solo, conforme imposição regulamentar.

Do levantamento realizado foi possível verificar que a aldeia não apresenta nenhum lanço de linha em que a altura mínima regulamentar de distância ao solo não seja observada.

Os postes de betão, para além da altura, são qualificados por outras características, nomeadamente as que definem o esforço mecânico que suportam.

O esforço mecânico de um poste de betão é apresentado na unidade a (daN), e corresponde ao esforço que o poste suporta a 0,25 metros do topo, que corresponde à última perfuração do mesmo[24].

As solicitações mecânicas são indicadas segundo duas direções perpendiculares, sendo sempre relativas à direção normal à face em questão e estando sujeitas a uma pressão dinâmica do vento de 750 Pa.

Denomina-se solicitação principal à força máxima exercida na direção de maior inercia, enquanto que no caso de a força ser exercida na face com menor inercia é considerada Solicitação secundária[24].

Os postes devem ser colocados de forma a favorecer a solicitação principal, sendo que o valor de força máxima nessa mesma direção é utilizado para dimensionar os postes e é indicado nos mesmos, de acordo com a DMA 67-205N [24].

Assim sendo um poste é designado segundo a sua altura e segundo o valor da Solicitação principal.

De destacar também que todos os postes da aldeia têm uma secção em I, como apresentado na figura 16.

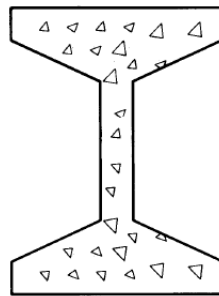


Figura 16 – Esquema da secção transversal do poste em I

[Fonte: DMA 67-205N]

Estes postes, como descrito acima, podem apresentar valores distintos da solicitação principal e de altura, valores estes que estão expressos numa das faces dos postes.

Após levantamento e tratamento de dados relativos aos apoios, obtiveram-se os seguintes tipos de apoios (tabela 28):

Tabela 28 – Tipos de apoios

designação	N	designação	N
10B-400	2	8B-400	4
10B-200	1	8B-200	15
10B-100	4	8B-100	24
9B-400	41	Postaleta	18
9B-200	13	Total	122

De acordo com a tabela 28 pode-se constatar que esta RDBT conta com 122 apoios com características díspares, e que nenhum dos apoios contem um esforço à cabeça superior a 400 daN.

Os apoios podem contar com solicitações principais até 1000 daN, no entanto não está prevista na regulamentação atual a aplicação de alguns dos apoios existentes. Dos apoios encontrados, os seguintes tipos não são normalizados[24]:

- 10B-100;
- 8B-400;
- 8B-200.

Os apoios correspondentes aos não normalizados perfazem 23 apoios. Os apoios de oito metros estão normalizados apenas para solicitações de 100daN, e os de dez metros são previstos apenas para solicitações superiores a esse valor. Os postes de nove metros são os mais comuns na aldeia em estudo, no entanto também são os mais correntemente utilizados e que contem uma maior panóplia de opções, pois são os únicos apoios de betão normalizados para qualquer solicitação (em intervalos de 100 daN e limitados a 1000daN)[24].

Como descrito anteriormente, o esforço à cabeça de um postaleta é difícil de determinar, no entanto os postaletes colocados suportam atualmente apenas condutores nus de cobre e estão utilizados em alinhamento ou em ângulos muito reduzidos, como verificado na figura 17.

Estes fatores implicam que o esforço lateral dos postaletes seja reduzido, estando estes apoios com esforços maioritariamente de suporte de linhas e alguns casos luminárias.



Figura 17 – Postaleta (Lamas)

Outro fator relevante notado é que os apoios de oito metros com menores solicitações foram utilizados no suporte de ramais, junto aos PL. Do mesmo modo que esses apoios, os apoios restantes cuja solicitação é menor, correspondem apoios de alinhamento ou com reduzidas interdistâncias.

As canalizações principais encontram-se suportadas nos apoios descritos e estão subdivididas pela sua origem do QGBT, em circuito 1 e circuito 2.

O facto de existirem dois circuitos possibilita a divisão de cargas entre eles e desse modo reduzir as perdas nas canalizações e ao mesmo tempo diminuir as quedas de tensão parciais e totais. Esse aspeto é particularmente importante uma vez que a RDBT tem de cumprir os limites de queda de tensão admissível, de acordo com o previsto no RQS.

De acordo com o recolhido no terreno os dois circuitos partem do PT e seguem ambos apoiados em três apoios consecutivos, partindo daí um deles para este e o outro mantém-se na zona mais a oeste da aldeia.

Assim sendo, apesar de o PT não estar no centro de carga, está posicionado relativamente próximo do centro dos dois circuitos, o que implica que o comprimento deles não seja muito díspar – figura 18.

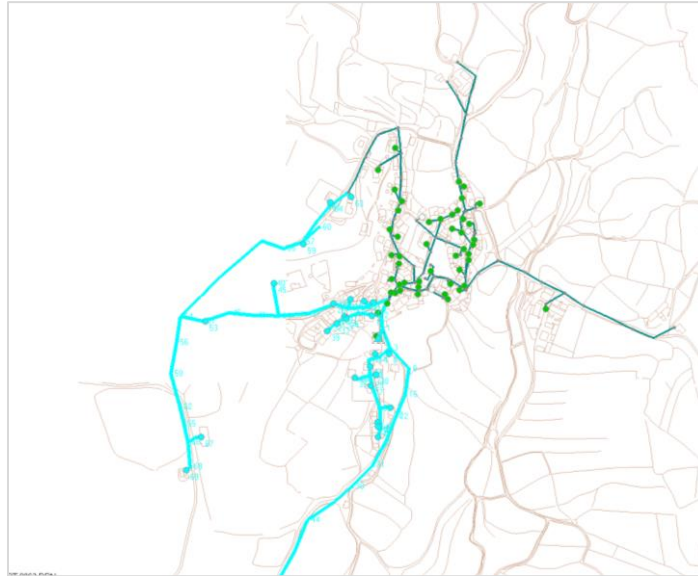


Figura 18 – Circuito 1 (esquerda) e Circuito 2 (direita) da RDBT em Lamas

Como é observável na figura 18 a rede estudada tem uma grande extensão, apesar de ter um aglomerado de PLs na zona mais central da aldeia.

A rede apresentada conta assim com uma extensão de canalizações relativamente elevada que corresponde a mais de 4,5 quilómetros, correspondentes ao somatório das canalizações principais, ramais e instalações exclusivas de IP de ambos os circuitos.

As diferentes canalizações que compõe o sistema podem ser agrupadas de acordo o seu tipo, sendo assim obtidos 18 tipos distintos de cabos.

Os cabos existentes bem como comprimentos que cada um desses tipos apresenta estão expressos tabela 29.

Tabela 29 – Comprimento associado a cada tipo de cabo

Designação do Cabo	N	Comprimento total do sistema (m)	Circuito 1 (m)	Circuito 2 (m)	Exclusivo IP (m)
Cu 2x16	1	22,79	22,79	0	0
Cu 2x6	2	29,13	0	29,13	0
Cu 3x6	5	176,58	40,94	135,64	0
Cu 5x10	9	509,17	112,23	396,94	0
Cu 5x16	3	73,86	38,68	35,18	0
FVV 4x6	1	8,08	8,08	0	0
LSVAV 2x16	1	2,36	0	2,36	0
LSVAV 4x16	6	49,25	2,67	46,58	0
LXS 2x16	29	603,53	212,01	137,80	253,72
LXS 4x16	3	79,07	52,35	26,72	0
LXS 4x25 + 16	4	523,19	456,30	66,89	0
LXS 4x50 + 16	10	1321,44	925,21	396,23	0
LXS 4x70 + 16	4	597,89	0	597,89	0
LXS 5x16	2	67,99	67,99	0	0
VAV 4x10	1	2,31	2,31	0	0
VV 2x2,5	25	251,98	36,39	162,44	53,14
VV 2x6	1	2,27	2,27	0	0
XS 2x10	12	158,28	24,80	133,48	0
XS 2x6	6	46,00	32,08	13,92	0
XS 4x10	1	12,16	0	12,16	0
Total	126	4537,33	2037,1	2193,36	306,86

Na tabela 29, os valores contidos na segunda coluna representam o número de troços que conta com um determinado tipo de cabo, e a última refere os comprimentos dos cabos dispostos unicamente com a função de IP. Da análise da tabela anterior é constatável que os dois circuitos apresentam uma extensão de rede semelhante, havendo apenas uma diferença de representação total da rede de 3,44%. De destacar também que as instalações apenas de IP representam 6,76% da RDBT em estudo.

Outro dado importante tem a ver com o comprimento dos cabos existentes, que demonstra que o tipo de cabo mais representado é o LXS 4x50 + 16, que é um cabo normalizado para canalizações principais, mais frequentemente utilizado no circuito 1. O cabo de maior secção conta com 70mm², (LXS 4x70 + 16), é um cabo de torçada que compreende uma extensão

considerável, no entanto não está aplicado nas proximidades do PT, tendo sido instalado em extensões de rede no circuito 2.

Quanto aos condutores nus de cobre, é constatável que se podem encontrar cinco tipos distintos. Dois desses tipos foram aplicados em ramais. Consultando os dados obtidos é possível constatar que 17 troços da canalização principal são constituídos por condutores nus em cobre, sendo a sua maioria pertencentes ao circuito 2.

De salientar também que 5 desses troços correspondem a canalizações monofásicas, pois os cabos que constituem o Cu 3x6 são destinados à IP, ao neutro e a uma fase. Isto é um dado importante pois os clientes que sejam alimentados por esta canalização atualmente podem apenas usufruir de um contrato monofásico (apesar de quase todos os PLs desta rede serem monofásicos).

Assim sendo, as canalizações em condutores nus representam cerca de 17,8% da rede de distribuição, constituindo uma distancia total de 811,5 metros. Como a rede não apresenta nenhuma caixa de proteção aérea, as uniões efetuadas entre condutores nus e cabos de torçada foram feitas recorrendo a conectores de aperto, com observado na figura 19.



Figura 19 – União entre condutores nus e cabos de torçada

A IP é também um constituinte da rede, que não está relacionado com o fornecimento de energia, mas que é preponderante para incrementar a circulação e segurança de pessoas e bens. Estes elementos são apenas alimentados numa parte do dia, de acordo com os comandos de IP instalados no QGBT.

Atualmente os comandos da IP mais comuns recorrem a relógios astronômicos, sendo que alguns deles permitem a reprogramação à distância.

A IP é constituída por elementos de condução de energia, já apresentados e descritos, e pelas luminárias. Uma vez que se trata de uma rede rural, totalmente aérea, os apoios existentes acumulam as funções de suporte de canalizações com o suporte de luminárias. Apenas existem na aldeia três colunas de IP, estando localizadas no recinto da capela, de forma a destacar a envolvente, e cuja alimentação parte de um apoio aéreo próximo do recinto. É neste local que estão localizados os troços subterrâneos exclusivamente IP.

No total foram contabilizados 89 pontos de luz cujos modelos estão descritos na tabela 30.

Tabela 30 – Modelos de luminárias existentes (Lamas)

Modelo da luminária	Tipo de lâmpada	Potência da lâmpada (W)	Total (N)
AX1	NA-AP TB E27 70W	70	86
RURAL	Hg E27 EL 80W	80	3
Total			89

Como é constatável não existe uma grande variedade de luminárias aplicadas, sendo o modelo “RURAL” aplicado exclusivamente nas colunas IP existentes, e as restantes luminárias aplicadas nos apoios. Esses apoios contemplam luminárias e estão instaladas nos postes de betão e nos postaletes – figura 20.



Figura 20 – Luminária em poste à esquerda e em postaleta à direita

Como as exigências de iluminação para esta zona são menores, devido a ter trânsito e velocidade de circulação reduzidas, os níveis mínimos de iluminância, luminância e uniformidade são mais baixos. Estas razões permitem que sejam utilizadas lâmpadas de vapor de sódio monocromáticas amarelas que apresentam um bom rendimento luminoso, apesar de terem uma baixa restituição cromática[28].

As lâmpadas utilizadas na generalidade das luminárias, que curiosamente também seguem o mesmo modelo de luminária, são lâmpadas tubulares de vapor de sódio de alta pressão de 70 W. Estas constituem equipamentos normalizados na EDP Distribuição, de acordo com o previsto na DMA-C72-240/N [34].

O outro tipo de lâmpadas levantadas, as lâmpadas de mercúrio, já não são fabricadas, o que implica que à medida que são substituídas vão desaparecendo pois as suas substitutas passam normalmente por lâmpadas de sódio, ou, atualmente em foco, por LEDs.

A substituição destas lâmpadas deve-se sobretudo a questões ambientais, no entanto este tipo de lâmpada não apresenta um rendimento elevado. Assim sendo, as lâmpadas com maior potência que foram encontradas irão provavelmente desaparecer em breve, em detrimento das lâmpadas sódio ou dos LEDs.

3.4.3. INSERÇÃO DA INFORMAÇÃO RECOLHIDA NAS PLATAFORMAS DA ENERGIAS DE PORTUGAL (EDP)

A este levantamento e registo “no papel” seguiu-se a inserção dos dados recolhidos na plataforma digital.

A inserção de dados de cadastragem de redes de distribuição em baixa tensão é feita numa plataforma comum a toda a EDP distribuição, o Sistema de Informação Técnica, na sua modalidade de projeto externo (SIT-PE).

Esta aplicação permite que se faça uma caracterização completa dos elementos da rede e se defina o seu posicionamento geográfico. Tal como o CADGis, esta é uma aplicação com base geográfica, pelo que após a inserção e validação de dados se podem consultar as infraestruturas nos respetivos locais.

As figuras 21 e 22 mostram a informação introduzida na plataforma SIT-PE relativa à aldeia de Lamas.

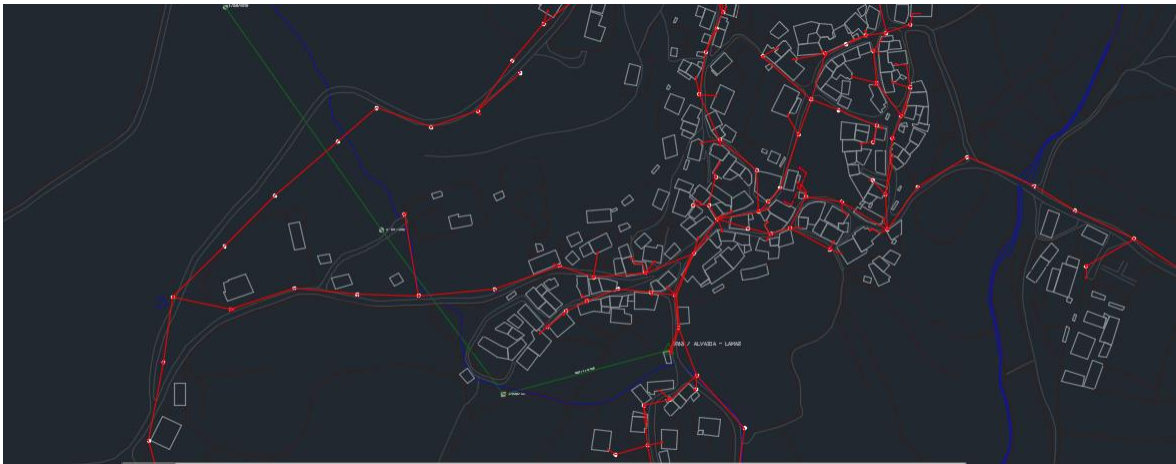


Figura 21 – Aldeia de Lamas na plataforma CADGis



Figura 22 – Aldeia de Lamas na plataforma SIT PE

Por questões de comodidade no desenho a cadastragem foi executada num *software* de desenho convencional (Autocad), executando depois a transferência da informação com o SIT PE.

Uma vez que a RDBT tem de ser caracterizada, os objetos que forem desenhados têm de ser descritos numa plataforma específica da empresa, que possibilita caracteriza-los

sucintamente, reconhecer a sua localização georreferenciada e ainda garantir que o SIT reconhece a informação. Essa aplicação desenvolvida sob uma plataforma CAD é o CADGis e é de utilização exclusiva da EDP.

Os primeiros elementos a serem colocados nos respectivos locais foram os apoios da rede de distribuição, tendo havido um cuidado redobrado na correta georreferenciação deles. Os apoios existentes são maioritariamente em betão, havendo algumas exceções de apoios metálicos em fachada, os postaletes.

Apesar de os postaletes estarem um pouco obsoletos e já não serem utilizados em novas infraestruturas, por uma questão de gestão de espaço e pelo reduzido peso dos condutores nus (e conseqüente solicitação mecânica reduzida), eram de utilização comum, tendo sido verificado que a aldeia em questão tem atualmente cerca de 18 postaletes.

A figura 23 representa os apoios existentes na aldeia, colocados nos locais reais, de acordo com o levantamento efetuado.



Figura 23 – Apoios da rede de distribuição da Aldeia de Lamas (CADGis)

Seguidamente foram inseridos na rede os pontos de entrega nos respetivos locais de consumo, e ainda os ramais, desde esses pontos até aos apoios de derivação que já estavam colocados. Todos os ramais foram caracterizados durante a inserção de forma a que todos os elementos que fossem inseridos estivessem completos.

A figura 24 representa os PLs com os seus respetivos ramais, e ainda os apoios dos quais derivam os ramais.



Figura 24 – Ramais e clientes da rede de distribuição da Aldeia de Lamas (CADGis)

Os últimos elementos de rede a ser inseridos foram as canalizações principais, partindo das extremidades dos circuitos e terminando no PT. Ao contrario dos elementos anteriores, as canalizações principais foram desenhadas para um circuito de cada vez, de forma a facilitar a disposição das linhas.

Após a conclusão do desenho destas infraestruturas e caracterização das mesmas é obtida uma planta completa da rede, em Autocad. Após a verificação da ausência de erros nesse ficheiro pode-se passar à exportação de dados, para a plataforma de informação da EDP distribuição, o SIT.

3.5. CONDIÇÕES TÉCNICAS DA REDE EXISTENTE

O cadastro de redes efetuado, de acordo com o descrito anteriormente, permitiu caracterizar a rede real da aldeia de Lamas, num formato adequado para testar as condições técnicas de exploração dessa mesma rede.

De forma a testar o desempenho da rede nas condições atuais de exploração foi utilizado o *software* DPLAN, que possibilita determinar os parâmetros técnicos mais importantes de uma rede de distribuição.

A nível regulamentar deve-se ter em atenção sobretudo às quedas de tensão e a nível económico às perdas técnicas na rede.

Uma vez que o PT que alimenta a rede em estudo tem dois circuitos de saída, foi efetuado e será apresentado o estudo realizado para cada um deles.

3.5.1. ANÁLISE TÉCNICA DO CIRCUITO 1

O circuito 1 parte do QGBT e estende-se ao longo da parte Este da aldeia, incluindo na sua extensão um número reduzido de PLs, mas relativamente afastados entre si.

Esta rede alimenta clientes com potência contratadas compreendidas entre 1,15 e 17,25 kVA, num total de 26 pontos de entrega, distribuídos ao longo dos 2037 metros de rede.

Este circuito além de ser o que apresenta menor extensão, também é o que apresenta menos PLs e menor potência total contratada.

Os dados recolhidos permitiram criar um relatório de desempenho, do qual se podem retirar valores importantes como o total da potência contratada, o valor de ponta da potência na saída e as quedas de tensão máximas do circuito.

A tabela 31 indica as principais características desta rede.

Tabela 31 – Características globais do circuito 1

Ponta na saída (kW)	Potência de microgeração (kW)	Queda de tensão máxima (%)	Potência de Perdas (kW)	Energia Anual de Perdas (MWh)
24,20	-	7,45	1,6	4,56

Da tabela 31 pode-se concluir que apesar de a potência contratada neste circuito atingir a potência nominal do transformador do PT, os fatores de utilização e coeficientes de utilização levam a que a potência de ponta efetiva neste circuito esteja abaixo de um quarto da potência contratada total. Esse fator leva a que a potência do transformador seja suficiente para a demanda energética deste circuito.

É verificável que nesta aldeia não existe qualquer tipo de instalação de microprodução, e como se trata de uma rede radial conta com um acréscimo das quedas de tensão ao longo da rede, o valor da queda de tensão máxima (7,45%) é elevado, mas ainda cumpre os requisitos regulamentares constantes do RQS. Apesar de este circuito alimentar poucos clientes, tem

uma extensão considerável, pelo que os clientes mais próximos das extremidades desta saída têm valores mais elevados de queda de tensão.

A figura 25 mostra a *interface* do DPLAN, com a coloração dos PLs de acordo com a avaliação de quedas de tensão.

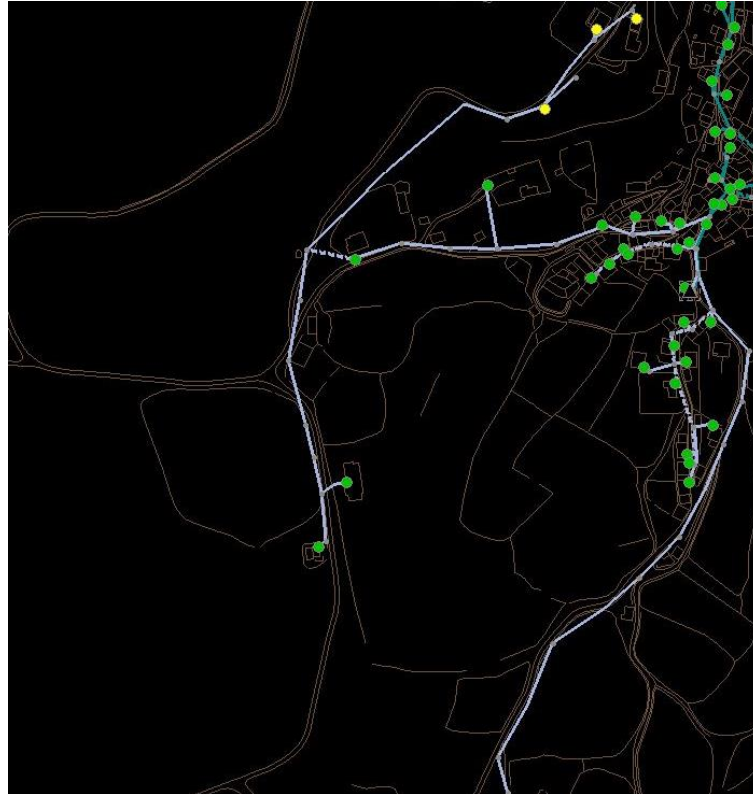


Figura 25 – Avaliação das quedas de tensão nos PLs no circuito 1

A figura 25 permite identificar três PLs cuja queda de tensão está próxima do limite regulamentar, correspondente aos pontos amarelos. Estes elementos estão localizados numa extremidade da rede, e de acordo com o anexo 2, os troços anteriores a esses PLs após a subdivisão da rede apresentam quedas de tensão superiores a 7%. Estes troços, cuja queda de tensão ultrapassa os 7%, constituem uma extensão de 408 metros.

O facto de os clientes com maior potência contratada estarem afastados do PT, e maioritariamente ligados ao circuito 1, leva a uma dificuldade acrescida na obtenção de baixas quedas de tensão. Aliás, foi verificado que o cliente com maior potência instalada e contratada está ligado a um dos PLs a amarelo, ou seja, com maiores valores de queda de tensão.

Outro fator em análise e que constitui um elemento importante na gestão econômica e eficiente das redes é a energia de perdas. Como anteriormente descrito as perdas técnicas constituem desperdício de potência aliado à transmissão de energia, pois essa mesma energia não é contabilizada nos pontos de entrega – constitui energia não taxada. A potência de perdas associada a esta saída é de 1,6 kW, que representa uma potência superior aos contratos de energia mais reduzidos da aldeia. Dito de outra forma, a energia consumida nas perdas técnicas constitui uma perda econômica superior a alimentar mais um cliente em potência reduzida, de forma gratuita. De acordo com os dados do DPLAN, a energia anual de perdas constitui 4,56 MWh, para este circuito de saída.

3.5.2. ANÁLISE TÉCNICA DO CIRCUITO 2

O circuito 2, tal como o anterior, parte do QGBT, no entanto alimenta uma zona mais distanciada do mesmo e partilha três apoios com o circuito 1. Este circuito alimenta a zona mais central da aldeia e estende-se mais para Noroeste. Esta saída apresenta uma extensão superior, e como alimenta a zona mais central da aldeia, tem uma densidade de carga maior e mais clientes associados.

As canalizações existentes neste circuito perfazem 2193 metros, no entanto as canalizações mais afastadas do centro de carga, apesar de terem a função de BT e IP, são atualmente utilizadas para a IP, não estando nenhum PL ligado aos circuitos BT. A instalação destas infraestruturas é adequada para possíveis instalações de utilização que surjam nesses locais, mas como atualmente não alimentam nenhum PL, essas canalizações não são testadas em DPLAN, pois este *software* testa os parâmetros da RDBT em relação ao fornecimento de energia aos pontos de entrega.

Este circuito apresenta uma quantidade considerável de PLs, mais concentrados que os do circuito 1. No total esta saída alimenta 45 PLs, que juntos representam uma potência contratada de 142,60 kVA. Apesar de ter um número elevado de clientes, a potência total não é muito elevada, pois os clientes a alimentar apresentam potências contratadas reduzidas, estando todos compreendidos entre 1,15 e 6,9 kVA, com contratos monofásicos.

Mais uma vez a potência total do circuito é superior à potência nominal do transformador, no entanto, a agregação de fatores de correção e simultaneidade estabelece, segundo o DPLAN, uma potência de ponta inferior à do circuito 1. Assim sendo, apesar de este circuito

ser mais extenso, ter mais clientes e ter uma potência contratada superior, apresenta uma potência de ponta fornecida pelo PT ligeiramente inferior ao circuito 1.

A tabela 32 indica as principais características desta rede.

Tabela 32 – Características globais do circuito 2

Ponta na saída (kW)	Potência de microgeração (kW)	Queda de tensão máxima (%)	Potência de Perdas (kW)	Energia Anual de Perdas (MWh)
22,60	-	4,31	0,74	2,10

Esta tabela permite constatar que a potência fornecida, a queda de tensão e a potência de perdas não depende exclusivamente do número de pontos de entrega.

Este circuito também não tem qualquer instalação de produção distribuída ligada, pelo que a tensão vai sempre decrescendo com o afastamento do PT, no entanto as linhas que compõem este circuito são suficientemente robustas para apresentar valores reduzidos de quedas de tensão. Como se pode observar na figura 26, os PLs estão todos a verde pelo que a tensão em todos os pontos deste circuito de distribuição cumpre as restrições regulamentares, sem estar na eminência de incumprimento.

A figura 26 mostra a interface do DPLAN, com a coloração dos PLs de acordo com a avaliação de quedas de tensão.

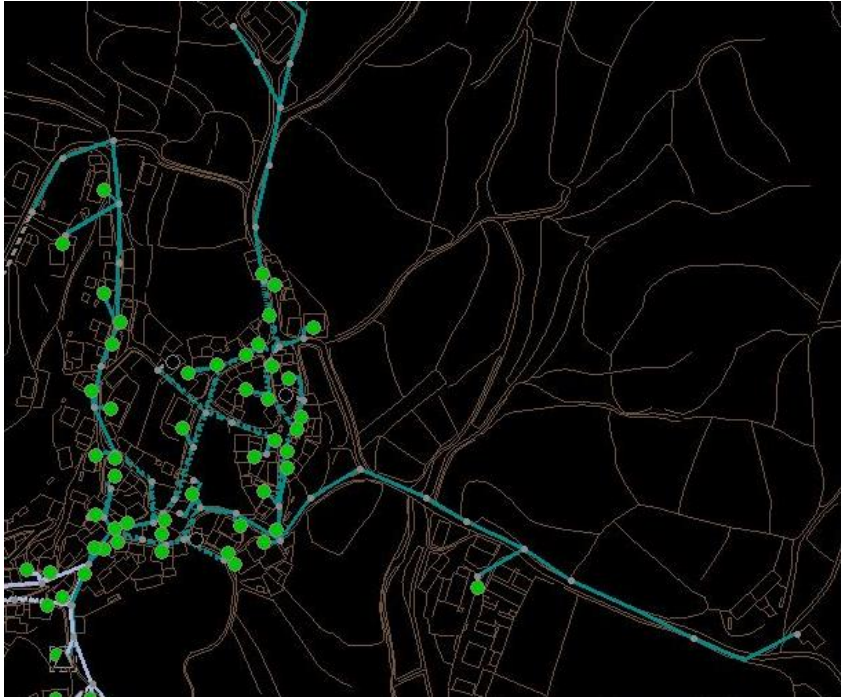


Figura 26 – Avaliação das quedas de tensão nos PLs no circuito 2

Este circuito representa uma maior qualidade que o anterior, pois apresenta uma queda de tensão mais reduzida, não ultrapassando os 4,31%. Os clientes alimentados por esta saída podem esperar uma tensão mais próxima da nominal.

De acordo com a tabela 32, quanto ao desempenho deste circuito relativamente a perdas, pode-se concluir que são relativamente baixas, apresentando uma potência de perdas de 0,74 kW.

Em relação ao circuito 1, é notório que as perdas anuais de energia na transferência entre o PT e os pontos de entrega é menor, pelo que esta 2ª saída apresenta um maior rendimento e uma menor quantidade de energia dissipada na RDBT.

3.6. PROPOSTA DE ALTERAÇÃO

As alterações propostas vão de encontro o tema desta dissertação, pelo que serão propostas as substituições de todas as canalizações de condutores nus por cabos de torçada. As soluções adotadas pretendem cumprir os requisitos legais e normativos, sem prejuízo do nível de desempenho da rede.

As alterações preveem também que sejam corrigidas algumas anomalias, como canalizações principais monofásicas, bem como implementar algumas proteções ao longo da rede.

3.6.1. CIRCUITO 1

Iniciando as tarefas de remodelação e alteração da rede pelo circuito 1, foram alterados os troços constituídos por condutores nus de cobre, e alterada uma canalização na parte superior da aldeia, na qual foi alterado o traçado original e removidos alguns troços existentes.

Relativamente aos condutores de cobre, foram substituídos cerca de 10 troços, e uma vez que as canalizações a montante são do tipo LXS 4x50+16, as novas instalações destinadas a canalizações principais também têm as mesmas dimensões. Os troços deste circuito alvo de alteração são quase exclusivamente canalizações principais, pois os ramais garantem a segurança de operação e apresentam pequenas quedas de tensão e perdas técnicas, de acordo com o anexo 3, excetuando um ramal em cobre.

Os troços alterados estão expostos na figura 27.



Figura 27 – Troços em cobre alterados no circuito 1

Como se pode observar na figura anterior os troços alvo de intervenção (a verde) constituem dois locais distintos nos quais se passará a contar com cabos de torçada, em detrimento dos atuais condutores nus. Está previsto que estes troços sejam substituídos diretamente, ou seja, será mantido o traçado de rede e mantidos os respetivos apoios, que apenas contam com dois postaletes. Para testar se os apoios são adequados às solicitações dos cabos, foram

calculados, de acordo com o disposto no capítulo 2 e no guia técnico de redes aéreas de baixa tensão [23] em condutores isolados, os esforços decorrentes das novas canalizações.

Na tabela 33 encontram-se os valores determinados de solicitações, para cada um dos apoios existentes.

Tabela 33 – Solicitação máxima para cada apoios

Solicitação máxima (N)	Tipo de apoio	Apoio existente
1540,77	Ângulo	9B-200
71,49	Alinhamento	Postaleta
93,72	Alinhamento	Postaleta
2906,37	Ângulo	9B-400
95,80	Alinhamento	9B-200
4999,53	derivação	9B-400
5013,95	Ângulo	9B-400
2027,81	derivação	10B-400
1084,20	Ângulo	9B-200
1848,74	Ângulo	9B-400

Os postaletes existentes representam apoios de alinhamento e estão colocados em zonas estreitas, pelo que é mais adequado manter esses mesmos apoios, para não causar transtorno na circulação de pessoas e veículos. Um desses postaletes é neste momento um apoio de transição entre condutores nus (terminam nos isoladores do apoio) e um cabo de torçada (fixado numa agarra apropriada), contando com conectores de aperto para a ligação entre estes cabos.

Os restantes apoios têm solicitações mecânicas elevadas, e não estão colocados de forma a terem um esforço lateral muito elevado, pelo que a substituição das canalizações não implica a substituição desses apoios. Um dos apoios, apesar de ter uma elevada solicitação lateral e estar colocado em reforço (esforço à cabeça de 400 daN) não suporta as solicitações determinadas só por si, de forma a garantir que esse apoio não cede, ele será espiado a 35°, garantindo um esforço superior aos 5013,95 N determinados.

Outro apoio existente que tem a mesma solicitação principal está numa zona menos propícia ao espiamento, pelo que será substituído por outro apoio, 9B-600, que já garante o suporte dos três troços que constituem uma força máxima de 4999,53 N.

As novas canalizações a implementar neste circuito, por substituição direta de condutores estão descritas na tabela 34.

Tabela 34 – Troços alterados no circuito 1

Nova canalização	Comprimento dos troços (m)	Queda de tensão (%)	Potência de Perdas (W)
LXS 4x50 + 16	23,40	0,39	5,50
LXS 4x50 + 16	21,70	0,45	0,48
LXS 4x50 + 16	17,70	0,44	3,47
LXS 4x50 + 16	21,80	0,47	0,49
LXS 4x50 + 16	25,5	0,52	4,77
LXS 4x50 + 16	15,4	0,48	0,03
LXS 4x50 + 16	16,1	0,56	1,89
LXS 4x50 + 16	16,2	0,48	0,03
LXS 4x50 + 16	39,40	0,64	3,43
TOTAL	197,20	-	20,09
LXS 2x16	23,60	5,3	1,17

Como dito anteriormente, outra alteração neste circuito consiste em retirar uma canalização existente, e implementar um novo traçado. Essa alteração ocorre numa ramificação existente a norte da aldeia, da qual parte a alimentação dos clientes mais a norte desse mesmo circuito. Atualmente esses clientes, (nomeadamente cliente com maior potência contratada nesta RDBT), são alimentados por uma canalização extensa que parte de uma zona distante do PT, que apresenta uma secção de 25 mm².

A alteração consiste em retirar essa mesma canalização de 25 mm² e colocar uma nova canalização mais próxima do PT, com uma dimensão superior. Essa alteração permite encurtar a distancia total da rede e alimentar os clientes, que atualmente estão em eminência de ultrapassar as restrições legais, de forma mais eficiente. Além disso alimenta uma zona propícia ao surgimento de novas habitações, e conseqüentemente novos PLs.

Estas alteração são visíveis na figura 28.

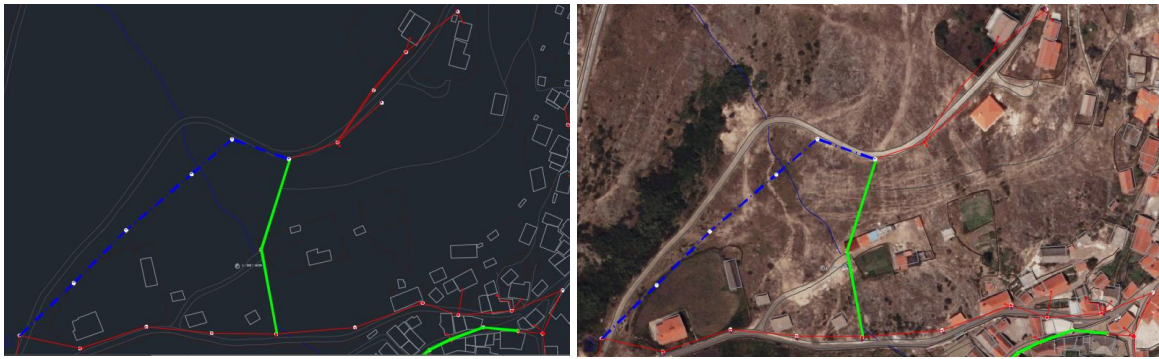


Figura 28 – Alteração do traçado no circuito 1 (Azul – a retirar; Verde – a instalar)

De acordo com a figura anterior será retirada a canalização a azul atualmente em exploração, bem como todos os apoios intermédios, pois não suportam qualquer ponto de IP, e sendo retirada a linha atual ficam abandonados. A linha a retirar constitui um troço sem qualquer derivação e tem o comprimento de 212,8 metros.

Para substituir esse mesmo troço será implementado um novo troço (a verde) de acordo com a figura 28, sendo este de 50 mm². Este facto leva a que seja retirado um troço que parte do apoio onde se inicia a ramificação e termina no apoio intermédio da nova linha (atualmente parte desse apoio um ramal para um cliente próximo desse mesmo apoio).

Relativamente aos três apoios do circuito 1, não se implementou nenhum em locais distintos dos atuais, mas foi necessário substituir dois dos já existentes. Para determinar qual a solicitação que os três apoios necessitam de suportar, foi determinado de acordo com a guia técnico de redes aéreas de baixa tensão em condutores isolados a força máxima a suportar por cada um deles.

A tabela 35 apresenta os valores determinados das solicitações de cada apoio [23].

Tabela 35 – Solicitação por apoio

Solicitação máxima (N)	Tipo de apoio	Apoio existente
5634,10	Ângulo	9B-400
3175,97	Ângulo	9B-400
6826,30	derivação	9B-400

O apoio que se destinava a ramificar a rede já estava sujeito a uma força lateral considerável, e possui uma solicitação de 400 daN, no entanto, de acordo com a tabela 35, ele terá de suportar um esforço de 6826,30 N.

Uma vez que o apoio atual não tem capacidade de suportar os troços, terá de ser substituído por um apoio mais robusto, mas manterá a altura. Assim sendo será colocado na mesma posição um apoio 9B-800, que já garantirá o esforço necessário ao suporte destes três troços, apesar deles estarem dispostos unilateralmente.

Relativamente ao apoio colocado a meio da nova canalização, conta atualmente com um cabo de torçada que termina nele, o que significa que atualmente desempenha o papel de apoio de fim de linha. Como passará a suportar um cabo que terá continuidade para o apoio mais a Norte, estará sujeito a um esforço mecânico menor, pois passará a desempenhar o papel de apoio de ângulo, sendo este de pequena amplitude (28° em relação ao alinhamento).

Por último, o apoio mais a Norte manterá a sua função de apoio de ângulo, apesar de alterar a direção do maior esforço mecânico. O ângulo formado neste apoio aumentará ligeiramente, passando a ter um desvio de 54° em relação ao alinhamento, e passará a estar sujeito ao esforço dos cabos no sentido de Sudeste. O ângulo é relativamente elevado, e como os troços que este apoio suporta são extensos, este apoio ficará sujeito a uma solicitação mais elevada que os atuais 400 daN.

No sentido de corrigir o esforço desse apoio, será implementado um apoio 9B-600 no mesmo local, em substituição do apoio atual. De destacar que a altura dos apoios existentes é suficiente para garantir a altura mínima de 6 metros em relação ao solo [3].

As características mais importantes dos novos troços, bem como as distâncias de canalização envolvidas nesta alteração estão apresentadas na tabela 36.

Tabela 36 – Alterações do traçado do circuito 1

Nova canalização	Canalização a retirar	Comprimento dos troços (m)	Queda de tensão (%)	Potência de Perdas (W)
LXS 4x50 + 16	LXS 4x16	53,60	2,80	51,65
-	LXS 4x25 + 16	212,80	-	-
LXS 4x50 + 16	-	57,70	3,17	47,08
TOTAL COLOCADO		111,30	-	98,73

De acordo com as disposições legais, os vãos das redes aéreas não devem ultrapassar os 90 metros, fora das povoações ou aglomerados populacionais, pelo que o novo vão criado na remodelação acima descrita não compromete os requisitos legais. Este vão não ultrapassa os 60 metros e como se encontra sob uma zona de baldio deve ter uma altura mínima de 5 metros [3]. Este parâmetro é respeitado pois este troço está suportado por dois apoios de 9 metros, estando um deles implementado na lateral de uma estrada num patamar mais elevado.

3.6.2. CIRCUITO 2

Em relação ao circuito 2, as remodelações propostas visam apenas a substituição de linhas atualmente em cobre nu, por condutores de torçada. A grande parte de desses troços integram a parte central da aldeia, estando assim sobre algumas das zonas mais movimentadas. Este circuito tem ainda uma parte considerável da rede em condutores nus, pelo que a remodelação contempla cerca de 26 troços, relativamente próximos entre si.

Uma vez que parte das canalizações a jusante são do tipo LXS 4x70+16, as novas instalações nas canalizações principais também têm as mesmas dimensões, de forma a não haver aumento de secção nas linhas mais afastadas do PT.

Nesta saída ainda existem 4 canalizações, que alimentam um único ramal cada uma, (duas delas também alimentam uma luminária), com condutores nus. Nesse caso será adotada a mínima secção normalizada, pois é suficiente para alimentar os clientes (cuja potência é reduzida) e nesses locais não existe grande probabilidade de expansão de rede pois já estão diversos PLs concentrados nas proximidades dessas instalações.

Por último esta remodelação vai contemplar o único ramal desta instalação que ainda é em cobre nu. Como se trata de uma instalação monofásica, este ramal será substituído pelo LXS 2x16.

Geograficamente as intervenções anteriormente descritas são visíveis (a verde) na figura 29.

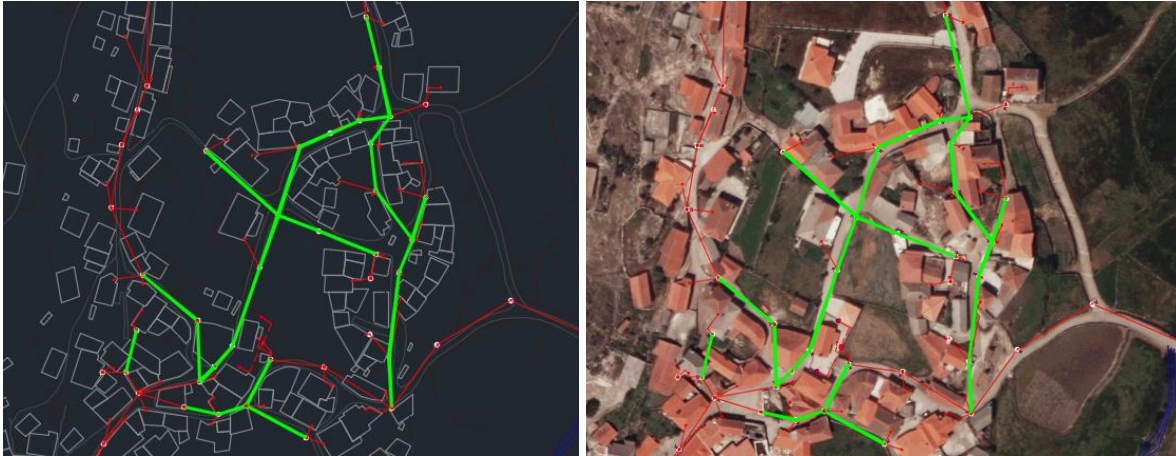


Figura 29 – Alterações no circuito 2

Como é verificável na figura 29, este circuito tem uma remodelação de grande parte das linhas, que apesar de apresentarem parâmetros de quedas de tensão aceitáveis, comprometem a segurança de pessoas e bens pela proximidade de condutores ativos. Além disso uma parte desses condutores, apesar de pertencerem a canalizações principais, são monofásicos, pelo que as remodelações também pretendem distribuir mais equitativamente as cargas pelas fases.

Os troços que serão alvo de intervenção, e as suas principais características estão expressos na tabela 37.

Tabela 37 – Troços alterados no circuito 2

Nova canalização	Comprimento dos troços (m)	Queda de tensão (%)	Potência de Perdas (W)
LXS 4x70 + 16	22,90	1,13	3,63
LXS 4x70 + 16	27,30	1,37	5,36
LXS 4x70 + 16	9,80	1,34	4,64
LXS 4x70 + 16	15,90	1,17	2,52
LXS 4x70 + 16	31,80	1,46	6,24
LXS 4x70 + 16	12,90	1,39	6,10
LXS 4x70 + 16	14,90	1,20	1,87
LXS 4x70 + 16	37,50	1,55	17,74
LXS 4x70 + 16	31,00	1,23	0,40
LXS 4x70 + 16	24,10	1,25	2,29
LXS 4x70 + 16	25,00	1,65	10,79
LXS 4x70 + 16	31,10	1,77	12,19
LXS 4x70 + 16	20,10	1,66	0,21
LXS 4x70 + 16	28,80	1,87	9,09
LXS 4x70 + 16	27,90	1,68	0,30
LXS 4x70 + 16	14,80	1,92	4,69
LXS 4x70 + 16	23,50	1,94	0,99
LXS 4x70 + 16	14,70	1,96	2,92
LXS 4x70 + 16	26,90	2,15	3,65
LXS 4x70 + 16	16,20	2,18	1,07
LXS 4x70 + 16	38,30	2,20	0,51
TOTAL	495,30	-	97,20
LXS 4x25 + 16	19,60	1,13	0,56
LXS 4x25 + 16	41,90	1,65	0,94
LXS 4x25 + 16	21,30	2,09	9,77
LXS 4x25 + 16	19,30	2,18	0,56
TOTAL	102,10	-	11,83
LXS 2x16	11,20	1,11	0,06

De acordo com a tabela 37, serão necessários aproximadamente 500 metros de cabo de torçada LXS 4x70 + 16, 105 cabos LXS 4x25 + 16 e ainda 12 metros de LXS 2x16.

Os apoios a considerar neste caso, tal como no circuito anterior, apresentam vãos geralmente curtos, no entanto, é necessário determinar o esforço de cada apoio para inferir se é necessário substituir os apoios ou não.

Os esforços determinados para cada apoio estão indicados na tabela 38.

Tabela 38 – Solicitação por apoio

Solicitação máxima (N)	Tipo de apoio	Apoio Atual
3466,88	Ângulo	9B-400
2084,38	derivação	9B-400
2863,46	derivação	9B-400
2874,80	derivação	9B-400
7061,10	Ângulo	10B-400 (espiado)
1417,78	derivação	9B-200
5122,37	Ângulo	9B-400
3512,85	derivação	9B-400
64,77	Alinhamento	10B-100
1192,09	Ângulo	Postaleta
184,12	Alinhamento	9B-200
1920,00	Fim de linha	8B-200
1920,00	Fim de linha	8B-200
3933,37	Ângulo	9B-400
87,55	Alinhamento	Postaleta
1842,20	Ângulo	Postaleta
135,96	Alinhamento	9B-200
702,59	Ângulo	Postaleta
2686,34	derivação	10B-200 (espiado)
5038,81	derivação	9B-400 (espiado)
1826,20	Ângulo	9B-400
2553,02	derivação	9B-400

De acordo com a tabela 38, a maioria dos apoios existentes cumpre razoavelmente os esforços necessários para suportar de forma segura as novas canalizações. Uma vez que na tabela estão explícitos os valores de solicitação mais desfavoráveis, os apoios que apresentarem um esforço à cabeça superior à solicitação determinada estão em condições de receber as novas linhas.

Na tabela 38 encontram-se três apoios cuja solicitação máxima ultrapassa os seus esforços à cabeça.

Um desses apoios está atualmente, (mantendo-se após as alterações), a suportar dois troços, com 23,1 e 22,2 metros num ângulo elevado, de 71°. Esse ângulo elevado leva a que esse apoio (10B-400) já contém uma espia.

Uma vez que um apoio espiado apenas suporta o esforço vertical, pode ser instalada a nova canalização sem alteração do apoio. Verifica-se uma situação semelhante em dois dos outros apoios que também apresentam esforços à cabeça inferiores à solicitação da canalização. Esses apoios estão na tabela 38 com indicação de que são apoios espiados, mas neste caso são apoios de derivação dos quais partem ramais na direção do maior esforço.

Resta um dos apoios com esforço à cabeça inferior à solicitação máxima dos novos troços, sendo este um apoio de ângulo. Ele sustenta dois troços, com 30,4 e 26,19 metros, num ângulo de 59°. O esforço requerido pelas novas canalizações supera o esforço à cabeça do apoio, pelo que não pode suportar a nova canalização. Como não está colocado numa zona pouco movimentada não é propício ao espiamento, pelo que deverá ser substituído por um apoio 9B-600. O esforço requerido de 5122,37 N é assegurado pela implementação do novo apoio.

3.7. CONDIÇÕES TÉCNICAS APÓS ALTERAÇÕES

Após a alteração da rede de acordo com o disposto acima, esta foi de novo testada em DPLAN, de forma a quantificar o impacto que estas alterações têm na RDBT.

Os novos valores pretendem fornecer dados importantes para inferir a pertinência das alterações, principalmente no que toca a fatores técnicos. Importa então recolher e catalogar os parâmetros da rede obtidos para verificar a conformidade regulamentar das alterações e quantificar o desempenho da mesma.

3.7.1. CIRCUITO 1

De acordo com as alterações propostas, o circuito 1 ficou com extensão menor, totalizando agora 1925,90 metros. Uma das linhas atuais será abandonada, bem como os apoios que a suportam.

Três dos apoios que atualmente suportam outros tantos troços serão substituídos, no entanto os parâmetros de desempenho da RDBT não têm que ver com o tipo de apoio que suporta as linhas.

As alterações nas linhas e no traçado foram implementadas em DPLAN, tendo sido registados os principais indicadores obtidos no relatório de análise do programa.

As características principais são descritas na tabela 39.

Tabela 39 – Características globais do circuito 1 após alterações

Ponta na saída (kW)	Potência de microgeração (kW)	Queda de tensão máxima (%)	Potência de Perdas (kW)	Energia Anual de Perdas (MWh)
23,50	-	5,70	0,98	2,8

Da tabela 39 pode-se constatar que a potência de ponta é inferior, pois o circuito apresenta uma menor potência de perdas (0,98 kW), pelo que é dissipada menos energia nos condutores. Aliada a essa potência está a energia anual de perdas, que também sofreu um decréscimo considerável.

Como se trata de uma rede radial, conta com um acréscimo das quedas de tensão ao longo da rede. O valor máximo da queda de tensão é de 5,7%, pelo que cumpre os requisitos regulamentares constantes do RQS.

Apesar de este circuito alimentar poucos clientes, estes estão bastante dispersos, e alguns dos PLs mais próximos das extremidades desta saída têm potências contratadas mais elevadas. Não obstante, é verificável na figura 30 que nenhum dos PLs em análise está na iminência de incumprimento no que toca a quedas de tensão.



Figura 30 – Avaliação das quedas de tensão nos PLs do circuito 1 em Dplan

A figura anterior permite constatar que todos os PLs deste circuito passam a estar abaixo dos 7% de queda de tensão, pois não existe qualquer PL sinalizado a amarelo ou vermelho.

De acordo com o anexo 3, dos troços constantes deste circuito, apenas se contabilizam quatro que ultrapassam os 5% de queda de tensão.

Os PLs que estavam na eminência de incumprimento estão agora abaixo dos 4%, pelo que as alterações favorecem esses clientes e possibilitam ligação de novos clientes na zona geográfica adjacente, sem comprometer as condições técnicas e regulamentares da RDBT.

3.7.2. CIRCUITO 2

Ao contrario do circuito anterior, o circuito 2 ficou exatamente com a mesma dimensão, apresentando os mesmos 2193,35 metros iniciais.

Uma parte considerável deste circuito é atualmente constituída por condutores nus (anexo 4), pelo que foi proposta uma alteração mais aprofundada neste circuito. Apesar disso, o traçado original será mantido, pelo que apenas será efetuada a substituição direta de alguns dos troços atuais (21 troços).

A alteração de apoios ou o seu espiaamento não influencia nenhum parâmetro elétrico, pelo que o estudo efetuado a este circuito teve apenas em conta as características das canalizações após a alteração proposta.

As alterações nas linhas foram implementadas em DPLAN, tendo sido registados os principais indicadores obtidos no relatório de análise do programa.

Na tabela 40 estão sumariados os principais parâmetros de desempenho retirados do relatório de análise do DPAN.

Tabela 40 – Características globais do circuito 2 após alterações

Ponta na saída (kW)	Potência de microgeração (kW)	Queda de tensão máxima (%)	Potência de Perdas (kW)	Energia Anual de Perdas (MWh)
22,40	-	2,38	0,46	1,32

Da tabela acima pode-se constatar que a potência de ponta é ligeiramente inferior, pois o circuito apresenta uma menor potência de perdas (0,46), o que se reflete na redução da energia anual de perdas.

Tratando-se de uma rede radial, ocorre um acréscimo das quedas de tensão ao longo da rede, no entanto este circuito apresenta um valor máximo de quedas de tensão reduzido (2,38%). Isto ocorre porque a maioria das canalizações utilizadas tem uma secção elevada (70mm²) e os PLs estão mais agregados. O valor máximo da queda de tensão está longe de atingir o valor máximo exigido regulamente no RQS.

Como seria espectável, na análise visual do DPLAN não se verifica incumprimento, nem eminência dele em nenhum dos PLs alimentados por este circuito.

A figura 31 mostra a interface do DPLAN na análise das quedas de tensão do circuito 2.

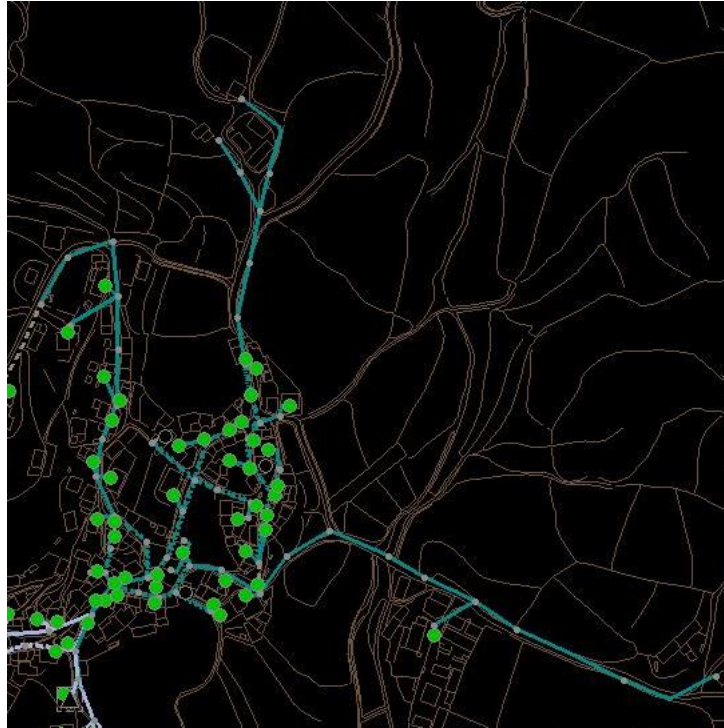


Figura 31 – Avaliação das quedas de tensão nos PLs do circuito 2 em Dplan

A figura anterior permite constatar que todos os PLs deste circuito apresentam na sua chegada uma tensão superior a 7% da tensão nominal, pois não existe qualquer PL sinalizado a amarelo ou vermelho.

De acordo com o anexo 5, as quedas de tensão neste circuito são muito reduzidas, pois excetuando dois troços, são verificadas quedas de tensão inferiores a 2%.

Estes resultados permitem concluir que este circuito pode sofrer mais expansões de rede sem necessitar de outras remodelações e que os contratos de energia dos pontos de entrega atuais podem aumentar a sua potência sem comprometer os limites legais da RDBT. Apesar de esta rede apresentar clientes concentrados geograficamente, pode contar com o aparecimento de novos PLs na zona mais afastada do centro de carga sem requerer reforço de rede, pois as novas infraestruturas apresentam algum sobredimensionamento.

3.8. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

Concluída a implementação das alterações em DPLAN e emitidos os respectivos relatórios, é possível comparar os resultados iniciais dos circuitos com os resultados pós alterações.

De forma a clarificar as alterações será feita a comparação dos parâmetros relativos aos troços alterados e ao desempenho global da RDBT, para inferir e quantificar a pertinência dessas mesmas alterações.

Na comparação de resultados será tida em conta a dimensão inicial dos troços (de acordo com o levantamento efetuado), e a potência que cada troço transporta em condições normais de exploração. Os resultados foram agregados de acordo com a substituição de cabos efetuada, ou seja, de acordo com as secções iniciais e finais de cada troço. São indicadas as variações decorrentes da aplicação de novos troços, sendo esta a diferença entre os parâmetros finais, (após substituição do troço), com os iniciais, (de acordo com a rede existente).

3.8.1. IMPLEMENTAÇÃO DE CONDUTORES DE 70MM²

As propostas anteriormente descritas contam com a substituição de diversos troços com diferentes dimensões. Nesta secção serão comparados unicamente os troços que contam agora com canalizações do tipo LXS 4x70+16, em detrimento de condutores nus em cobre.

A disposição de dados terá em conta a secção dos condutores originais, pelo que começará pela análise das canalizações que tinham condutores de cobre com maior secção. A maior secção de condutores nus de cobre existentes na rede em estudo é de 16mm².

O único troço de condutores nus de cobre de 16mm² cuja alteração prevê que seja implementada uma torçada de 70mm² está descrito na tabela 41.

Tabela 41 – Variações dos parâmetros dos troços alterados (Cu 5x16 por LXS 4x70+16)

Substituição de condutores Cu 5x16 por LXS 4x70+16						
P_{transf}	L_{Inicial} (m)	ΔL (m)	Δ I_{max} (A)	ΔP (kW)	ΔP_{Perdas} (W)	ΔU (%)
]5;10] kVA	26,20	1,1	0	-0,026	-7,84	-0,12

Na tabela 41 é constatável que o troço em questão, como não tem uma extensão muito elevada, não sofre grandes alterações ao nível de quedas de tensão e de potência transportada, apesar de sofrer uma redução da potência de perdas. A secção sofre um aumento considerável, o que permite que as perdas sofram um decréscimo de mais 50%, (inicialmente eram 13,20 W). O novo troço apresenta uma capacidade de transporte bastante maior, pois o feixe LXS 4x70+16 tem uma corrente admissível cerca de 80 A superior.

As alterações previstas no circuito 2 priorizaram a implementação de canalizações principais em cabos de torçada LXS 4x70+16, o que correspondeu a um aumento considerável das secções das almas condutoras. Os condutores nus com maior representação atual na rede em estudo são os condutores de 10mm², principalmente no que toca ao circuito 2. Isto leva a que a substituição de condutores cu5x10 por LXS 4x70+16 seja a alteração mais frequente.

Na tabela 42 são indicadas as variações decorrentes da substituição de cada um desses troços.

Tabela 42 – Variações dos parâmetros dos troços alterados (Cu 5x10 por LXS 4x70+16)

Substituição de condutores Cu 5x10 por LXS 4x70+16						
P_{transf}	L_{Inicial} (m)	ΔL (m)	Δ I_{max} (A)	ΔP (kW)	ΔP_{Perdas} (W)	ΔU (%)
]10;15] kVA	11,50	1,40	-0,30	-0,22	-16,62	-0,15
	9,10	0,70	-0,20	-0,04	-15,99	-0,20
	35,80	1,70	-0,30	-0,20	-52,77	-0,57
	23,60	1,40	-0,30	-0,15	-31,72	-0,83
]5;10] kVA	30,30	0,80	-0,30	-0,12	-37,46	-1,15
	28,10	0,60	-0,30	-0,08	-28,13	-1,42
	12,90	1,90	-0,30	-0,05	-12,40	-1,54
	13,80	0,90	-0,20	-0,03	-8,57	-1,65
	26,10	0,80	-0,20	-0,02	-11,13	-1,88
	15,00	0,90	0,00	-0,02	-7,12	-0,13
	12,50	2,40	0,00	-0,01	-4,46	-0,20
]0;5] kVA	30,40	1,40	0,00	-0,02	-17,90	-0,34
	22,20	1,90	0,00	-0,01	-6,25	-0,31
	15,00	1,20	-0,10	0,00	-3,09	-1,94
Média	20,45	1,29	-0,18	-0,07	-18,12	-0,88

Pela análise da tabela pode-se verificar que a substituição dos condutores acarreta ganhos em todos os parâmetros medidos, mas as maiores vantagens estão relacionadas com as quedas de tensão e com as perdas. As quedas de tensão reduzem em média uma percentagem de 0,88%, mas essas reduções são mais notórias em canalizações mais extensas.

As perdas, como seria de esperar reduzem consideravelmente, havendo nesta substituição reduções na ordem dos 75%. Esse efeito é mais notório em potências mais elevadas, mas como nenhuma potência transportada supera os 15 kVA nem se verifica a existência de troços próximos do comprimento máximo (50 metros), as perdas não têm reduções superiores a 52,77 W.

O último tipo de canalização em condutores nus que foi substituída pela troçada LXS 4x70+16, foi o Cu 3x6. Este tipo de canalização é monofásica, (contemplando também a iluminação pública), no entanto os troços listados na tabela 42 correspondem a canalizações principais atualmente em exploração. Como todos os contratos a jusante destes troços são monofásicos e de baixa potência, não tem havido dificuldades no abastecimento de energia elétrica.

Na tabela 43 são referidas as alterações decorrentes da substituição dos condutores de Cu 3x6 por cabos de torçada de 70 mm².

Tabela 43 – Variações dos parâmetros dos troços alterados (Cu 3x6 por LXS 4x70+16)

Substituição de condutores Cu 3x6 por LXS 4x70+16						
P_{transf}	L_{Inicial} (m)	ΔL (m)	Δ I_{max} (A)	ΔP (kW)	ΔP_{Perdas} (W)	ΔU (%)
[5;10] kVA	21,40	2,10	-0,10	-0,01	-5,31	-1,69
]0;5] kVA	18,70	1,40	-0,10	0,00	-1,15	-0,89
	26,10	1,80	-0,01	-0,02	-2,14	-0,89
	28,80	2,20	0,00	0,00	-2,12	-0,29
	22,20	1,10	-0,10	0,00	-3,29	-1,8
Média	23,44	1,72	-0,06	-0,01	-2,80	-1,11

Mais uma vez é constatável na tabela 43 que o aumento considerável de secção, mesmo utilizando uma alma condutora com maior resistividade, permite obter melhorias no desempenho da rede, nomeadamente na redução das perdas técnicas e das quedas de tensão. Estas alterações permitiram reduzir em média 1,11% das quedas de tensão decorrentes de cada um dos troços. As perdas técnicas apresentam reduções na ordem dos 85%.

Neste caso substituição por condutores com elevada secção é um pouco exagerado pois as potências envolvidas nestes troços são reduzidas, não obstante existem duas ramificações da rede a jusante destes troços com a mesma secção (70mm²), que provavelmente alimentarão clientes em breve. Os novos troços permitem uma corrente admissível cerca de 139 A superior, e ainda possibilitam a distribuição dos clientes monofásicos pelas três fases, possibilitando um melhor equilíbrio entre fases.

3.8.2. IMPLEMENTAÇÃO DE CONDUTORES DE 50MM²

Passando agora para as canalizações de 50 mm², a substituição direta de condutores com esta secção foi mais comum no circuito 1 pois esse circuito não apresenta nenhuma canalização com maior secção. Foram implementados troços com estas dimensões nas canalizações principais atualmente providas de condutores nus.

Tal como no caso dos condutores de 70mm², apenas se verifica a existência de uma substituição de condutores nus de cobre de 16mm² pelos cabos de torçada (neste caso de

50mm²). Apesar de este troço apresentar a maior secção de condutores nus não transmite uma potência elevada, pelo que é menos notória a variação de parâmetros, mesmo tratando-se de um troço longo.

A variação dos parâmetros decorrentes da alteração de canalizações Cu 5x16 por LXS 4x50+16, está explicitada na tabela 44.

Tabela 44 – Variações dos parâmetros dos troços alterados (Cu 5x16 por LXS 4x50+16)

Substituição de condutores Cu 5x16 por LXS 4x50+16						
P_{transf}	L_{Inicial} (m)	ΔL (m)	Δ I_{max} (A)	ΔP (kW)	ΔP_{Perdas} (W)	ΔU (%)
]0;5] kVA	38,70	0,7	-0,1	-0,003	-2,6	-0,68

Como a potência transmitida na canalização é reduzida, apenas se observa um decréscimo de 2,6W no que toca a perdas técnicas. Na tabela 44 também é verificável que ocorre uma diminuição das quedas de tensão, sendo este um abaixamento considerável (52%).

A alteração desta canalização também fomenta o aumento da capacidade de transporte pois a corrente admissível da canalização apresenta um aumento de 40A, em relação aos 110A dos condutores de cobre de 16 mm².

Como exposto acima as linhas em condutores nus mais comuns nesta RDBT são as de 10mm², pelo que a retirada de canalizações em cobre nu implica que a maioria das alterações envolva a substituição de condutores 5x10 por cabos de torçada em alumínio. Neste subcapítulo será analisada a substituição desses condutores por cabos de torçada de 50mm².

Na tabela 45 são apresentados os diversos troços nos quais foram substituídos os condutores Cu 5x10 pelos feixes LXS 4x50+16.

Tabela 45 – Variações dos parâmetros dos troços alterados (Cu 5x10 por LXS 4x50+16)

Substituição de condutores Cu 5x10 por LXS 4x50+16						
P_{transf}	L_{Inicial} (m)	ΔL (m)	Δ I_{max} (A)	ΔP (kW)	ΔP_{Perdas} (W)	ΔU (%)
]5;10] kVA	22,60	0,80	-0,10	-0,04	-9,46	-0,14
	17,20	0,50	-0,10	-0,03	-6,02	-0,23
]0;5] kVA	21,00	0,80	0,00	0,00	-0,81	-0,09
	14,60	0,80	0,00	0,00	-0,04	-0,09
	15,60	0,60	0,00	0,00	-0,04	-0,10
	21,20	0,50	0,00	0,00	-0,84	-0,05
Média	18,70	0,67	-0,03	-0,01	-2,87	-0,12

É verificável que as variações de parâmetros indicadas na tabela 45 são tanto maiores quanto maior for a potência envolvida, pelo que é mais viável a troca de canalizações nessas situações. Na substituição acima descrita ocorre uma redução das perdas nas linhas, em média 2,47W, correspondente a aproximadamente 68% de redução. Esse valor de redução tem maior impacto para potências superiores, pois apesar de não se verificarem potências acima de 10kVA, verifica-se a redução de 9,46W num único troço.

A redução das perdas permite obter maiores vantagens económicas, e como os novos troços apresentam uma maior capacidade de transporte, a rede fica mais preparada para um possível crescimento.

Os últimos troços de cobre a serem substituídos por torçadas de 50mm² foram os Cu 3x6. Dois troços da canalização principal, mais próximos das extremidades da rede eram constituídos por estes condutores monofásicos. Para manter a canalização principal com as secções mínimas de 50mm², e ao mesmo tempo distribuir os clientes pelas fases, ou possibilitar o aparecimento de contratos trifásicos foram alterados os dois troços constantes da tabela 46.

A tabela 46 refere as principais variações técnicas decorrentes da alteração dos condutores Cu 3x6 por LXS 4x50+16.

Tabela 46 – Variações dos parâmetros dos troços alterados (Cu 3x6 por LXS 4x50+16)

Substituição de condutores Cu 3x6 por LXS 4x50+16						
P_{transf}	L_{Inicial} (m)	ΔL (m)	Δ I_{max} (A)	ΔP (kW)	ΔP_{Perdas} (W)	ΔU (%)
]5;10] kVA	25,10	0,40	-0,10	-0,03	-17,28	-0,49
]0;5] kVA	15,80	0,30	0,00	-0,01	-6,86	-0,62
Média	20,45	0,35	-0,05	-0,02	-12,07	-0,56

Fazendo a análise da tabela 46 é possível constatar que apesar dos dois troços substituídos serem relativamente curtos, ocorre nesta alteração uma redução considerável das perdas e das quedas de tensão. Apesar de nenhuma das potências transferidas ser muito elevada, a redução das perdas quase atinge os 80%. Além disso ocorre um aumento da corrente admissível da instalação de 99 A.

Esses fatores permitem concluir que esta alteração é importante não só para o cumprimento legal e regulamentar, mas também para a melhoria do desempenho da rede e para o aumento da capacidade de transporte destas canalizações.

3.8.3. IMPLEMENTAÇÃO DE CONDUTORES DE 25MM²

A canalização de 25 mm² correspondente à mínima secção a implementar em canalizações principais, no entanto foi aplicada esta solução em casos pontuais. Os casos aos quais essa solução foi adotada correspondem a canalizações que contam apenas com um ramal e com uma luminária, sem que haja perspectiva de expansão de rede devido à proximidade de outros pontos de entrega.

Dois dos troços alterados correspondiam a condutores de cobre de 10mm², sendo que um deles neste momento apenas alimenta uma luminária pois o ponto de entrega que ele alimentava está abandonado.

Na tabela 47 são apresentados os troços nos quais foram substituídos os condutores Cu 5x10 pela torçada LXS 4x25+16

Tabela 47 – Variações dos parâmetros dos troços alterados (Cu 5x10 por LXS 4x25+16)

Substituição de condutores Cu 5x10 por LXS 4x25+16						
P_{transf}	L_{Inicial} (m)	ΔL (m)	Δ I_{max} (A)	ΔP (kW)	ΔP_{Perdas} (W)	ΔU (%)
]5;10] kVA	20,40	0,9	-0,2	-0,022	-4,68	-1,71
]0;5] kVA	40,90	1	0	0	0	-0,83
Média	30,65	0,95	-0,10	-0,01	-2,34	-1,27

Os valores obtidos na tabela 47 permitem inferir que mesmo a secção normalizada mais reduzida permite que ocorra uma redução das perdas técnicas. Outro parâmetro em destaque é a queda de tensão, que apresenta uma redução considerável nestas linhas, pelo que a tensão nos pontos de entrega a jusante destes troços será mais próxima da tensão nominal.

Os restantes troços que sofreram alteração referem-se a canalizações atualmente em cobre de 6mm², sendo que uma delas apenas tem dois condutores pois o ultimo apoio (destinado a suportar uma das extremidades do ramal) não tem qualquer luminária, pelo que essa canalização apenas conta com uma derivação para ramal.

As tabelas 48 e 49 indicam as principais alterações decorrentes da substituição dos condutores Cu 3x6 e Cu 2x6, respetivamente.

Tabela 48 – Variações dos parâmetros dos troços alterados (Cu 3x6 por LXS 4x25+16)

Substituição de condutores Cu 3x6 por LXS 4x25+16						
P_{transf}	L_{Inicial} (m)	ΔL (m)	Δ I_{max} (A)	ΔP (kW)	ΔP_{Perdas} (W)	ΔU (%)
]0;5] kVA	18,40	1,2	0	0	-0,75	-0,05

Tabela 49 – Variações dos parâmetros dos troços alterados (Cu 2x6 por LXS 4x25+16)

Substituição de condutores Cu 2x6 por LXS 4x25+16						
P_{transf}	L_{Inicial} (m)	ΔL (m)	Δ I_{max} (A)	ΔP (kW)	ΔP_{Perdas} (W)	ΔU (%)
]0;5] kVA	19,00	0,3	0	-0,001	-0,88	-1,93

As tabelas anteriores permitem inferir que esta alteração permite reduzir ligeiramente as perdas, mas sobretudo na tabela 49, é verificado que ocorre um abaixamento importante das quedas de tensão.

Os consumidores atualmente têm um consumo reduzido, mas podem agora aumentar os seus contratos sem prejuízo das condições regulamentares, pois os novos troços suportam maior fluxo energético, e ao contrário de anteriormente, apresenta agora canalizações principais exclusivamente trifásicas.

Em nenhum dos casos descritos houve uma degradação dos parâmetros iniciais da rede, e os dados permitem afirmar que a rede tem agora maior eficiência, pois foi possível reduzir as perdas técnicas em todos os troços, o que implica menor dissipação de energia na distribuição.

As reduções verificadas aumentavam com a extensão dos troços, a potência transmitida, mas sobretudo com a diferença entre as secções iniciais e finais. As alterações que apresentaram maiores diferenças permitiram redução de perdas na ordem dos 80%, no entanto as novas canalizações são sobredimensionadas, pelo que o custo de implementação inicial será elevado.

O sobredimensionamento teve que ver com a dimensão das canalizações em feixe atuais, com a garantia de melhoria dos parâmetros técnicos da rede, e com a permanência temporal das alterações.

3.8.4. IMPLEMENTAÇÃO DE CONDUTORES DE 16MM²

Nesta secção são abordados os ramais alterados, que de acordo com o exposto no subcapítulo anterior, foram unicamente substituídos dois ramais na RDBT em estudo, um em cada circuito. A substituição destes ramais prendeu-se unicamente com questões de segurança, pois os ramais em questão estavam suficientemente perto das edificações para causar perigo de contacto direto.

Os ramais aplicados têm todos as dimensões mínimas e são correspondentes a clientes monofásicos. Assim sendo, foram aplicados dois ramais de torçada de alumínio do tipo LXS 2X16, em substituição de condutores em cobre nu com 6 e 16 mm².

Os ramais alvo de alteração estão indicados nas tabelas 50 e 51, bem como as alterações técnicas decorrentes dessas alterações.

Tabela 50 – Variações dos parâmetros dos troços alterados (Cu 2x16 por LXS 2x16)

Substituição de condutores Cu 2x16 por LXS 2x16						
P_{transf}	L_{Inicial} (m)	ΔL (m)	Δ I_{max} (A)	ΔP (kW)	ΔP_{Perdas} (W)	ΔU (%)
]0;5] kVA	22,80	0,8	-0,1	0	0,49	-1,03

Tabela 51 – Variações dos parâmetros dos troços alterados (Cu 2x6 por LXS 2x16)

Substituição de condutores Cu 2x6 por LXS 2x16						
P_{transf}	L_{Inicial} (m)	ΔL (m)	Δ I_{max} (A)	ΔP (kW)	ΔP_{Perdas} (W)	ΔU (%)
]0;5] kVA	10,10	1,1	0	0	-0,02	-0,01

Pode-se concluir, através da interpretação das tabelas anteriores, que a substituição de condutores de cobre por alumínio com a mesma secção é prejudicial ao desempenho da rede. Isto ocorre devido à maior resistência dos condutores em alumínio, que originará maiores perdas técnicas.

Apesar de a potência conduzida pelo ramal ser reduzida, já é notório o aumento das perdas em relação aos condutores originais, no entanto também é constatável que ocorre neste condutor uma redução das quedas de tensão. Esta informação não é conclusiva, pois o troço em análise já não está nas mesmas condições do troço original, isto porque este ramal está localizado numa das zonas contempladas pelas modificações no traçado.

As alterações a montante deste ramal permitem que este apresente uma queda de tensão bastante inferior à inicial, pois a tensão na entrada é superior. Quer isto dizer que a nova canalização apresenta uma maior queda de tensão por si só, mas na globalidade do sistema a tensão é superior. Outro fator importante é o facto de esta substituição implicar uma menor capacidade de transporte, pois a nova canalização tem uma corrente admissível inferior em 35 A.

Quanto ao segundo ramal substituído, descrito na tabela 52, apresenta uma canalização bastante curta e que também alimenta uma potência reduzida. A alteração desse troço implica que seja aumentada a secção da alma condutora em 10 mm².

É verificável que nesta aldeia não existe qualquer tipo de instalação de microprodução, pelo que a produção distribuída ainda não assume um papel preponderante no estudo e na operação desta RDBT, bem como de outras redes rurais análogas a esta.

4. OUTRAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O PERÍODO DE ESTÁGIO

4.1. ASPETOS GERAIS

Neste capítulo pretende-se descrever as atividades que o aluno integrou ou desenvolveu durante o estágio, cuja finalidade divergia do âmbito principal do mesmo. Faz-se uma breve descrição dessas atividades, dos procedimentos levados a cabo e da finalidade de cada uma delas. A participação nestas atividades promoveu a integração do aluno no ambiente empresarial, permitiu a consolidação de conhecimentos e a aquisição de novas competências. Em todas as situações enunciadas foi promovida a participação ativa do aluno, tendo inclusive havido formação para melhor desempenho nas tarefas propostas

4.2. FORMAÇÃO EM SEGURANÇA

Na fase inicial do estágio, o aluno integrou uma formação em segurança. Este tipo de formação é habitual quando um novo colaborador integra a empresa.

Nessa formação foram transmitidos os principais procedimentos a ter na execução de atividades dentro do edifício da empresa e em deslocações exteriores.

Além de ter tido contacto com planos de emergência e de prestação de auxílio também foram mencionados os métodos mais adequados de comunicação em trabalhos com equipas numerosas.

Quanto às deslocações exteriores foram apresentados os cuidados a ter, as distâncias mínimas de segurança e a obrigatoriedade de utilização de vestuário adequado.

No fim da formação o aluno recebeu os Equipamentos de Proteção Individual (EPI) obrigatórios, e manuais de procedimentos de segurança para que o mesmo seja conhecedor

da política de zero acidentes da empresa e esteja preparado para, em segurança, acompanhar diversas atividades da empresa.

4.3. ANÁLISE E REVISÃO DE PROJETOS

Ao longo do estágio o aluno pode acompanhar projetos em diferentes fases. Alguns dos casos acompanhados referem-se a situações de alteração do projeto original, decorrentes de reclamações, alterações de pedidos ou má conservação das infraestruturas já existentes. Para esses casos foi necessário proceder a alterações parciais ao projeto original, nomeadamente na previsão de aumento de materiais ou alteração do traçado inicial.

Também foi dada a oportunidade de o aluno auxiliar na revisão e validação de projetos, principalmente no que toca a determinação de parâmetros luminotécnicos características elétricas ou adequação de apoios de acordo com o declive dos locais de execução.

Este trabalho permitiu o desenvolvimento do sentido crítico do aluno relativamente à análise de infraestruturas. Além disso, possibilitou o desenvolvimento de competências de justificação fundamentada de alterações de rede/traçado e ainda a determinação da melhor hipótese equacionada de acordo com as características técnicas ou económicas das propostas.

4.4. AUDITORIA DE SEGURANÇA AO PRESTADOR DE SERVIÇOS EXTERNO

O aluno teve a oportunidade de acompanhar uma equipa de auditoria, destinada a auditar algumas equipas do prestador de serviços externo, as quais desenvolvem tarefas para a EDP Distribuição. As equipas auditadas realizam tarefas de leituras de contadores e instalação de luminárias. Nas auditorias efetuadas foram vistoriados equipamentos de trabalho (como o camião grua e os leitores de contadores) e também equipamentos de proteção individual. No caso da equipa de substituição de luminárias também foram verificadas as habilitações dos elementos da equipa, bem como o número de elementos que a integra. Além disso foram avaliadas as zonas de delimitação de perigo, a sinalização apropriada e a segurança nos procedimentos.

No caso da leitura de contadores também foi analisada a identificação dos elementos que compõem a equipa e os equipamentos de recolha de dados.

Foram também alvo de vistoria os elementos a transportar na carrinha na qual se deslocam, nomeadamente o *kit* manual de primeiros socorros, extintor, equipamentos de protecção individual e amarração de materiais.

Este trabalho permitiu ao aluno familiarizar-se com tarefas relacionadas com auditorias, principalmente na vertente da segurança. Possibilitou o primeiro contacto com os registos de conformidade e foi alertado para as principais não conformidades detetadas em operações desse âmbito.

4.5. ACOMPANHAMENTO DE OBRA

No decorrer do estágio, o aluno integrou equipas de acompanhamento de obra durante a fase de execução de vários projetos.

Nessas atividades foi necessário que o aluno estivesse equipado com os equipamentos de proteção individual previamente fornecidos, de forma a poder aproximar-se da obra em segurança no decorrer dos trabalhos.

Nos vários acompanhamentos de obra em que participou, destacam-se:

- Execução de valas;
- Execução de maciços para suporte de armários;
- Arvoreamento de postes;
- Aplicação de cabos de torçada;
- Ligações de redes a portinholas;
- Verificação da altura de enterramento dos postes instalados;
- Colocação de Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) num novo PT aéreo;
- Verificação dos conectores de barramentos;

- Verificação das distâncias mínimas de fixações de cabos em fachada.

Este acompanhamento de obras permitiu o contacto com a execução de projetos previamente analisados e a comparação da execução em obra com as plantas de projeto no terreno. Além disso foi uma oportunidade de partilha de conhecimento entre projetistas e executantes e permitiu a observação de tarefas de delineamento de execução de obra. Foi ainda possível cooperar com a equipa de trabalho em tarefas relacionadas com a verificação do posicionamento de materiais no interior de bastidores, por exemplo nas ligações aos barramentos da portinhola.

5. CONCLUSÕES

Neste capítulo serão apresentadas as principais ilações retiradas do trabalho desenvolvido e do estágio que o aluno integrou.

Serão referidas as principais dificuldades encontradas bem como os maiores proveitos retirados. É importante também realçar as bases de conhecimento que tinham sido construídas de forma a desenvolver, em contexto real, as capacidades de engenharia.

Como o período de estágio decorreu num período de tempo relativamente reduzido, também serão abordadas perspetivas de continuidade do trabalho desenvolvido, bem como possíveis projetos de desenvolvimento futuro.

5.1. CONCLUSÕES GERAIS

No decorrer do estágio foram adquiridos novos conhecimentos da engenharia e aprofundados outros, nomeadamente no ramo da distribuição de energia elétrica e mais particularmente na distribuição de energia em redes aéreas.

Este estágio permitiu que o aluno fosse enquadrado na gestão de redes de distribuição em baixa tensão, e também na alteração de redes aéreas. Isso permitiu que o aluno desenvolvesse capacidades de resolução de problemas em contexto real, e ainda que tivesse o contacto com a cadastragem de redes de distribuição, tendo integrado as equipas de trabalho. Essas tarefas revelaram-se muito proveitosas pois possibilitaram uma aprendizagem *on job*, o que melhora a preparação do aluno para integrar o mundo do trabalho.

As expetativas do estágio foram claramente superadas, uma vez que o estágio se revelou como uma situação de constante aprendizagem e permitiu o contacto com diversas ferramentas de gestão e planeamento de redes de distribuição. Além disso, possibilitou a familiarização com diversos documentos essenciais à prossecução de trabalhos e projetos e permitiu a constituição de uma base sólida de conhecimento.

De notar ainda que, muito devido à excelente orientação dada, foi permitido que o aluno participasse em diversas ações no terreno, o que possibilitaram a aquisição de capacidades de comunicação multidisciplinar. De facto o estágio a que o aluno se propôs foi desafiante e exigiu uma formação adequada para que fosse bem sucedido.

Os objetivos traçados inicialmente foram cumpridos e até superados porque o aluno teve a oportunidade de integrar atividades que vão para além do âmbito inicial do estágio. Além da aprendizagem e crescimento que o estágio possibilitou, o aluno foi ainda capaz de contribuir ativamente para a empresa na qual estagiou, uma vez que parte das actividades que desenvolveram se traduzem em ativos da empresa, isto porque a rede que foi alvo de estudo passou a estar devidamente caracterizada na plataforma da EDP Distribuição. Da mesma forma que o levantamento feito, o estudo realizado também consta do arquivo da empresa, pelo que, se a mesma achar relevante, pode utilizar esse mesmo estudo para execução. Uma vez que a área operacional na qual se realizou o estágio tem maioritariamente redes aéreas, a metodologia utilizada na cadastragem de redes e no estudo de desempenho da mesma pode ser aplicado a muitas outras instalações análogas à rede de distribuição em estudo.

Assim, pode-se considerar que o estágio foi um período de constante aprendizagem que promoveu no aluno a consolidação e aprendizagem de conhecimentos, e contribuiu ativamente para a formação do aluno, quer na vertente da engenharia, quer na vertente humana.

5.2. COMPONENTE ACADÉMICA

Durante a ciclo de estudos o aluno desenvolveu uma boa capacidade de superação e de persistência, e este desenvolvimento ao longo do percurso académico revelou-se numa mais-valia no desempenho do aluno ao longo do estágio.

Os conceitos aprendidos durante a formação foram essenciais para facilitar a integração no contexto laboral, o que permitiu a rápida adaptação do aluno ao estágio que integrou. Os conceitos relativos aos sistemas elétricos de energia foram constantemente utilizados durante o estágio, e possibilitaram uma participação ativa nas tarefas desempenhadas.

Os conceitos previamente adquiridos são transversais, no entanto, no que toca a redes de distribuição, eram mais focalizados para redes subterrâneas. Apesar de o contexto das redes

às quais se aplica esta dissertação ser um pouco distinto das redes previamente estudadas e trabalhadas em contexto académico, a base de conhecimento adquirida previamente permitiu criar analogias importantes na adaptação às redes aéreas.

A formação em contexto académico foi essencial para que o aluno fosse bem sucedido neste estágio, tendo aplicado no mesmo conhecimentos adquiridos na licenciatura e no mestrado. Todas as unidades curriculares constantes no plano de estudos foram importantes, no entanto são realçados os conhecimentos lecionados nas unidades de Projetos de Instalação Eléctricos 2, Sistemas Eléctricos de Energia 1, Projetos de Instalações Eléctricas Especiais, Qualidade de Serviço em Sistemas Eléctricos, Produção Distribuída e Operação de Sistemas Eléctricos de Energia.

Além do estágio ter sido um ambiente propício à consolidação de conhecimentos adquiridos, também foi um fator de aprendizagem. Os principais conceitos aprendidos durante o estágio prendem-se com o cadastro de redes, operações de consignação, metodologias de implementação de projetos de remodelação e aquisição de competências em *software* específico do operador de rede de distribuição.

5.3. PERSPETIVAS DE TRABALHO FUTURO

As alterações propostas nesta dissertação não foram executadas na realidade, no entanto, a candidatura destas propostas a um plano de remodelação em curso (o plano de desenvolvimento e investimento da rede de transporte de electricidade - PDIRT) possibilitava a passagem deste projeto para a fase de orçamentação e posterior execução.

A rede em estudo é exclusivamente aérea, pelo que não foram abordadas canalizações subterrâneas, nem comparados os desempenhos de condutores utilizados nessas instalações.

Uma vez que a cadastragem das redes de baixa tensão não está completa seria positivo utilizar as metodologias descritas para realizar o cadastro e caracterização de outras redes, principalmente considerando a extensão considerável de rede aérea sem caracterização em formato digital. A aplicação destas metodologias teria de ser adaptada para permitir a aplicação a redes mistas ou redes aéreas, devido ao facto desse tipo de redes não apresentar um traçado visível.

Outro fator em crescimento atualmente é a ligação à rede de distribuição de pequenos produtores, advindo daí a produção distribuída. Na rede em estudo não existe qualquer infraestrutura deste tipo, pelo que seria interessante realizar um estudo semelhante numa rede com esses produtores ou uma rede em anel.

Uma vez que a realização do estágio permitiu a formulação de um projeto de remodelação da aldeia de uma rede de distribuição, seria relevante que o aluno pudesse acompanhar o progresso desse mesmo projeto nas fases futuras. Além disso, as capacidades de interação com os *softwares* específicos da empresa levam a que o aluno esteja apto a integrar projetos de cadastro de rede, análise e alteração de projetos e outras operações possíveis em Sistema de Informação Técnica (SIT), principalmente relacionados com rede de baixa tensão.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6.1. REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS

- [1] “Direcção Geral de Energia. Decreto-lei nº 182/95, de 27 de Julho - Despacho Nº 13615/99 (2ª. Série). 1999.”
- [2] “EDP Distribuição, Missão EDP - A nossa energia ao seu serviço. 2012.”
- [3] “Decreto -Lei n.º 172/2006, de 23 de Agosto, Portaria no 596/2010 de 30 de Julho do Ministério da Economia da Inovação e do Desenvolvimento, anexo II - Regulamento da Rede de Distribuição. 2010.”
- [4] “Decreto-Lei n.º 172/2006, de 23 de Agosto, Portaria no 596/2010 de 30 de Julho do Ministério da Economia da Inovação e do Desenvolvimento, anexo I - Regulamento da Rede de Transporte. 2010.”
- [5] “EDP Distribuição, Manual de Ligações à rede eléctrica de serviço público - Guia técnico e logístico de boas práticas. Outubro 2015.”
- [6] “Lopes, J., Sistema de Informação de Apoio à Detecção de Perdas de Energia Eléctrica – O Caso da Electra, Universidade de Aveiro, Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática, 2010.”
- [7] “Figueiredo G., Caracterização das Perdas na Rede de Distribuição de Média Tensão, Universidade do Porto, FEUP, Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, 2012.”
- [8] “Rede Eléctrica Nacional, Caracterização da Rede Nacional de Transporte para Efeitos de Acesso à Rede - Situação a 31 de Dezembro de 2016. Março 2017.”
- [9] “J. Sucena Paiva, Redes de Energia Eléctrica : Uma Análise Sistémica, 4ª ed. IST Press, 2015.”
- [10] “EDP Distribuição, Caracterização das Redes de Distribuição, 31 Dezembro 2016.”
- [11] “EDP Distribuição, DIT-C14-100/N. Ligação de Clientes de Baixa Tensão - Soluções técnicas normalizadas. Maio 2007.”

- [12] “Gomes A., Carvalho J., Silva H., Instalações elétricas de baixa tensão. Dimensionamento e proteção de canalizações elétricas. Publindustria, Edições técnicas, 2017.”
- [13] “EDP Distribuição, DMA-C62-808/N Materiais para Derivações e Entradas BT - Quadro geral de baixa tensão R100 Características e ensaios, Setembro 2013.”
- [14] “EDP Distribuição, DMA-C67-212/N. Apoios para Linhas Aéreas - Postes de betão para PT aéreos. Julho 2001.”
- [15] “H. Silva, Projecto de postos de transformação, Rev. técnico-profissional o Electricista. pp. 103–107, 2009.”
- [16] “Ministério da Energia - Decreto n.º 67/2011, de 21 de Dezembro. Diário da República, 1.ª série — N.º 51. Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Elétrica em Baixa Tensão. 2011.”
- [17] “EDP Distribuição, DIT-C11-010/N. REDES – LINHAS. Regras para a conceção, aprovação e ligação à rede dos projetos de infra-estruturas elétricas de loteamentos ou urbanizações de iniciativa privada. Novembro 2010.”
- [18] “EDP Distribuição, DMA-C63-201/N. Materiais para Redes – Aparelhagem BT. Fusíveis de BT, Características e ensaios. Setembro 2015.”
- [19] “EDP Distribuição, DMA-C62-801/N Materiais para Derivações e Entradas BT - Armários de distribuição Características e ensaios, Maio 2007.”
- [20] “EDP Distribuição. Guia do Planeador. Direcção de Planeamento de Rede Versão 5.0. 2009.”
- [21] “EDP Distribuição, DMA-C33-864/N. Condutores Isolados e Seus Acessórios para Redes Berços de guiamento, pinças de suspensão e pinças de amarração. Características e ensaios Novembro 2011.”
- [22] “Eletricidade dos Açores SA. Redes de Distribuição de Baixa Tensão. Versão 1/2015.”
- [23] “Direção Geral de Energia - Ministério da Industria e Energia. Guia técnico de redes

- aéreas de Baixa Tensão em condutores isolados agrupados em feixe (torçada). 2^a Edição. Dezembro 1992. Lisboa.”
- [24] “EDP Distribuição, DMA-C67-205/N. Postes de betão para redes BT. Características e ensaios Dezembro 2000 ADT N^o 1. Março 2003.”
- [25] “EDP Distribuição, DMA-C62-700. Material para derivações de rede - Caixas de protecção para redes aéreas BT em torçada. Julho 2006.”
- [26] “Diretiva n.º 20/2013. Diário da República, 2.ª série — N.º 227 — 22 de novembro de 2013. Parte E - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos - Parâmetros de Regulação da Qualidade de Serviço do setor elétrico. Lisboa.”
- [27] “EDP Distribuição, Manual Simplificado DPlan, versão 2.3, Novembro 2010.”
- [28] “EDP Distribuição, Manual de Iluminação Pública da EDP, 2016.”
- [29] “EDP Distribuição, DRE- C71- 001/N, Aparelhos de Iluminação Elétrica e Acessórios - Guia Técnico de Iluminação Pública - Regras de execução e de montagem. Janeiro 2017.”
- [30] “Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, Manual de Procedimentos da Qualidade de Serviço do Setor Elétrico, Junho 2013.”
- [31] “Norma Europeia – EN 50160, versão Portuguesa. Características da tensão fornecida pelas redes de distribuição pública de energia elétrica. 2001.”
- [32] “Caçote, J. Aspectos Gerais da Qualidade de Energia – Jornadas Técnicas de Eletrotecnia. Dep. Engenharia Eletrotécnica, Universidade Algarve. Novembro de 2012.”
- [33] “EDP Distribuição, DMA - C62 - 810/N. Aparelhagem de Baixa Tensão Subtítulo: Portinholas para ramais aéreos e subterrâneos. Características e ensaios. Fevereiro 2009.”
- [34] “EDP Distribuição, DMA- C72- 240/N, Fontes de Iluminação Elétrica - Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão - Características e ensaios. Janeiro 2017.”

6.2. WEBGRAFIA

- [35] “Cabelte. Cabos Nús para Linhas Aéreas, 2015. [Online]. Disponível em: http://svrweb.cabelte.pt/pt-pt/produtos_servicos/Cabos_energia/Nus_para_linhas_aereas. [Acedido em Agosto 2017].”
- [36] “Cabelte. Manual de Cabos Eléctricos de Baixa Tensão, 2015. [Online]. Disponível em: http://svrweb.cabelte.pt/pt-pt/produtos_servicos. [Acedido em Agosto 2017].”
- [37] “FEUP – Norma Europeia: EN 50160, 2001, disponível em https://paginas.fe.up.pt/~ee86007/pagina_norma_np_en_50160-2001.htm, [Acedido em Agosto 2017].”

ANEXOS

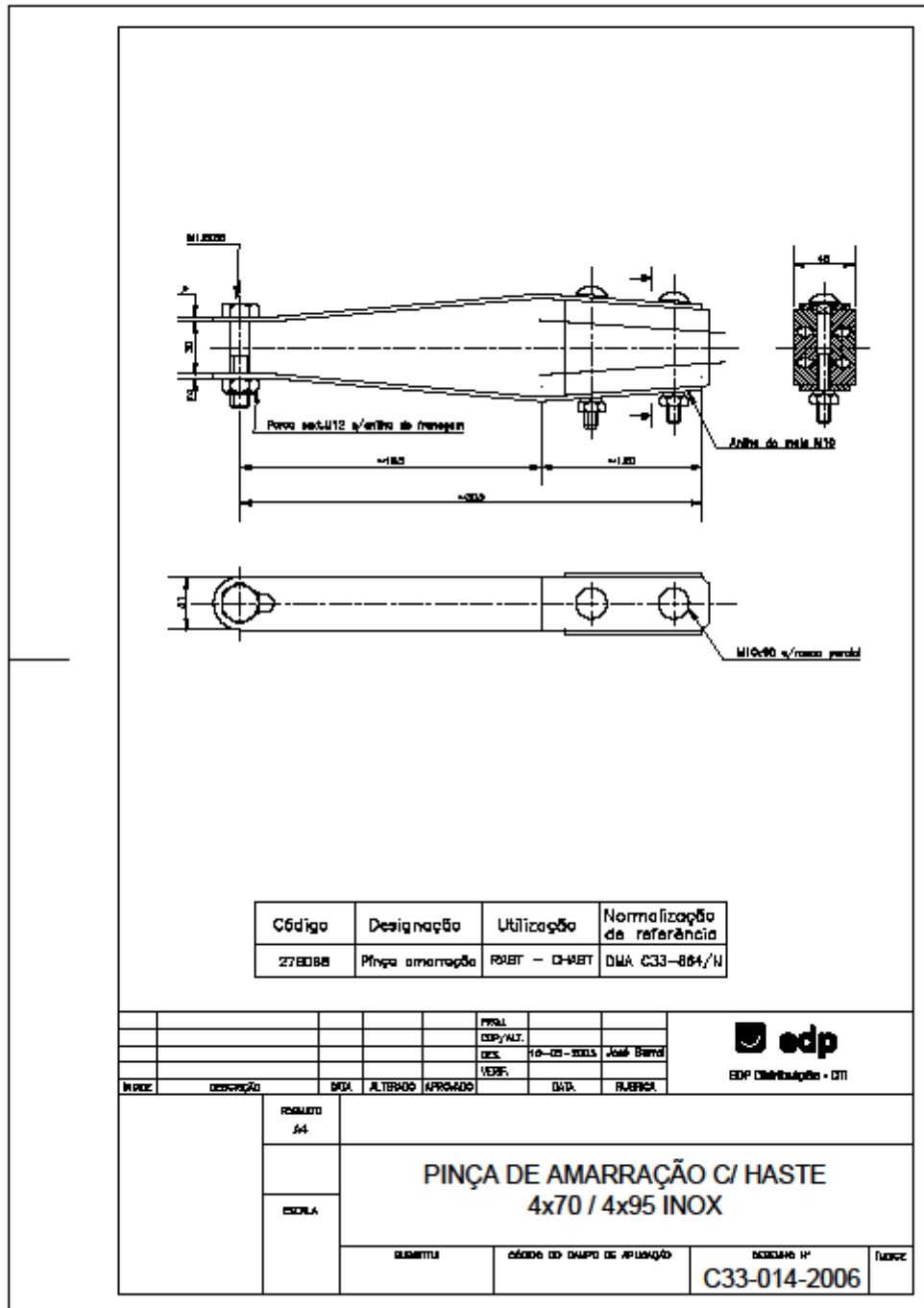
ANEXO 1 – AMARRAÇÕES DE CABOS DE TORÇADA



DMA-C33-864/N
NOV 2011

Código	Designação	Utilização	Normalização de referência
275051	Pinça amarração	RABT - CHABT	DMA C33-864/N

PRAL						 EDP Distribuição - DTI
EDP/ALZ						
EDZ	10-06-2006					
VERIF.						
REVIS	DESCRIÇÃO	DATA	ALTERADO	APROVADO	OUTR.	PLANO
	FORMATO A4					
	PINÇA DE AMARRAÇÃO C/ GANCHO 2x6/2x16 INOX					
	DESIGNAÇÃO	CÓDIGO DO GRUPO DE APLICAÇÃO	DESCRIÇÃO UF	PROJE		
			C33-009-2006			



ANEXO 2 – TRÂNSITO DE ENERGIA DO CIRCUITO 1 – ORIGINAL

Nó i	Nó j	Equipamento	Comprimento	Limite	Corrente	Potência	Tensão	Perdas	dU
				Máx	Máxima		miníma nó j		
			m	A	A	kW	pu	W	%
0	1	LXS 4x50 + 16	14,50	150,00	37,30	24,152	1,00	48,25	0,19
1	2	LXS 4x50 + 16	20,60	150,00	31,50	20,405	1,00	49,22	0,41
1	3	LXS 4x50 + 16	32,50	150,00	10,80	6,950	1,00	9,10	0,31
2	4	LXS 4x50 + 16	15,20	150,00	3,30	2,127	1,00	0,40	0,43
2	5	LXS 4x50 + 16	61,10	150,00	30,40	19,617	0,99	135,51	1,05
3	6	LXS 2x16	9,90	75,00	2,50	1,605	1,00	0,44	0,33
3	7	Cu 5x10	22,60	90,00	10,00	6,401	1,00	14,97	0,52
3	8	LXS 4x50 + 16	45,00	150,00	0,00	0,000	1,00	0,00	0,31
4	9	Cu 5x10	21,20	90,00	3,00	1,957	1,00	1,32	0,49
4	10	VV 2x2.5	2,20	27,00	0,80	0,535	1,00	0,04	0,43
5	11	LXS 4x50 + 16	32,80	150,00	29,10	18,695	0,99	66,99	1,38
5	12	LXS 2x16	9,50	75,00	2,50	1,605	0,99	0,43	1,08
5	13	VV 2x2.5	16,30	27,00	2,50	1,607	0,99	2,76	1,20
7	14	XS 2x6	9,00	55,00	2,50	1,605	0,99	0,63	0,55
7	15	Cu 5x10	17,20	90,00	9,10	5,832	0,99	9,49	0,67
8	16	LXS 4x50 + 16	41,70	150,00	0,00	0,000	1,00	0,00	0,31
9	17	Cu 5x10	21,00	90,00	3,00	1,955	1,00	1,30	0,55
11	18	LXS 4x50 + 16	22,80	150,00	28,50	18,235	0,98	44,61	1,61
11	19	LXS 2x16	15,80	75,00	2,50	1,605	0,99	0,72	1,42
15	20	Cu 3x6	25,10	51,00	8,90	5,688	0,99	22,05	1,01
15	21	VV 2x2.5	10,30	27,00	0,80	0,535	0,99	0,19	0,70

Cadastro de redes de distribuição em baixa tensão e projeto de substituição de condutores nus por cabos de torçada

16	22	LXS 4x50 + 16	38,20	150,00	0,00	0,000	1,00	0,00	0,31
17	23	LXS 2x16	4,70	75,00	0,80	0,535	0,99	0,02	0,55
17	24	VV 2x2.5	1,40	27,00	2,50	1,604	0,99	0,23	0,56
17	25	Cu 5x10	14,60	90,00	0,80	0,535	0,99	0,07	0,56
18	26	XS 2x6	3,40	55,00	2,50	1,604	0,98	0,25	1,62
18	27	LXS 4x50 + 16	43,80	150,00	27,90	17,797	0,98	81,94	2,03
20	28	LXS 2x16	21,50	75,00	2,50	1,605	0,99	0,97	1,06
20	29	Cu 3x6	15,80	51,00	7,00	4,497	0,99	8,76	1,18
20	30	LXS 2x16	9,20	75,00	2,50	1,605	0,99	0,42	1,03
22	31	LXS 4x50 + 16	85,20	150,00	0,00	0,000	1,00	0,00	0,31
25	32	Cu 5x10	15,60	90,00	0,80	0,535	0,99	0,07	0,57
25	33	LXS 2x16	3,30	75,00	0,00	0,000	0,99	0,00	0,56
27	34	LXS 4x50 + 16	48,30	150,00	27,90	17,715	0,98	90,41	2,50
28	35	XS 2x10	5,60	70,00	2,50	1,604	0,99	0,24	1,07
29	36	VV 2x6	2,30	60,00	2,50	1,604	0,99	0,15	1,19
29	37	Cu 5x16	38,70	110,00	6,10	3,865	0,99	6,04	1,32
31	38	LXS 4x50 + 16	46,70	150,00	0,00	0,000	1,00	0,00	0,31
32	39	VV 2x2.5	6,30	27,00	0,80	0,535	0,99	0,12	0,59
34	40	LXS 4x16	52,40	75,00	5,10	3,219	0,97	9,83	2,76
34	41	LXS 4x50 + 16	39,10	150,00	26,40	16,680	0,97	65,58	2,85
37	42	XS 2x6	19,60	55,00	2,50	1,606	0,99	1,39	1,40
37	43	LXS 5x16	30,60	75,00	5,00	3,192	0,99	5,52	1,47
38	44	LXS 4x50 + 16	89,10	150,00	0,00	0,000	1,00	0,00	0,31
40	45	LXS 2x16	1,30	75,00	5,10	3,209	0,97	0,24	2,77
41	46	LXS 4x50 + 16	40,10	150,00	26,40	16,615	0,97	67,22	3,22
43	47	LXS 2x16	15,20	75,00	2,50	1,605	0,99	0,69	1,51
43	48	XS 2x10	10,70	70,00	2,50	1,605	0,99	0,45	1,50
43	49	LXS 2x16	5,10	75,00	2,50	1,604	0,99	0,23	1,49
44	50	LXS 4x50 + 16	104,60	150,00	0,00	0,000	1,00	0,00	0,31

Cadastro de redes de distribuição em baixa tensão e projeto de substituição de condutores nus por cabos de torçada

46	51	LXS 4x50 + 16	42,40	150,00	26,40	16,548	0,96	70,97	3,60
50	52	LXS 4x50 + 16	30,40	150,00	0,00	0,000	1,00	0,00	0,31
51	53	VAV 4x10	2,30	80,00	2,60	1,604	0,96	0,10	3,61
51	54	LXS 5x16	37,40	75,00	25,80	16,082	0,95	177,89	4,55
54	55	LXS 4x25 + 16	212,80	100,00	19,20	11,851	0,93	353,34	7,11
54	56	LXS 4x25 + 16	41,90	100,00	13,60	8,366	0,95	34,70	4,91
55	57	LXS 4x50 + 16	31,30	150,00	19,20	11,500	0,93	27,80	7,32
56	58	LXS 4x25 + 16	50,40	100,00	13,60	8,331	0,95	41,72	5,34
57	59	LSVAV 4x16	2,70	90,00	18,80	11,236	0,93	6,78	7,36
57	60	LXS 2x16	36,00	75,00	0,00	0,000	0,93	0,00	7,32
57	61	LXS 2x16	69,00	75,00	1,40	0,820	0,93	0,93	7,41
58	62	LXS 4x25 + 16	54,60	100,00	13,60	8,290	0,94	45,25	5,80
61	63	LXS 2x16	47,60	75,00	0,90	0,535	0,93	0,27	7,45
61	64	XS 2x10	8,60	70,00	0,90	0,535	0,93	0,05	7,41
62	65	LXS 4x25 + 16	27,10	100,00	13,60	8,245	0,94	22,45	6,03
65	66	LXS 4x25 + 16	30,70	100,00	13,60	8,222	0,94	25,39	6,29
66	67	Cu 2x16	22,80	110,00	2,70	1,605	0,94	0,68	6,33
66	68	LXS 4x25 + 16	38,80	100,00	12,80	7,743	0,93	28,71	6,60
68	69	FVV 4x6	8,10	60,00	12,80	7,715	0,93	14,23	6,75

ANEXO 3 – TRÂNSITO DE ENERGIA DO CIRCUITO 1 – ALTERADO

Nó i	Nó j	Equipamento	Comprimento	Limite	Corrente	Potência	Tensão	Perdas	dU
			m	Máx A	Máxima A	kW	miníma nó j pu	W	%
0	1	LXS 4x50 + 16	14,50	150,00	36,40	23,540	1,00	46,06	0,18
1	2	LXS 4x50 + 16	20,60	150,00	30,70	19,838	1,00	46,76	0,40
1	3	LXS 4x50 + 16	32,50	150,00	10,70	6,908	1,00	9,00	0,30
2	4	LXS 4x50 + 16	15,20	150,00	3,30	2,125	1,00	0,40	0,42
2	5	LXS 4x50 + 16	61,10	150,00	29,60	19,053	0,99	128,51	1,03
3	6	LXS 2x16	9,90	75,00	2,50	1,605	1,00	0,44	0,33
3	7	LXS 4x50 + 16	45,00	150,00	0,00	0,000	1,00	0,00	0,30
3	8	LXS 4x50 + 16	23,40	150,00	9,90	6,359	1,00	5,51	0,38
4	9	VV 2x2.5	2,20	27,00	0,80	0,535	1,00	0,04	0,43
4	10	LXS 4x50 + 16	21,70	150,00	3,00	1,955	1,00	0,48	0,44
5	11	LXS 4x50 + 16	32,80	150,00	28,30	18,138	0,99	63,38	1,35
5	12	LXS 2x16	9,50	75,00	2,50	1,605	0,99	0,43	1,05
5	13	VV 2x2.5	16,30	27,00	2,50	1,607	0,99	2,76	1,18
7	14	LXS 4x50 + 16	41,70	150,00	0,00	0,000	1,00	0,00	0,30
8	15	XS 2x6	9,00	55,00	2,50	1,605	1,00	0,63	0,42
8	16	LXS 4x50 + 16	17,70	150,00	9,00	5,799	1,00	3,47	0,44
10	17	LXS 4x50 + 16	21,80	150,00	3,00	1,955	1,00	0,49	0,46
11	18	LXS 4x50 + 16	22,80	150,00	27,70	17,681	0,98	42,16	1,57
11	19	LXS 2x16	15,80	75,00	2,50	1,605	0,99	0,72	1,39
14	20	LXS 4x50 + 16	38,20	150,00	0,00	0,000	1,00	0,00	0,30

Cadastro de redes de distribuição em baixa tensão e projeto de substituição de condutores nus por cabos de torçada

16	21	VV 2x2.5	10,30	27,00	0,80	0,535	1,00	0,19	0,47
16	22	LXS 4x50 + 16	25,50	150,00	8,80	5,662	1,00	4,77	0,52
17	23	LXS 2x16	4,70	75,00	0,80	0,535	1,00	0,02	0,47
17	24	VV 2x2.5	1,40	27,00	2,50	1,604	1,00	0,23	0,48
17	25	LXS 4x50 + 16	15,40	150,00	0,80	0,535	1,00	0,03	0,47
18	26	XS 2x6	3,40	55,00	2,50	1,604	0,98	0,25	1,58
18	27	LXS 4x50 + 16	43,80	150,00	27,10	17,246	0,98	77,34	1,98
20	28	LXS 4x50 + 16	85,20	150,00	0,00	0,000	1,00	0,00	0,30
22	29	LXS 2x16	21,50	75,00	2,50	1,605	0,99	0,96	0,57
22	30	LXS 2x16	9,20	75,00	2,50	1,605	1,00	0,41	0,54
22	31	LXS 4x50 + 16	16,10	150,00	7,00	4,488	0,99	1,90	0,56
25	32	LXS 2x16	3,30	75,00	0,00	0,000	1,00	0,00	0,47
25	33	LXS 4x50 + 16	16,20	150,00	0,80	0,535	1,00	0,03	0,47
27	34	LXS 4x50 + 16	48,30	150,00	27,10	17,169	0,98	85,33	2,43
28	35	LXS 4x50 + 16	46,70	150,00	0,00	0,000	1,00	0,00	0,30
29	36	XS 2x10	5,60	70,00	2,50	1,604	0,99	0,23	0,58
31	37	VV 2x6	2,30	60,00	2,50	1,604	0,99	0,15	0,56
31	38	LXS 4x50 + 16	39,40	150,00	6,00	3,862	0,99	3,44	0,64
33	39	VV 2x2.5	6,30	27,00	0,80	0,535	1,00	0,12	0,49
34	40	LXS 4x50 + 16	39,10	150,00	14,10	8,919	0,97	18,80	2,62
34	41	LXS 4x50 + 16	53,60	150,00	20,00	12,596	0,97	51,65	2,80
35	42	LXS 4x50 + 16	89,10	150,00	0,00	0,000	1,00	0,00	0,30
38	43	XS 2x6	19,60	55,00	2,50	1,606	0,99	1,37	0,71
38	44	LXS 5x16	30,60	75,00	5,00	3,192	0,99	5,45	0,79
40	45	LXS 4x50 + 16	40,10	150,00	14,10	8,900	0,97	19,28	2,82
41	46	LXS 2x16	1,30	75,00	5,10	3,209	0,97	0,24	2,81
41	47	LXS 4x50 + 16	57,70	150,00	18,40	11,544	0,97	47,08	3,17
42	48	LXS 4x50 + 16	104,60	150,00	0,00	0,000	1,00	0,00	0,30
44	49	LXS 2x16	15,20	75,00	2,50	1,605	0,99	0,68	0,83

Cadastro de redes de distribuição em baixa tensão e projeto de substituição de condutores nus por cabos de torçada

44	50	XS 2x10	10,70	70,00	2,50	1,605	0,99	0,45	0,81
44	51	LXS 2x16	5,10	75,00	2,50	1,604	0,99	0,23	0,80
45	52	LXS 4x50 + 16	42,40	150,00	14,10	8,881	0,97	20,35	3,03
47	53	LXS 4x50 + 16	31,30	150,00	18,40	11,497	0,97	25,58	3,37
48	54	LXS 4x50 + 16	30,40	150,00	0,00	0,000	1,00	0,00	0,30
52	55	VAV 4x10	2,30	80,00	2,60	1,604	0,97	0,10	3,03
52	56	LXS 5x16	37,40	75,00	13,40	8,410	0,97	48,24	3,52
53	57	LSVAV 4x16	2,70	90,00	18,00	11,236	0,97	6,23	3,42
53	58	LXS 2x16	36,00	75,00	0,00	0,000	0,97	0,00	3,37
53	59	LXS 2x16	69,00	75,00	1,30	0,820	0,97	0,86	3,46
56	60	LXS 4x25 + 16	41,90	100,00	13,40	8,362	0,96	33,94	3,87
59	61	LXS 2x16	47,60	75,00	0,90	0,535	0,97	0,25	3,50
59	62	XS 2x10	8,60	70,00	0,90	0,535	0,97	0,04	3,47
60	63	LXS 4x25 + 16	50,40	100,00	13,40	8,328	0,96	40,80	4,30
63	64	LXS 4x25 + 16	54,60	100,00	13,40	8,287	0,95	44,26	4,76
64	65	LXS 4x25 + 16	27,10	100,00	13,40	8,243	0,95	21,96	4,99
65	66	LXS 4x25 + 16	30,70	100,00	13,40	8,221	0,95	24,84	5,24
66	67	LXS 4x25 + 16	38,80	100,00	12,70	7,742	0,94	28,08	5,55
66	68	LXS 2x16	23,60	75,00	2,60	1,605	0,95	1,17	5,30
67	69	FVV 4x6	8,10	60,00	12,70	7,714	0,94	13,91	5,70

ANEXO 4 – TRÂNSITO DE ENERGIA DO CIRCUITO 2 – ORIGINAL

Nó i	Nó j	Equipamento	Comprimento	Limite	Corrente	Potência	Tensão mínima	Perdas	dU
				Máx	Máxima		nó j		
				m	A	A	kW	pu	W
0	1	LXS 4x50 + 16	36,30	150,00	35,00	22,639	1,00	107,02	0,44
1	2	LXS 4x50 + 16	28,70	150,00	34,90	22,414	0,99	83,73	0,79
1	3	XS 2x10	7,80	70,00	0,80	0,535	1,00	0,04	0,45
2	4	LSVAV 4x16	8,40	90,00	2,50	1,605	0,99	0,38	0,81
2	5	LXS 4x50 + 16	26,30	150,00	33,40	21,376	0,99	70,43	1,09
2	6	LSVAV 4x16	14,20	90,00	0,80	0,535	0,99	0,07	0,80
2	7	VV 2x2.5	10,70	27,00	2,50	1,606	0,99	1,80	0,88
5	8	LXS 4x25 + 16	10,20	100,00	2,80	1,784	0,99	0,36	1,11
5	9	LXS 4x50 + 16	20,20	150,00	9,80	6,249	0,99	4,65	1,16
5	10	LXS 2x16	2,50	75,00	5,00	3,209	0,99	0,46	1,10
5	11	XS 2x10	8,30	70,00	2,50	1,605	0,99	0,35	1,11
5	12	LXS 2x16	10,50	75,00	0,80	0,535	0,99	0,05	1,10
5	13	LXS 4x50 + 16	26,30	150,00	24,50	15,656	0,99	37,95	1,31
8	14	Cu 3x6	18,40	51,00	2,50	1,607	0,99	1,31	1,18
8	15	Cu 2x6	10,10	51,00	0,80	0,535	0,99	0,08	1,12
9	16	Cu 5x10	15,00	90,00	9,80	6,244	0,99	9,64	1,30
13	17	VV 2x2.5	7,30	27,00	2,50	1,605	0,99	1,24	1,38
13	18	Cu 5x16	26,20	110,00	10,90	6,939	0,99	13,20	1,49
13	19	LXS 4x70 + 16	9,80	190,00	17,20	10,957	0,99	4,81	1,36
14	20	VV 2x2.5	10,30	27,00	2,50	1,606	0,99	1,76	1,27

Cadastro de redes de distribuição em baixa tensão e projeto de substituição de condutores nus por cabos de torçada

15	21	VV 2x2.5	6,00	27,00	0,80	0,535	0,99	0,11	1,14
16	22	VV 2x2.5	9,90	27,00	2,50	1,606	0,99	1,69	1,39
16	23	LXS 2x16	4,90	75,00	0,80	0,535	0,99	0,02	1,30
16	24	Cu 5x10	12,50	90,00	8,70	5,543	0,99	6,33	1,40
18	25	Cu 5x10	30,40	90,00	10,90	6,926	0,98	24,14	1,80
19	26	Cu 5x10	11,50	90,00	17,20	10,952	0,99	22,72	1,54
24	27	Cu 5x10	22,20	90,00	7,60	4,823	0,98	8,54	1,56
24	28	Cu 3x6	28,80	51,00	2,80	1,783	0,99	2,52	1,52
25	29	VV 2x2.5	3,90	27,00	0,80	0,535	0,98	0,07	1,81
25	30	LXS 4x70 + 16	31,60	190,00	10,50	6,643	0,98	5,78	1,88
25	31	XS 2x10	12,50	70,00	0,80	0,535	0,98	0,06	1,81
26	32	Cu 5x10	35,80	90,00	17,20	10,929	0,98	70,51	2,12
27	33	LSVAV 4x16	12,50	90,00	2,50	1,605	0,98	0,57	1,59
27	34	VV 2x2.5	8,50	27,00	0,00	0,000	0,98	0,00	1,56
27	35	LXS 4x25 + 16	23,10	100,00	6,60	4,213	0,98	4,58	1,65
28	36	LXS 2x16	5,60	75,00	0,80	0,535	0,99	0,03	1,53
28	37	XS 2x10	7,60	70,00	2,50	1,605	0,99	0,32	1,54
30	38	LXS 4x70 + 16	27,10	190,00	7,10	4,484	0,98	2,27	1,93
30	39	LXS 2x16	10,80	75,00	2,50	1,605	0,98	0,50	1,91
30	40	XS 2x10	10,70	70,00	5,10	3,210	0,98	1,84	1,93
32	41	VV 2x2.5	13,80	27,00	2,50	1,607	0,98	2,39	2,24
32	42	Cu 5x10	23,60	90,00	16,40	10,381	0,98	42,51	2,48
34	43	VV 2x2.5	14,30	27,00	0,00	0,000	0,98	0,00	1,56
34	44	VV 2x2.5	18,60	27,00	0,00	0,000	0,98	0,00	1,56
35	45	LXS 2x16	9,60	75,00	2,50	1,605	0,98	0,44	1,68
35	46	LXS 4x25 + 16	33,60	100,00	5,60	3,576	0,98	4,81	1,77
38	47	LXS 2x16	17,60	75,00	2,50	1,605	0,98	0,81	1,97
38	48	LXS 4x70 + 16	27,20	190,00	6,10	3,857	0,98	1,69	1,97
42	49	Cu 3x6	18,70	51,00	2,60	1,608	0,97	1,36	2,55

Cadastro de redes de distribuição em baixa tensão e projeto de substituição de condutores nus por cabos de torçada

42	50	Cu 5x10	40,90	90,00	0,00	0,000	0,98	0,00	2,48
42	51	Cu 5x10	30,30	90,00	15,70	9,854	0,97	49,65	2,92
46	52	LXS 2x16	7,20	75,00	2,50	1,605	0,98	0,33	1,79
46	53	XS 4x10	12,20	70,00	2,50	1,605	0,98	0,52	1,80
46	54	LXS 4x50 + 16	33,20	150,00	3,40	2,146	0,98	0,92	1,81
48	55	XS 2x10	23,40	70,00	2,50	1,605	0,98	1,01	2,02
48	56	XS 2x10	3,90	70,00	2,50	1,604	0,98	0,17	1,98
48	57	LXS 4x70 + 16	40,70	190,00	3,90	2,460	0,98	1,03	2,01
49	58	Cu 3x6	26,10	51,00	0,40	0,245	0,97	0,04	2,57
49	58	LXS 4x70 + 16	27,90	190,00	2,20	1,361	0,97	0,22	2,57
51	59	Cu 5x10	28,10	90,00	14,10	8,824	0,97	37,22	3,29
51	60	LSVAV 2x16	2,40	90,00	2,60	1,604	0,97	0,11	2,93
51	61	VV 2x2.5	20,60	27,00	2,60	1,608	0,97	3,63	3,11
54	62	LXS 4x50 + 16	36,70	150,00	3,40	2,145	0,98	1,01	1,85
57	63	LXS 4x70 + 16	38,30	190,00	3,90	2,459	0,98	0,97	2,04
58	64	LSVAV 4x16	4,20	90,00	0,00	0,000	0,97	0,00	2,57
58	65	LXS 4x16	10,70	75,00	2,60	1,606	0,97	0,50	2,59
59	66	VV 2x2.5	3,90	27,00	0,00	0,000	0,97	0,00	3,29
59	67	LXS 2x16	9,60	75,00	0,00	0,000	0,97	0,00	3,29
59	68	Cu 5x10	12,90	90,00	14,10	8,787	0,97	17,09	3,46
62	69	LXS 4x50 + 16	46,20	150,00	3,40	2,144	0,98	1,28	1,91
63	70	XS 2x10	40,40	70,00	1,30	0,832	0,98	0,47	2,09
63	70	LXS 2x16	40,60	75,00	1,20	0,773	0,98	0,44	2,09
63	71	LXS 2x16	40,70	75,00	0,00	0,000	0,98	0,00	2,04
63	72	XS 2x10	13,00	70,00	2,50	1,605	0,98	0,56	2,08
65	73	VV 2x2.5	8,10	27,00	2,60	1,606	0,97	1,42	2,67
68	74	Cu 3x6	21,40	51,00	5,10	3,197	0,96	6,30	3,63
68	75	Cu 5x10	13,80	90,00	11,10	6,940	0,96	11,49	3,61
68	76	LXS 4x16	16,00	75,00	1,70	1,070	0,97	0,34	3,49

Cadastro de redes de distribuição em baixa tensão e projeto de substituição de condutores nus por cabos de torçada

69	77	LXS 4x50 + 16	30,30	150,00	3,40	2,143	0,98	0,84	1,94
70	78	XS 2x10	5,80	70,00	2,50	1,605	0,98	0,25	2,11
71	79	LXS 2x16	34,80	75,00	0,00	0,000	0,98	0,00	2,04
74	80	LXS 2x16	1,60	75,00	2,60	1,604	0,96	0,08	3,64
74	81	Cu 3x6	22,20	51,00	4,00	2,462	0,96	3,88	3,77
75	82	Cu 5x10	20,40	90,00	10,30	6,402	0,96	14,45	3,80
75	83	VV 2x2.5	3,90	27,00	2,60	1,605	0,96	0,70	3,64
76	84	LXS 2x16	12,50	75,00	1,70	1,070	0,97	0,27	3,51
77	85	LXS 4x50 + 16	41,30	150,00	3,40	2,142	0,98	1,14	1,99
79	86	LXS 2x16	39,30	75,00	0,00	0,000	0,98	0,00	2,04
81	87	XS 2x6	4,70	55,00	2,60	1,605	0,96	0,35	3,79
81	88	LXS 4x70 + 16	35,40	190,00	0,00	0,000	0,96	0,00	3,77
81	89	XS 2x6	7,80	55,00	2,60	1,605	0,96	0,58	3,80
82	90	VV 2x2.5	16,30	27,00	0,90	0,535	0,96	0,32	3,86
82	91	VV 2x2.5	2,80	27,00	2,60	1,605	0,96	0,49	3,83
82	92	Cu 5x10	26,10	90,00	9,20	5,716	0,96	14,78	4,03
85	93	LXS 4x50 + 16	35,90	150,00	0,00	0,000	0,98	0,00	1,99
85	94	LXS 4x50 + 16	35,00	150,00	3,40	2,141	0,98	0,97	2,03
88	95	LXS 4x70 + 16	40,10	190,00	0,00	0,000	0,96	0,00	3,77
92	96	Cu 5x10	15,00	90,00	6,40	3,979	0,96	4,16	4,12
92	97	VV 2x2.5	2,00	27,00	2,60	1,605	0,96	0,36	4,05
92	98	LXS 2x16	8,20	75,00	2,60	1,605	0,96	0,40	4,05
92	99	Cu 2x6	19,00	51,00	2,60	1,610	0,96	1,44	4,11
93	100	LXS 4x70 + 16	86,80	190,00	0,00	0,000	0,98	0,00	1,99
94	101	LSVAV 4x16	7,20	90,00	3,40	2,140	0,98	0,60	2,06
95	102	LXS 4x70 + 16	38,50	190,00	0,00	0,000	0,96	0,00	3,77
96	103	Cu 5x10	36,00	90,00	2,90	1,784	0,96	2,01	4,22
96	104	XS 2x6	1,40	55,00	5,20	3,209	0,96	0,42	4,13
99	105	VV 2x2.5	21,70	27,00	2,60	1,608	0,96	3,92	4,31

Cadastro de redes de distribuição em baixa tensão e projeto de substituição de condutores nus por cabos de torçada

100	106	LXS 4x70 + 16	73,10	190,00	0,00	0,000	0,98	0,00	1,99
102	107	LXS 4x70 + 16	32,30	190,00	0,00	0,000	0,96	0,00	3,77
102	108	LXS 4x70 + 16	28,60	190,00	0,00	0,000	0,96	0,00	3,77
103	109	LXS 2x16	26,10	75,00	2,60	1,606	0,96	1,27	4,28
103	110	VV 2x2.5	13,90	27,00	0,90	0,535	0,96	0,28	4,26
107	111	LXS 4x70 + 16	27,50	190,00	0,00	0,000	0,96	0,00	3,77
108	112	LXS 4x70 + 16	70,60	190,00	0,00	0,000	0,96	0,00	3,77

ANEXO 5 – TRÂNSITO DE ENERGIA DO CIRCUITO 2 – ALTERADO

Nó i	Nó j	Equipamento	Comprimento	Limite	Corrente	Potência	Tensão mínima	Perdas	
				Máx	Máxima		nó j		
			m	A	A	kW	pu	W	%
0	1	LXS 4x50 + 16	36,30	150,00	34,70	22,366	1,00	104,73	0,44
1	2	LXS 4x50 + 16	28,70	150,00	34,50	22,143	0,99	81,93	0,78
1	3	XS 2x10	7,80	70,00	0,80	0,535	1,00	0,04	0,44
2	4	LSVAV 4x16	8,40	90,00	2,50	1,605	0,99	0,38	0,80
2	5	LXS 4x50 + 16	26,30	150,00	33,00	21,107	0,99	68,85	1,08
2	6	LSVAV 4x16	14,20	90,00	0,80	0,535	0,99	0,07	0,79
2	7	VV 2x2.5	10,70	27,00	2,50	1,606	0,99	1,80	0,88
5	8	LXS 4x25 + 16	10,20	100,00	2,80	1,783	0,99	0,36	1,10
5	9	LXS 2x16	2,50	75,00	5,00	3,209	0,99	0,46	1,09
5	10	XS 2x10	8,30	70,00	2,50	1,605	0,99	0,35	1,10
5	11	LXS 2x16	10,50	75,00	0,80	0,535	0,99	0,05	1,09
5	12	LXS 4x50 + 16	26,30	150,00	24,20	15,411	0,99	36,89	1,30
5	13	LXS 4x70 + 16	22,90	190,00	9,80	6,227	0,99	3,63	1,13
8	14	LXS 4x25 + 16	19,60	100,00	2,50	1,607	0,99	0,56	1,13
8	15	LXS 2x16	11,20	75,00	0,80	0,535	0,99	0,06	1,11
12	16	VV 2x2.5	7,30	27,00	2,50	1,605	0,99	1,24	1,37
12	17	LXS 4x70 + 16	27,30	190,00	10,90	6,913	0,99	5,36	1,37
12	18	LXS 4x70 + 16	9,80	190,00	16,90	10,738	0,99	4,64	1,34
13	19	LXS 4x70 + 16	15,90	190,00	9,80	6,224	0,99	2,52	1,17
14	20	VV 2x2.5	10,30	27,00	2,50	1,606	0,99	1,76	1,22

Cadastro de redes de distribuição em baixa tensão e projeto de substituição de condutores nus por cabos de torçada

15	21	VV 2x2.5	6,00	27,00	0,80	0,535	0,99	0,11	1,12
17	22	LXS 4x70 + 16	31,80	190,00	10,90	6,908	0,99	6,24	1,46
18	23	LXS 4x70 + 16	12,90	190,00	16,90	10,733	0,99	6,10	1,39
19	24	VV 2x2.5	9,90	27,00	2,50	1,606	0,99	1,68	1,26
19	25	LXS 2x16	4,90	75,00	0,80	0,535	0,99	0,02	1,18
19	26	LXS 4x70 + 16	14,90	190,00	8,70	5,530	0,99	1,87	1,20
22	27	VV 2x2.5	3,90	27,00	0,80	0,535	0,99	0,07	1,47
22	28	LXS 4x70 + 16	31,60	190,00	10,50	6,643	0,99	5,74	1,54
22	29	XS 2x10	12,50	70,00	0,80	0,535	0,99	0,06	1,47
23	30	LXS 4x70 + 16	37,50	190,00	16,90	10,727	0,98	17,74	1,55
26	31	LXS 4x70 + 16	31,00	190,00	2,80	1,781	0,99	0,40	1,23
26	32	LXS 4x70 + 16	24,10	190,00	7,60	4,816	0,99	2,29	1,25
28	33	LXS 4x70 + 16	27,10	190,00	7,10	4,484	0,98	2,25	1,59
28	34	LXS 2x16	10,80	75,00	2,50	1,605	0,98	0,50	1,57
28	35	XS 2x10	10,70	70,00	5,10	3,210	0,98	1,83	1,59
30	36	VV 2x2.5	13,80	27,00	2,50	1,607	0,98	2,37	1,68
30	37	LXS 4x70 + 16	25,00	190,00	16,10	10,231	0,98	10,79	1,65
31	38	LXS 2x16	5,60	75,00	0,80	0,535	0,99	0,03	1,23
31	39	XS 2x10	7,60	70,00	2,50	1,605	0,99	0,32	1,24
32	40	LSVAV 4x16	12,50	90,00	2,50	1,605	0,99	0,57	1,28
32	41	VV 2x2.5	8,50	27,00	0,00	0,000	0,99	0,00	1,25
32	42	LXS 4x25 + 16	23,10	100,00	6,60	4,213	0,99	4,55	1,35
33	43	LXS 2x16	17,60	75,00	2,50	1,605	0,98	0,81	1,63
33	44	LXS 4x70 + 16	27,20	190,00	6,10	3,857	0,98	1,67	1,63
37	45	LXS 4x70 + 16	31,10	190,00	15,40	9,738	0,98	12,19	1,77
37	46	LXS 4x70 + 16	20,10	190,00	2,50	1,607	0,98	0,21	1,66
37	47	LXS 4x25 + 16	41,90	100,00	0,00	0,000	0,98	0,00	1,65
41	48	VV 2x2.5	14,30	27,00	0,00	0,000	0,99	0,00	1,25
41	49	VV 2x2.5	18,60	27,00	0,00	0,000	0,99	0,00	1,25

Cadastro de redes de distribuição em baixa tensão e projeto de substituição de condutores nus por cabos de torçada

42	50 LXS 2x16	9,60	75,00	2,50	1,605	0,99	0,44	1,37
42	51 LXS 4x25 + 16	33,60	100,00	5,60	3,576	0,99	4,78	1,46
44	52 XS 2x10	23,40	70,00	2,50	1,605	0,98	1,00	1,68
44	53 XS 2x10	3,90	70,00	2,50	1,604	0,98	0,17	1,64
44	54 LXS 4x70 + 16	40,70	190,00	3,90	2,460	0,98	1,02	1,67
45	55 LSVAV 2x16	2,40	90,00	2,50	1,604	0,98	0,11	1,77
45	56 VV 2x2.5	20,60	27,00	2,50	1,608	0,98	3,55	1,96
45	57 LXS 4x70 + 16	28,70	190,00	13,80	8,745	0,98	9,09	1,87
46	58 LXS 4x70 + 16	27,90	190,00	2,50	1,606	0,98	0,30	1,68
51	59 LXS 2x16	7,20	75,00	2,50	1,605	0,99	0,33	1,48
51	60 XS 4x10	12,20	70,00	2,50	1,605	0,99	0,52	1,49
51	61 LXS 4x50 + 16	33,20	150,00	3,40	2,146	0,99	0,91	1,50
54	62 LXS 4x70 + 16	38,30	190,00	3,90	2,459	0,98	0,96	1,70
57	63 VV 2x2.5	3,90	27,00	0,00	0,000	0,98	0,00	1,87
57	64 LXS 2x16	9,60	75,00	0,00	0,000	0,98	0,00	1,87
57	65 LXS 4x70 + 16	14,80	190,00	13,80	8,736	0,98	4,69	1,92
58	66 LSVAV 4x16	4,20	90,00	0,00	0,000	0,98	0,00	1,68
58	67 LXS 4x16	10,70	75,00	2,50	1,606	0,98	0,49	1,71
61	68 LXS 4x50 + 16	36,70	150,00	3,40	2,145	0,99	1,01	1,55
62	69 XS 2x10	40,40	70,00	1,30	0,832	0,98	0,47	1,75
62	69 LXS 2x16	40,60	75,00	1,20	0,773	0,98	0,43	1,75
62	70 LXS 2x16	40,70	75,00	0,00	0,000	0,98	0,00	1,70
62	71 XS 2x10	13,00	70,00	2,50	1,605	0,98	0,56	1,73
65	72 LXS 4x16	16,00	75,00	1,70	1,070	0,98	0,33	1,94
65	73 LXS 4x70 + 16	23,50	190,00	5,00	3,188	0,98	0,99	1,94
65	74 LXS 4x70 + 16	14,70	190,00	10,90	6,910	0,98	2,92	1,96
67	75 VV 2x2.5	8,10	27,00	2,50	1,606	0,98	1,39	1,78
68	76 LXS 4x50 + 16	46,20	150,00	3,40	2,144	0,98	1,27	1,60
69	77 XS 2x10	5,80	70,00	2,50	1,604	0,98	0,25	1,77

Cadastro de redes de distribuição em baixa tensão e projeto de substituição de condutores nus por cabos de torçada

70	78	LXS 2x16	34,80	75,00	0,00	0,000	0,98	0,00	1,70
72	79	LXS 2x16	12,50	75,00	1,70	1,070	0,98	0,26	1,96
73	80	LXS 2x16	1,60	75,00	2,50	1,604	0,98	0,08	1,95
73	81	LXS 4x70 + 16	23,30	190,00	3,90	2,458	0,98	0,59	1,97
74	82	VV 2x2.5	3,90	27,00	2,50	1,605	0,98	0,67	1,99
74	83	LXS 4x25 + 16	21,30	100,00	10,10	6,380	0,98	9,77	2,09
76	84	LXS 4x50 + 16	30,30	150,00	3,40	2,143	0,98	0,83	1,64
78	85	LXS 2x16	39,30	75,00	0,00	0,000	0,98	0,00	1,70
81	86	XS 2x6	4,70	55,00	2,50	1,605	0,98	0,34	1,99
81	87	LXS 4x70 + 16	35,40	190,00	0,00	0,000	0,98	0,00	1,97
81	88	XS 2x6	7,80	55,00	2,50	1,605	0,98	0,56	2,00
83	89	VV 2x2.5	16,30	27,00	0,80	0,535	0,98	0,31	2,14
83	90	VV 2x2.5	2,80	27,00	2,50	1,605	0,98	0,48	2,12
83	91	LXS 4x70 + 16	26,90	190,00	9,00	5,699	0,98	3,65	2,15
84	92	LXS 4x50 + 16	41,30	150,00	3,40	2,142	0,98	1,13	1,68
87	93	LXS 4x70 + 16	40,10	190,00	0,00	0,000	0,98	0,00	1,97
91	94	VV 2x2.5	2,00	27,00	2,50	1,605	0,98	0,35	2,17
91	95	LXS 2x16	8,20	75,00	2,50	1,605	0,98	0,38	2,17
91	96	LXS 4x70 + 16	16,20	190,00	6,30	3,974	0,98	1,07	2,18
91	97	LXS 4x25 + 16	19,30	100,00	2,60	1,609	0,98	0,56	2,18
92	98	LXS 4x50 + 16	35,90	150,00	0,00	0,000	0,98	0,00	1,68
92	99	LXS 4x50 + 16	35,00	150,00	3,40	2,141	0,98	0,96	1,72
93	100	LXS 4x70 + 16	38,50	190,00	0,00	0,000	0,98	0,00	1,97
96	101	XS 2x6	1,40	55,00	5,10	3,209	0,98	0,41	2,19
96	102	LXS 4x70 + 16	38,30	190,00	2,80	1,783	0,98	0,51	2,20
97	103	VV 2x2.5	21,70	27,00	2,60	1,608	0,98	3,77	2,38
98	104	LXS 4x70 + 16	86,80	190,00	0,00	0,000	0,98	0,00	1,68
99	105	LSVAV 4x16	7,20	90,00	3,40	2,140	0,98	0,59	1,75
100	106	LXS 4x70 + 16	32,30	190,00	0,00	0,000	0,98	0,00	1,97

Cadastro de redes de distribuição em baixa tensão e projeto de substituição de condutores nus por cabos de torçada

100 107LXS 4x70 + 16	28,60	190,00	0,00	0,000	0,98	0,00	1,97
102 108LXS 2x16	26,10	75,00	2,50	1,605	0,98	1,21	2,27
102 109VV 2x2.5	13,90	27,00	0,80	0,535	0,98	0,27	2,24
104 110LXS 4x70 + 16	73,10	190,00	0,00	0,000	0,98	0,00	1,68
106 111LXS 4x70 + 16	27,50	190,00	0,00	0,000	0,98	0,00	1,97
107 112LXS 4x70 + 16	70,60	190,00	0,00	0,000	0,98	0,00	1,97
