



**Projeto com Otimização no
Dimensionamento de Solução
Fotovoltaica e Grupo Gerador numa
Unidade Industrial com Cargas
Prioritárias**

Francisco Garcia Carneiro

VERSÃO FINAL

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Professor Doutor Helder Filipe Duarte Leite

Coorientador: Engenheiro José Manuel Freitas

19 de Fevereiro de 2020

Resumo

A grande necessidade de energia elétrica e a constante atualização da legislação e, consequentemente, das instalações de utilização (IU) de energia elétrica levou à conceção de uma dissertação que avalie os processos atuais para apresentação de um projeto e as etapas que o compõe. Aliada à natureza do projeto, e aos procedimentos para a sua execução e exploração, surge a necessidade diminuir os custos associados ao consumo energético das IU, com recursos que ao mesmo tempo permitam a diminuição da pegada carbónica provocada pelas instalações industriais.

Esta dissertação tem como finalidade apresentar os procedimentos da realização de um projeto, execução e exploração de uma IU de serviço particular no que toca à legislação em Portugal, como também avaliar as várias etapas que devem ser incluídas num projeto de uma instalação alimentada em média tensão. Serão avaliadas várias etapas como:

- Elaboração de projeto de Postos de Transformação e Seccionamento
- Elaboração de projeto da Rede de distribuição de energia em Baixa Tensão
- Elaboração de projeto da Rede de alimentação interna de energia em baixa tensão, com várias fases associadas
- Integração de carregadores de veículos elétricos
- Integração de um gerador de serviço de socorro

Este documento servirá como um guia à construção de projetos de instalações elétricas, focado numa instalação elétrica de utilização de uma unidade industrial.

Numa segunda parte, passar-se-á para o dimensionamento e otimização de uma unidade de produção para autoconsumo (UPAC), onde mais uma vez irá incidir no estudo da legislação atual em vigor e verificar os pressupostos para a realização um projeto com otimização, de modo a reduzir os custos numa IU.

Como complementaridade e para otimizar as etapas de projeto, irão ser apresentadas algumas ferramentas que foram criadas: i) ferramenta que permite ajudar no dimensionamento de canalizações elétricas de Baixa Tensão; ii) ferramenta de dimensionamento de canalizações elétricas de instalações fotovoltaicas; e iii) ferramenta para otimização de sistemas fotovoltaicos.

Abstract

The great need for electricity and the constant updating of the legislation and, consequently, of the installations for the use of electricity led to the conception of a dissertation that evaluates the current processes for presenting a project and the stages that compose it. Allied to the nature of the project, and the procedures for its execution and development, there is a need to reduce the costs associated with UI energy consumption, while at the same time reducing the carbon footprint of industrial facilities.

Therefore, this dissertation aims to present the procedures for the project, execution and development of a particular service IU in Portugal, as well as to evaluate the various steps that should be included in a project of a privately powered service facility at medium voltage. The stages to be evaluated are:

- Drafting of Transformation and Sectioning Station
- Drafting of low voltage distribution network
- Drafting of the internal distribution network, with several associated phases.
- Integration of electric vehicle chargers
- Integration of a rescue service generator

This document will serve as a guide to the construction of electrical installation projects, specifically electrical installations using an industrial facility. In a second part, it will be discussed the sizing and optimization of a self-consumption production unit, where it will once again focus on the study of current legislation in force and verify the assumptions to execute an optimized project, in order to reduce the costs short in one UI.

As a complement and to optimize the project steps, some tools will be created: i) tool that allows to help in the sizing of low voltage pipes; ii) plumbing sizing tool for photovoltaic installations; and iii) tool for photovoltaic systems optimization.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer às duas instituições, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e ao Instituto Superior de Engenharia do Porto, pelo qual passei e onde adquiri conhecimentos que hoje me permitem realizar a presente dissertação. Neste agradecimento incluo todos os professores e colegas que colaboraram e incentivaram neste percurso.

Em seguida, um agradecimento do professor Doutor Hélder Leite que me orientou ao longo deste percurso final. Agradecer todos conselhos e dicas que ajudaram na construção da dissertação.

Agradecer em particular ao Engenheiro José Freitas, que permitiu que esta dissertação se realizasse e que fosse sempre a bom porto.

O agradecimento final será a todos os que estiveram sempre comigo. Aos pais, ao irmão, à namorada, à família e amigos que sempre motivaram, sempre estiveram lá em todos os momentos e possibilitam que todos os sonhos sejam sempre alcançáveis.

Francisco Garcia Carneiro

*“Fui à Fonte Nova, não achei.
Fui ao Salgueiros ”*

Fiarresgas

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Contextualização e Motivação	1
1.2	Objetivos da dissertação	2
1.3	Estrutura da Dissertação	3
2	Revisão sobre a Legislação aplicável e Conceitos de Projetos de Instalações de Utilização	5
2.1	Revisão sobre a Legislação aplicável em 2020	5
2.1.1	Projeto, execução e exploração de Instalações elétricas de Serviço Particular	5
2.1.2	Carregadores de veículos elétricos: legislação 2020	15
2.1.3	Contextualização e Legislação sobre Unidades de Produção para Auto-consumo	18
2.1.4	Funções da Direção Geral de Energia e Geologia, Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, Entidade Nacional para o Setor Energético . .	23
2.1.5	Funções dos Técnicos Responsáveis e Entidades Responsáveis	25
2.2	Documentação e conceitos gerais relativos a Projetos de Instalações de Utilização	28
2.2.1	Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e Seccionamento (RSSPTS)	28
2.2.2	Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Elétrica e Regulamento da Rede de Distribuição	29
2.2.3	Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão	29
2.2.4	Outra regulamentação. Normas Operadora de Rede Distribuição Portuguesa (EDP Distribuição S.A.), Normas Nacionais e Internacionais . . .	30
2.2.5	Influências externas e seleção de equipamentos elétricos	30
2.2.6	Proteção Contra Contatos Diretos e Indiretos	31
2.2.7	Esquemas de ligação à terra: TN, TT e TI	34
2.2.8	Sistemas de condução de energia elétrica: Tipos de cabo, constituição e utilização	38
2.2.9	Sistema de Proteção	43
2.2.10	Formas de distribuição dos cabos de alimentação, caminhos de cabos . .	48
2.2.11	Cálculo e dimensionamento de instalações de Baixa Tensão	50
2.3	Conclusão	58
3	Projeto de Unidade Industrial de Serviço Particular	59
3.1	Postos de transformação e Postos de Seccionamento	59
3.1.1	Postos de Transformação	60
3.1.2	Transformadores a Utilizar	61
3.1.3	Tipos de Celas de Média Tensão	61

3.1.4	Quadro Geral de Baixa Tensão	62
3.1.5	Esquema de ligação à terra num Posto de transformação	63
3.1.6	Projeto de um Posto de Transformação	63
3.1.7	Exemplo do dimensionamento da impedância a montante e impedância do transformador	65
3.1.8	Cabo Média tensão	65
3.2	Rede de Distribuição de Energia em Baixa Tensão	66
3.3	Rede de Baixa Tensão dentro da Instalação de Utilização	74
3.3.1	Quadros elétricos	75
3.3.2	Iluminação Normal: Projeto de Iluminação Artificial	79
3.3.3	Iluminação Segurança	86
3.3.4	Alimentação de tomadas e força motriz	89
3.3.5	Modo de instalação e canalizações elétricas	90
3.3.6	Dimensionamento de canalizações e proteções elétricas	91
3.4	Projeto de Carregadores de Veículos elétricos	93
3.4.1	Classificação dos locais	94
3.4.2	Número mínimo de pontos de carregamento a considerar	94
3.4.3	Alimentação dos pontos de carregamento	95
3.4.4	Sistema de distribuição	96
3.4.5	Dimensionamento de canalizações	96
3.5	Dimensionamento de um gerador mecânico de socorro numa indústria	97
3.5.1	Dimensionamento do gerador	98
3.5.2	Dimensionamento da canalização elétrica	99
3.5.3	Inversor de rede (RESP e Gerador)	99
3.5.4	Condições técnicas	100
3.5.5	Guia de terras aplicado aos geradores	101
3.6	Conclusão	101
4	Ferramenta de dimensionamento de canalizações elétricas de Baixa Tensão	103
4.1	Folha 'Página Inicial'	104
4.2	Folha 'Rede Montante e Transformador'	104
4.3	Folha 'Criar a rede de distribuição e quadros elétricos'	105
4.4	Folha 'Rede de distribuição e quadros elétricos'	106
4.5	Folha 'Icc'	110
4.6	Folha 'Rede BT interna'	112
4.7	Conclusão	113
5	Unidade de Produção para Autoconsumo, Dimensionamento e Otimização	115
5.1	Funcionamento dos sistemas fotovoltaicos	115
5.2	Projeto de uma unidade fotovoltaica: segundo o Decreto-Lei nº 162/2019	117
5.2.1	Otimização da produção de um sistema fotovoltaico	117
5.2.2	Dimensionamento de canalizações e Ferramenta de dimensionamento	132
5.2.3	Desenho técnico do sistema fotovoltaico	134
5.2.4	Sistema de contagem elétrica em sistemas Fotovoltaicos	135
5.2.5	Solução para aumentar a eficiência de continuidade de serviço de uma instalação de utilização	135
5.3	Conclusão	137

6	Conclusões e Trabalho Futuro	139
6.1	Conclusões do trabalho final	139
6.2	Possíveis Desenvolvimentos	139
	Referências	143
A	Anexos	149
A.1	Anexos Capítulo 2	149
A.2	Anexos Capítulo 3	150
A.3	Anexos Capítulo 5	153

Lista de Figuras

1.1	Preços da eletricidade para utilizadores domésticos (azul) e industriais (laranja) (Euro/Ecu), 2019, Dados: www.PorData.pt	2
2.1	Procedimentos para o licenciamento de instalações elétricas de serviço particular	8
2.2	Requisitos documentais que demonstrarão a conformidade com as regras que devem ser obtidos para ligação à RESP e entrada em exploração	14
2.3	Fases para poder se ligar a RESP. Diagrama obtido para as instalações de MT, caso em estudo,” Manual de ligações à rede elétrica de serviço público, EDP distribuição”	15
2.4	Atividades legisladas no DL nº 90/2014 no que toca à mobilidade elétrica. [Mobilidade elétrica MOBIe]	16
2.5	Consumo energético em Portugal. Gráfico retirado da página da Associações de Energia Renováveis (APREN) que mostra a produção de energia em 2019” . . .	18
2.6	Procedimento para o registo de uma unidade de produção. Imagem retirada de um documento da DGEG sobre o DL nº153/2014 "Perguntas e Respostas Frequentes"	20
2.7	Procedimento para o registo de uma UPAC segundo o Decreto Lei nº162/2019 . .	21
2.8	Passos de ligação à RESP de uma UPAC. Figura obtida a partir do ” Manual de ligações à rede elétrica de serviço público, EDP Distribuição S.A.”	23
2.9	Entidades inspetoras. Imagem obtida no site da Direção Geral de Energia e Geologia, Janeiro 2020	28
2.10	Representação de um equipamento de classe 0	32
2.11	Representação de um equipamento de classe I. O símbolo no canto inferior esquerdo representa um equipamento de classe I	33
2.12	Representação de um equipamento de classe II. O símbolo no canto inferior esquerdo representa um equipamento de classe II	33
2.13	Símbolo utilizado para definir equipamento com isolamento classe III	34
2.14	Tipos de esquemas de ligação à terra. Esquemas de ligação à Terra em baixa tensão, Hager	34
2.15	Esquema TT. Imagem obtida a partir da documentação Hager sobre “Esquemas de Ligação à terra”, subcapítulo “Esquema TT”	35
2.16	Esquema TN. : imagem obtida a partir da documentação Hager sobre “Esquemas de Ligação à terra”, subcapítulo “Esquema TN”	36
2.17	Representação do esquema TN-C e TN-S. Imagem obtida a partir da documentação Hager sobre “Esquemas de Ligação à terra”, subcapítulo “Esquema TN” . . .	37
2.18	Esquema IT. Resistência de valor elevado superior a 1000 ohm. Imagens obtidas a partir da documentação Hager sobre “Esquemas de Ligação à terra”, subcapítulo “Esquema IT”	37

2.19	1 alma; 2 isolamento; 3 bainha interior; 4 fios de continuidade; 5 Ecrã(blindagem); 6 bainha exterior. Imagem obtida a partir da documentação Infortiel "Condutores e cabos, parte II"	38
2.20	Imagem da esquerda cabo monocondutor e na imagem da direita está representado um cabo multicondutor "Cabos de Energia", J. Neves dos Santos	39
2.21	Imagem representativa de um fusível, com o fio condutor que funde quando ultrapassado o In. Imagem obtida a partir de "Eletrotecnia Básica: Aparelhos de Proteção", Voltimum	44
2.22	Imagem de um fusível, com o fio condutor que funde quando ultrapassado o In. Imagem obtida a partir de "Eletrotecnia Básica: Aparelhos de Proteção", Voltimum	44
2.23	F curva de atuação do fusível e C curva de fadiga térmica do cabo. Imagem criada a partir das RSRDEEBT e do documento Instalações Elétricas, 2006, Carlos Coelho	45
2.24	Imagem de um disjuntor comum monopolar.	46
2.25	Curva dos disjuntores: Principais características, Enio Takafashi, 22 Janeiro 2018	47
2.26	F: curva de atuação do fusível e C curva de fadiga térmica do cabo. Imagem criada a partir das RSRDEEBT e do documento Instalações Elétricas, 2006, Carlos Coelho	47
2.27	Quadro 52 G das RTIEBT com os modos de instalação dos cabos	49
2.28	Quedas de tensão a cumprir no dimensionamento de canalizações. Quadro 52O RTIEBT	54
2.29	Seletividade total e seletividade parcial: imagem obtida Voltimum: Protecção das instalações elétricas contra sobreintensidades, Dez 2012	57
2.30	Abaco de atuação dos fusíveis em relação à corrente de curto circuito. "Proteção e Coordenação – Dimensionamento da Proteção" https://www.feis.unesp.br/	58
3.1	Tipos de Postos de Transformação	60
3.2	Tipos de transformadores, montagem e utilização. Imagem retirada da norma DMA-C52-125/N	61
3.3	Esquema tipo de um PTC de 15 kV. Em vez do uso do seccionador poderá ser usado um interruptor-seccionador. O mesmo acontece para o disjuntor que pode ser usado um fusível. Imagem retirada do documento Apontamentos para projeto de instalações elétricas II, L.Sousa Martins	62
3.4	Áreas da IU projetada que são alimentadas pela rede de distribuição de BT	67
3.5	Traçado da rede de distribuição BT e dos armários	69
3.6	Esquema do armário de distribuição AD1.2	74
3.7	Classes de isolamento de um quadro elétrico, segundo o quadro 47G da RTIEBT	76
3.8	Representação da colocação dos quadros elétricos na instalação. Desenho em Autocad com escala 1/200	77
3.9	Exemplo de uma parte do QE, em que é possível ver o interruptor diferencial com ligação em TT e os disjuntores de proteção de cada circuito. Imagem retirada das RTIEBT	77
3.10	Exemplo de uma parte do QE, em que é possível ver o interruptor diferencial com ligação em TT e os disjuntores de proteção de cada circuito	78
3.11	Projeto com a utilização de uma botoneira com uma bobina MX	79
3.12	Representação do espectro luminoso das lâmpadas de baixa pressão de sódio. Imagem obtida do Lighting Technical guide, Shneider Eletric.	81

3.13	Representação do espectro luminoso das LED. Abcissa - wavelength (nm) e ordenada: relative power (%). Imagem obtida do Lighting Technical guide, Shneider Electric.	82
3.14	Tipos de instalação das luminárias. Figuras obtidas lumsearch.com	82
3.15	Representação em autocad do tipo de estrutura que suporta o teto e onde serão instaladas as luminárias (blocos amarelos juntos à estrutura)	84
3.16	Imagens do DiaLux EVO. Imagens da esquerda em 3D e imagem da direita vista em planta	85
3.17	Imagem em autocad do projeto elétrico final de iluminação com a separação do pavilhão em 4 quadrantes	86
3.18	Exemplo do projeto de iluminação ambiente realizado para iluminação ambiente em autocad	87
3.19	Exemplo do projeto de iluminação de circulação realizado para iluminação ambiente em autocad. Imagens retiradas do documento "Iluminação de Segurança", Cooper Safety.	88
3.20	Representação esquemática da utilização do telecomando em vários quadros elétricos. Imagem retiradas do documento "Iluminação de Segurança", Cooper Safety.	88
3.21	projeto de TUGs na sala de reuniões	89
3.22	Exemplo do projeto de alimentação de equipamento. Imagem da direita, alimentação de equipamentos fixos, e na imagem da esquerda, alimentação através de tomadas industriais	90
3.23	Tipos de soluções de pontos de carregamento consoante o local a instalar. Tabela do "Guia técnico das instalações elétricas para alimentação de veículos elétricos".	95
3.24	Quadro 2 do guia técnico, Escalões de Potência para o dimensionamento de instalações de VE. Tabela do "Guia técnico das instalações elétricas para alimentação de veículos elétricos".	96
3.25	Desenho do projeto de carregadores de VE. Os equipamentos a tracejado são equipamentos de contagem, fusíveis, entre outros equipamentos que podem ser adicionados para melhor controlo e proteção.	97
3.26	Tipo de função dos geradores: www.pramac.com	98
3.27	Projeto do inversor de rede para o pavilhão de logística que irá ser ligado ao QE	100
3.28	Representação das terras de neutro e massas de um gerador. Imagem obtida a partir do documento "fontes centrais constituídas por geradores acionados por motores de combustão"	101
4.1	Extrato da ferramenta de dimensionamento, Folha "Página Inicial" para consulta de dados	104
4.2	Extrato da folha "rede a montante".	105
4.3	rede de armários e quadros do projeto (exemplificado como modelo na ferramenta	105
4.4	Boneco que possibilita criar várias combinações de redes com armários e quadros. Do lado direito são apresentadas ampliações que mostra o modo como se pode "ligar" ou "desligar" o objeto	106
4.5	Diagrama de funcionamento da Folha rede de distribuição e quadros elétricos	107
4.6	Extrato da folha "Rede de Distribuição com informações sobre as canalizações da rede de distribuição. Ampliações das listas com dados predefinidos que otimizam o tempo do utilizador. Nos cabeçalhos existem hiperligações que permitem ao utilizador saltar para as folhas informativas.	108
4.7	Base de dados relativa aos cabos com as informações utilizadas pela ferramenta	108

4.8	Avaliação da condição de aquecimento	109
4.9	Avaliação da condição de sobre carga. Do lado direito tem uma ampliação das listas dos aparelhos de proteção e das correntes nominais que podem ser atribuídas de acordo com dados padrão	109
4.10	Verificação da queda de tensão por troço e total. Ainda é fornecido uma informação adicional que é o cálculo do tubo de proteção	110
4.11	Diagrama de funcionamento da folha Icc	111
4.12	Avaliação da condição de curto circuito e cálculo do poder de corte	112
4.13	Primeiro extrato da folha da rede de baixa tensão interna. Informação sobre as canalizações	112
4.14	Avaliação das condições de aquecimento, sobrecarga, quedas de tensão e curto circuito	113
5.1	Representação do processo fotovoltaico, imagem retirada de https://www. solsticioenergia.com/2017/08/17/como-funciona-celula-fotovoltaica/	116
5.2	Local onde será realizado o projeto fotovoltaico. Locais assinalados a verde são as zonas onde podem ser instalados os painéis. Imagem retirada do Google Earth. Lado direito: verificação das áreas disponíveis para instalação de painéis, bem como o número máximo de painéis	118
5.3	Lado esquerdo: trajetória do sol em Portugal. Lado direito: Posição do sol nas épocas de verão e inverno. SI solstício de inverno e SV solstício de verão. Imagens obtidas a partir do documento "Movimento Anual do Sol e as Estações do Ano"	118
5.4	Caraterísticas físicas apresentada pelo painel. Imagem do Datasheet do painel:Hanwha, Q. PEAK-G4.1	120
5.5	A eficiência do painel é de 98% no final do primeiro ano com um decréscimo de 0,6% (lado esquerdo) (Abcissa em anos e ordenadas eficiência em %). Lado direito: Eficiência (%) aumentando com o aumento da irradiância. Imagens do Datasheet do painel:Hanwha, Q. PEAK-G4.1	121
5.6	Curva caraterística elétrica com o ponto de funcionamento máximo do painel. Energia Solar e Fotovoltaica - A célula FV,C.Monteiro	121
5.7	Inversor Sunny Tripower. Do lado direito está representada a curva de eficiência do painel em relação à potência a que está a funcionar. No canto inferior direito temos as tensões mínima, máxima e ótima. Imagem do Datasheet do inversor: SMA, Sunny Trypower 25kW	123
5.8	Funcionamento da folha de otimização no dimensionamento	125
5.9	Excerto da tabela para verificação dos valores ótimos	126
5.10	Estudo de consumos mensal para os 4 períodos	128
5.11	Estudo de produção da UPAC e dos consumo pós instalação da UPAC	128
5.12	Inserção dos dados de investimento e variáveis como perda de ineficiência ou inflação do custo	129
5.13	Exemplo de investimentos (negativo) e lucros (positivo) de um projeto ao longo dos anos.. . . .	130
5.14	"Boneco"de inversores e armários de distribuição da rede de fotovoltaico	133
5.15	Informação sobre painéis a colocar na ferramenta na folha DC	133
5.16	Rede de dimensionamento DC	134
5.17	Projeto da instalação da UPAC fotovoltaica de Sketchup	134
5.18	Projeto da instalação da UPAC fotovoltaica de Sketchup	135
5.19	Contagem de energia de sistemas ligados à RESP. Imagem do Manual de ligação à rede de serviço publico.	135

5.20	Diagrama de funcionamento do sistema. Imagem realizada a partir do documento Eccoengenharia “Como os geradores diesel funcionam em sistemas híbridos?, Janeiro 2019	136
5.21	Diagrama de funcionamento	137
A.1	Valores de resistências por secção à temperatura ambiente para condutores de cobre. “TABELAS, REGRAS E DADOS DIVERSOS”, J.Neves dos Santos.	149
A.2	Valores de resistências por secção à temperatura ambiente para condutores de alumínio. TABELAS, REGRAS E DADOS DIVERSOS”, J.Neves dos Santos.	149
A.3	Valores de reactância por secção. TABELAS, REGRAS E DADOS DIVERSOS”, J.Neves dos Santos.	150
A.4	Coefficientes de correção da resistência, quadro 6 “TABELAS, REGRAS E DADOS DIVERSOS”, J.Neves dos Santos	150
A.5	Rede de distribuição da instalação de logística	151
A.6	Tamanho dos fusíveis NH para armários de distribuição	151
A.7	Avaliação dos ambiente internos da instalação	152
A.8	Avaliação dos ambiente internos da instalação sanitária	152
A.9	Avaliação quanto à utilização da instalação	153
A.10	Avaliação quanto à utilização da instalação sanitárias	153
A.11	Avaliação quanto à construção do edifício da instalação	153
A.12	Relatório Helioscope 1	154
A.13	Relatório Helioscope 1	154
A.14	Relatório Helioscope 2	155
A.15	Relatório Helioscope 3	155
A.16	Relatório Helioscope 4	156
A.17	Ciclo semana opcional para clientes MT. Período de inverno: janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro. Período de verão os outros seis meses. [ERSE (Dez 2014), TARIFAS DE VENDA A CLIENTES FINAIS DO SEP EM MT E BTE]	156
A.18	Dados do consumo antes e depois da instalação da UPAC	157
A.19	Dados de consumo ao fim de semana. Energia que será diretamente injetada na rede 157	
A.20	Variação dos ganhos do cliente. Pode ser observado o ano em que se passa a ter lucro (payback)	157
A.21	Vários dados financeiros do projeto fotovoltaico para 25 anos	158

Lista de Tabelas

2.1	Fatores de influências externas. Tabela criada a partir das RTIEBT	30
2.2	Identificação dos códigos IP	31
2.3	Identificação dos códigos IK	31
2.4	Domínios das tensões em corrente alternada (valores eficazes). Tabela obtida a partir do Quadro 22A da RTIEBT	34
2.5	Valores de correntes diferenciais normalmente utilizados e valores de terra para uma tensão de contato de 50 V	35
2.6	Resistividade dos cabos e coeficiente de Termoresistividade, documento "Tabelas, Regras e Dados Diversos", J. Neves dos Santos	39
2.7	Dados de temperatura dos cabos consoante o tipo de isolamento. Tabela construída a partir das RTIEBT e do documento "Tabelas, Regras e Dados Diversos", J. Neves dos Santos	41
2.8	Esquema de cores convencionais em condutores monofásicos "Esquemas e diagramas", Indusmelec	42
2.9	Esquema de cores convencionais em condutores trifásicos "Esquemas e diagramas", Indusmelec	43
2.10	Valores da corrente convencional de funcionamento I_2 segundo a norma CEI 60269-1	45
2.11	Valores a corrente convencional de funcionamento I_2	47
2.12	Coeficientes de simultaneidade a utilizar em quadros elétricos documento "Conceção de instalações elétricas", Arménio Teixeira	50
2.13	Coeficientes de simultaneidade para vários tipos de finalidade. O N é referente ao Número de Tomadas. Documento "Conceção de instalações elétricas", Arménio Teixeira	51
2.14	Fator de utilização consoante o tipo de recetor. documento "Conceção de instalações elétricas", Arménio Teixeira	51
2.15	I_2 dos fusíveis e disjuntores. Fusíveis de acordo com a norma CEI 60269-1 e disjuntores pela norma EN 60947-1	52
2.16	Constante de k para diferentes tipos de isolamento	55
3.1	Potências por instalação	67
3.2	Armários de distribuição colocados no projeto da rede de distribuição em BT . .	69
3.3	Grandezas luminotécnicas fundamentais. "Conceitos e Grandezas"	79
3.4	Zonas e áreas da instalação de utilização, bem como valores de iluminação segundo a norma ISO CIE 8995	83
3.5	Sistema de cores para identificação de tomadas mono ou trifásicas	90
3.6	Regime de funcionamento normal e de pico da instalação de utilização	99

5.1	Estudo na ferramenta PVGIS para encontrar a melhor inclinação e azimute	119
5.2	Caraterísticas elétricas do painel nas condições STC e NOCT. Dados do Datasheet do painel: Hanwha, Q. PEAK-G4.1	120
5.3	Caraterísticas elétricas do Inversor. Dados do Datasheet do inversor: SMA, Sunny Tripower 25kW	124
5.4	Viabilidade de um projeto segundo o TIR e VAL	130
5.5	Resultados para os sistemas testados	131
5.6	Lado esquerdo: Energia produzida, Energia consumida na instalação e energia vendida à rede e do Lado direito: Custos antes e depois da UPAC e lucro 1º ano, com o Custo da energia vendida a custar 0,085 €/kWh	132

Abreviaturas e Símbolos

AT	Alta Tensão (>30 kV)
BT	Baixa tensão (≤ 1 kV)
CEME	Detentor de registo de comercialização de eletricidade para mobilidade elétrica
CER	Comunidades de Energia Renovável
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
EGME	Entidade Gestora da Rede de Mobilidade Elétrica
EI	Entidades Instaladoras de Instalações Elétricas de serviço particular
EIHEL	Entidades Inspetoras de Instalações Elétricas de Serviço Particular
ENSE	Entidade Nacional para o Setor Energético
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
FV	Sistema Fotovoltaico
IT	Esquema de ligação à terra, onde o Neutro é ligado através de uma impedância à terra e a Massa é ligado ao Neutro
IU	Instalação de Utilização
MT	Média Tensão (≤ 30 kV)
ORD	Operador da Rede de Distribuição
PS	Posto de Seccionamento
PT	Posto de Transformação
PTC	Posto de Transformação Cliente
PTS	Posto de Transformação Rede Pública
PVC	Policloreto de Vinilo
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público
RND	Rede Nacional de Distribuição
RSSPTS	Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e Seccionamento
RSRDEEBT	Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Elétrica de Baixa Tensão
RTIEBT	Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão
SEN	Sistema Elétrico Nacional
SRIESP	Sistema de Registo de Instalações Elétricas de Serviço Particular
TN	Esquema de ligação à terra onde o Neutro é ligado diretamente à terra e a Massa é ligado ao Neutro.
UPAC	Unidade de Produção para Auto consumo
TT	Esquema de ligação à terra o Neutro e a Massa são ligados diretamente à terra
VE	Veículo Elétrico
XPLE	Polietileno Reticulado

Capítulo 1

Introdução

A presente dissertação foi elaborada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e Computadores. Este capítulo tem como finalidade a contextualização, definição de objetivos e apresentar o enquadramento da dissertação.

1.1 Contextualização e Motivação

A área de sistemas de energia está em constante evolução, com novos sistemas e equipamentos cada vez mais eficientes a surgir e a revolucionar o mercado. Desta forma, a legislação e a regulamentação nacional e internacional está em contínuo desenvolvimento para acompanhar as modificações que vão surgindo ao longo dos tempos. É o caso da introdução dos veículos elétricos que prevê a necessidade de instalar uma rede apropriada ao seu carregamento e que ao mesmo tempo necessita de novas tecnologias para garantir a produção de energia mais barata e “limpa”. [1] Simultaneamente, existe uma enorme evolução ao nível dos sistemas e dos equipamentos, as novas legislações pretendem garantir uma maior segurança das pessoas e animais, obrigando cada vez mais às instalações de utilização elétrica precisarem da elaboração de projeto, bem fundamentado, antes da sua execução. ¹

O projeto de uma instalação é algo moroso, que implica a consulta de legislação, uma documentação muito vasta e com imensos conceitos. Ainda, o surgimento de novas tecnologias faz com que haja uma necessidade de o projetista estar sempre a par para conseguir criar projetos com equipamentos mais recentes e eficazes, alcançando uma maior eficiência para as instalações.

O trabalho realizado no âmbito desta dissertação pretende avaliar a legislação e regulamentação em vigor em Portugal obrigatória à realização de um projeto elétrico. Além disso, pretende-se rever vários pontos importantes para o projeto, que passa por um estudo dos tipos de canalizações, sistemas de proteção elétrica, entre outros conceitos importantes que se irá desenvolver no decorrer do texto.

¹Podemos verificar pela nova legislação, Lei nº 61/2018[2], que vem alterar o Decreto-Lei nº96/2017[3], onde por exemplo: instalações de baixa tensão passa a ser obrigatório o projeto a partir de 10,35kVA, substituindo os outrora 41,4 kVA. Isto ao mesmo tempo que existe uma necessidade de as instalações projetarem a sua potência em vista aos carregadores de veículos elétricos.

Ao mesmo tempo que é necessário estar a par de toda a legislação e documentação, o projetista deve utilizar ferramentas e mecanismos que o auxiliem no desenvolvimento do projeto. Neste caso, ferramentas que permitam o dimensionamento de canalizações ajudam a melhorar a assertividade e rapidez de execução.

Atualmente, as grandes empresas do ramo da eletrónica e energia como a Schneider Electric, ABB ou Siemens AG começam a desenhar e fornecer ferramentas que permitem ao projetista ser mais eficiente e assertivo nos seus projetos, com as desvantagens de ter de se fidelizar aos produtos da empresa que fornece as ferramentas, limitando o projeto economicamente e qualitativamente.[4]

Outro problema que afeta as unidades industriais é o aumento do custo da energia, que leva à necessidade de aumentar a eficiência energética das instalações. (Figura 1.1)[5]

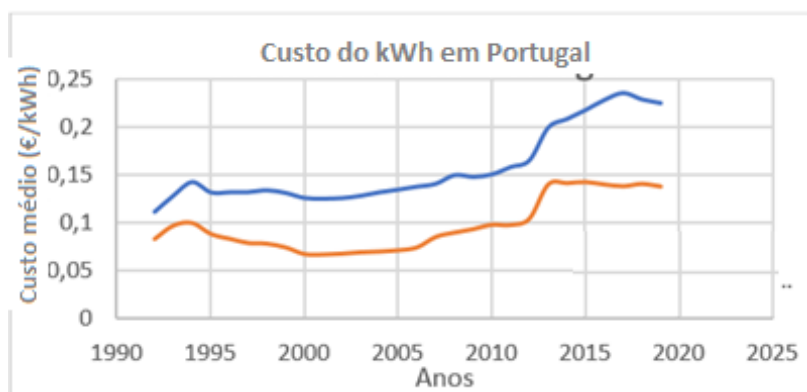


Figura 1.1: Preços da eletricidade para utilizadores domésticos (azul) e industriais (laranja) (Euro/EUR), 2019, Dados: www.PorData.pt

O aumento do custo da energia foi acompanhado por um desenvolvimento da eficiência [6] de novos sistemas de produção e de equipamentos. A utilização de equipamentos, como motores e iluminação mais eficiente, através da iluminação LED, a utilização de energias renováveis como fornecimento principal em paralelo com a rede elétrica de serviço público (RESP) permitem uma significativa melhoria de eficácia e da redução de custos nas instalações de utilização. Associado a estas vantagens, está o retorno relativamente rápido do investimento num projeto de uma instalação de autoconsumo renovável fotovoltaica, com os Payback fornecidos pelas empresas a rondar entre os 3 a 7 anos[7], consoante o tipo de equipamentos e da localização das instalações. Por esta razão, é possível afirmar que, atualmente, fica mais barato produzir um quilowatt do que consumir um quilowatt da rede.

1.2 Objetivos da dissertação

A dissertação realizada teve como objetivo o desenvolvimento de projeto, execução e exploração de instalações elétricas de serviço particular. Assim, o projeto foi dividido em várias etapas.

A primeira etapa passa pela revisão de toda a documentação, tal como: legislação, regulamentação e informação sobre os vários temas que permitirão idealizar um projeto completo de uma instalação elétrica, bem como o que é necessário para a sua entrada em exploração.

Em seguida, pretende-se compreender as etapas que compõem a criação de um projeto, que permita à posteriori produzir um guia de conceção de um projeto elétrico de uma instalação industrial. Assim, este documento servirá como uma referência para a elaboração de um projeto elétrico com vários subprojetos associados. A metodologia seguida para verificação e compreensão das etapas, foi realizar um projeto de uma instalação elétrica de serviço particular, mais concretamente uma indústria de logística, alimentada por um posto de seccionamento² (PS) e um posto de transformação (PT) em média tensão. No projeto foram avaliados vários subprojectos que integram: os PT e PS, a rede de distribuição de baixa tensão, rede de baixa tensão dentro da instalação, integração de carregadores de veículos elétricos e de um gerador de emergência.

Associado ao estudo das etapas do projeto, foi desenvolvida uma ferramenta que possibilita e facilita o trabalho do projetista no dimensionamento dos equipamentos de condução e proteção em de baixa tensão. A ferramenta vai ser criada de acordo com a documentação e regulamentação em vigor, apresentando dicas e alertas para garantir uma maior assertividade na projeção das canalizações e dos aparelhos de proteção.

Numa segunda parte, ainda relacionado com a área de projeto, mas de modo a permitir diminuir os custos relativos aos consumos energéticos da instalação de utilização, será projetada uma unidade de produção para autoconsumo (UPAC), através de energia solar. A ideia será avaliar os passos orientados ao projeto de uma unidade fotovoltaica (FV) com um processo de otimização. Será idealizada uma ferramenta que permite fazer o dimensionamento da canalização e uma ferramenta onde foi criado um processo de otimização para a escolha do número ideal de painéis e inversores que devem ser instalados consoante determinadas regras.

O último objetivo da dissertação será criar um sistema que permita um fornecimento contínuo de energia. Para isso, integrar o fornecimento de energia através da rede de serviço público, da geração fotovoltaica, dos geradores de emergência e, possivelmente, da necessidade de utilização de UPS³.

1.3 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos.

No capítulo 2, será abordada a legislação necessária à realização de um projeto, execução e exploração de uma instalação de utilização de serviço particular. Ainda, será feita um estudo de vários aspetos teóricos que vão ser necessários nas várias fases de um projeto.

No capítulo 3, é feita uma apresentação de como é realizado um projeto de uma instalação de utilização de serviço particular, mais concretamente uma instalação industrial de logística. Serão apresentados vários exemplos de cada uma das etapas de um projeto realizado durante a dissertação. Do projeto serão apresentados os projetos de posto de transformação (PT) e posto de seccionamento (PS), rede distribuição em Baixa tensão (BT) e da instalação de utilização. Ainda será avaliado o projeto de carregadores de veículos elétricos e de geradores de emergência.

No capítulo 4, será descrita a ferramenta que foi criada para apoiar o dimensionamento de instalações de utilização em baixa tensão.

²Como vamos verificar ao longo da dissertação o posto de seccionamento, surge por imposição da operadora da rede de distribuição pelo facto de o posto de transformação estar projetado muito longe da via pública.

³Uma UPS é uma Fonte de alimentação ininterrupta. As UPS são utilizadas para garantir o máximo de fiabilidade das instalações, pois conseguem garantir o fornecimento de energia às cargas de emergência durante um determinado tempo.

No capítulo 5, é abordado um projeto de unidade de produção para autoconsumo (UPAC), que neste caso foi uma unidade fotovoltaica. Apresentar-se-á um método de otimização, bem como a ferramenta para otimizar, e uma ferramenta de dimensionamento. Para finalizar, será realizado um estudo que avalie a capacidade de, em situações em que a rede elétrica de serviço pública saia de serviço, se consiga alimentar a instalação pela UPAC e por um gerador de socorro.

No capítulo 6, serão apresentados os aspetos finais do projeto, onde se apresentam os resultados do trabalho realizado.

Capítulo 2

Revisão sobre a Legislação aplicável e Conceitos de Projetos de Instalações de Utilização

2.1 Revisão sobre a Legislação aplicável em 2020

Neste capítulo será realizada a revisão sobre a legislação nacional e outros documentos relevantes no projeto, execução e exploração de instalações elétricas de serviço particular no território nacional.

2.1.1 Projeto, execução e exploração de Instalações elétricas de Serviço Particular

O sistema de energia elétrica tem vindo a sofrer uma enorme evolução desde o seu início, sendo que hoje (em 2020), Portugal consome, em termos de energia elétrica, valores a rondar os 50 GW anuais, com uma potência de ponta de 8200 MW. Desde o ano de 1994, houve um aumento considerável de aproximadamente 20 GW no consumo anual de energia elétrica [8, 9]. Estes valores são indicadores de um aumento do número de instalações de utilização (IU) e da necessidade de uma maior regulamentação por parte do Estado.

O Estado regula o licenciamento e a exploração das instalações com o intuito de proteger os seus utilizadores de potenciais perigosos elétricos derivados de más instalações, promovendo melhorias de forma a evitar enormes burocracias no processo de licenciamento.

Em 1936, surge com o Decreto-Lei nº 26852, uma legislação que fixa as normas que devem ser seguidas para o licenciamento das instalações elétricas destinadas à produção, transporte, transformação, distribuição ou utilização de energia elétrica. Este Decreto-Lei sofreu apenas algumas correções no ano de 1976 pelo Decreto-Lei nº 446/76.

Mais tarde, no ano de 1980, surgem novos complementos em relação ao Decreto-Lei nº 26852, onde o enfoque foram as instalações particulares, tendo sido estabelecidas várias normas a observar na elaboração dos projetos das instalações elétricas de serviço particular, Decreto-Lei nº 517/80.

Em 2007, é criado um novo decreto, o Decreto-Lei nº 101/2007, voltando a ter como função a simplificação do licenciamento de instalações elétricas, quer de serviço público, quer de serviço particular, trazendo acréscimos aos Decretos anteriores. Este novo Decreto veio tentar simplificar o sistema das instalações particulares, reduzindo as anteriores cinco categorias de instalações para três, que correspondem essencialmente às instalações com produção própria, às instalações

alimentadas em alta tensão e às instalações alimentadas em baixa tensão, classificação que se mantém atualmente (com algumas alterações).

Com o decorrer dos anos, e novamente numa perspetiva de “reduzir o tempo e o custo do investimento, eliminando situações de burocracias injustificadas e geradora de tempo e dinheiro que prejudicam o investimento do cidadão”[3] o governo elegeu, em 2017, como uma prioridade o relançamento do programa SIMPLEX¹. Simultaneamente, foi criado o Decreto Lei nº 96/2017, com alterações promovidas pela Lei nº 61/2018[2], que estabelece o atual regime de licenciamento de instalações elétricas particulares. Uma grande alteração dá-se ao eliminar a exigência da aprovação do projeto da instalação, passando a ser suficiente o termo de responsabilidade assinado pelo projetista e consequente pagamento de taxas relativas ao processo.

O Decreto-Lei nº 96/2017, revoga ainda os pontos sobre instalações elétricas dos Decretos-Lei e Leis anteriormente referidos.

No que concerne a classificação de instalações elétricas, é fulcral ter consciência da existência de dois tipos de instalações distintos:

- **Instalações elétricas de serviço público:** são consideradas todas as instalações de serviço público que têm como função o transporte e a distribuição de eletricidade, integrando a Rede Nacional de Transporte (RNT), a Rede Nacional de Distribuição em Alta Tensão (RND AT) e a Rede Nacional de Distribuição em Baixa Tensão (RND BT). Estas redes podem ser exploradas por outras entidades, com autorização do Estado, como é o caso da RNT explorada pela REN e a RND que é maioritariamente explorada pela EDP Distribuição S.A..

- **Instalações elétricas de serviço particular:** são todas as instalações elétricas que, apesar de poderem serem servidas pelas redes de serviço público, não são públicas.

Esta dissertação, incidir-se-á sobre as instalações elétricas de serviço particular. Segundo o Decreto atual (Decreto-Lei nº96/2017), as instalações particulares podem assumir três diferentes classificações:

- **Tipo A:** instalações temporárias ou móveis, de segurança ou socorro, que produzem a sua própria energia e não fazem parte de centros produtores de energia.

- **Tipo B:** instalações alimentadas pela rede elétrica de serviço público em média, alta ou muito alta tensão.

- **Tipo C:** instalações alimentadas pela rede elétrica de serviço público em baixa tensão.

Como tal, no Decreto-Lei nº 96/2017, provido das respetivas alterações do Decreto-Lei nº 61/2018, são estabelecidos grande parte dos requisitos e normas que devem ser seguidas para proceder ao licenciamento de uma instalação elétrica de serviço particular. De seguida, serão apresentadas as condições, e ainda, os processos para a obtenção da licença de exploração de uma instalação elétrica de serviço particular.

¹Programa SIMPLEX foi um programa, que tal como o nome, trazia mecanismos de simplificação de processos, como o processos de licenciamento de instalações elétricas particulares.

Licenciamento de instalações elétricas de serviço particular

O licenciamento das instalações elétricas é composto por várias etapas, que variam consoante o tipo de instalação elétrica de serviço particular que é pretendido licenciar.

A Direção-Geral de Geologia e Energia (DGEG) é responsável por verificar e acompanhar a atividade dos projetistas e instaladores, ou seja, acompanhar grande parte dos processos de licenciamento.

O acompanhamento realizado pela DGEG é realizado através do Sistema de Registo de Instalações Elétricas de Serviço Particular (SRIESP)². Este é um sistema operacionalizado através de plataforma eletrónica destinada ao registo, controlo das atividades de projeto, execução, exploração e inspeção das instalações elétricas de serviço particular. Será no SRIESP que terão de estar registados todos os técnicos responsáveis e onde serão submetidos todos os documentos necessários para o licenciamento, como será estudado em seguida.

A Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) vai supervisionar o mercado e regular a qualidade do serviço das instalações elétricas.

Outras entidades como a Operadora da Rede de Distribuição, EDP Distribuição S.A. e cooperativas, têm papéis fundamentais no fornecimento de informação para a ligação à rede e verificação das condições para que isso seja possível.

No diagrama da Figura 2.1, está representado um pequeno resumo das etapas e normas que compõem o Decreto Lei nº 96/2017 e Lei nº 61/2018, bem como outros complementos fornecidos pela DGEG e outros Decretos que são inerentes ao licenciamento das instalações elétricas.

É o caso da Lei nº 14/2015 [10], dependendo do tipo de instalação, vai ser necessário haver técnicos responsáveis, que tendo as habilitações para exercer essas funções, terão de assumir responsabilidade pelas várias fases do processo. A título exemplificativo, surge ainda as informações prestadas pelo operador da rede de distribuição (ORD) no “Manual de ligações à rede elétrica de serviço público, EDP distribuição S.A.”. [11]

²O site do SRIESP está disponível através da página da DGEG ou em www.sriesp.dgeg.gov.pt/DGEG/

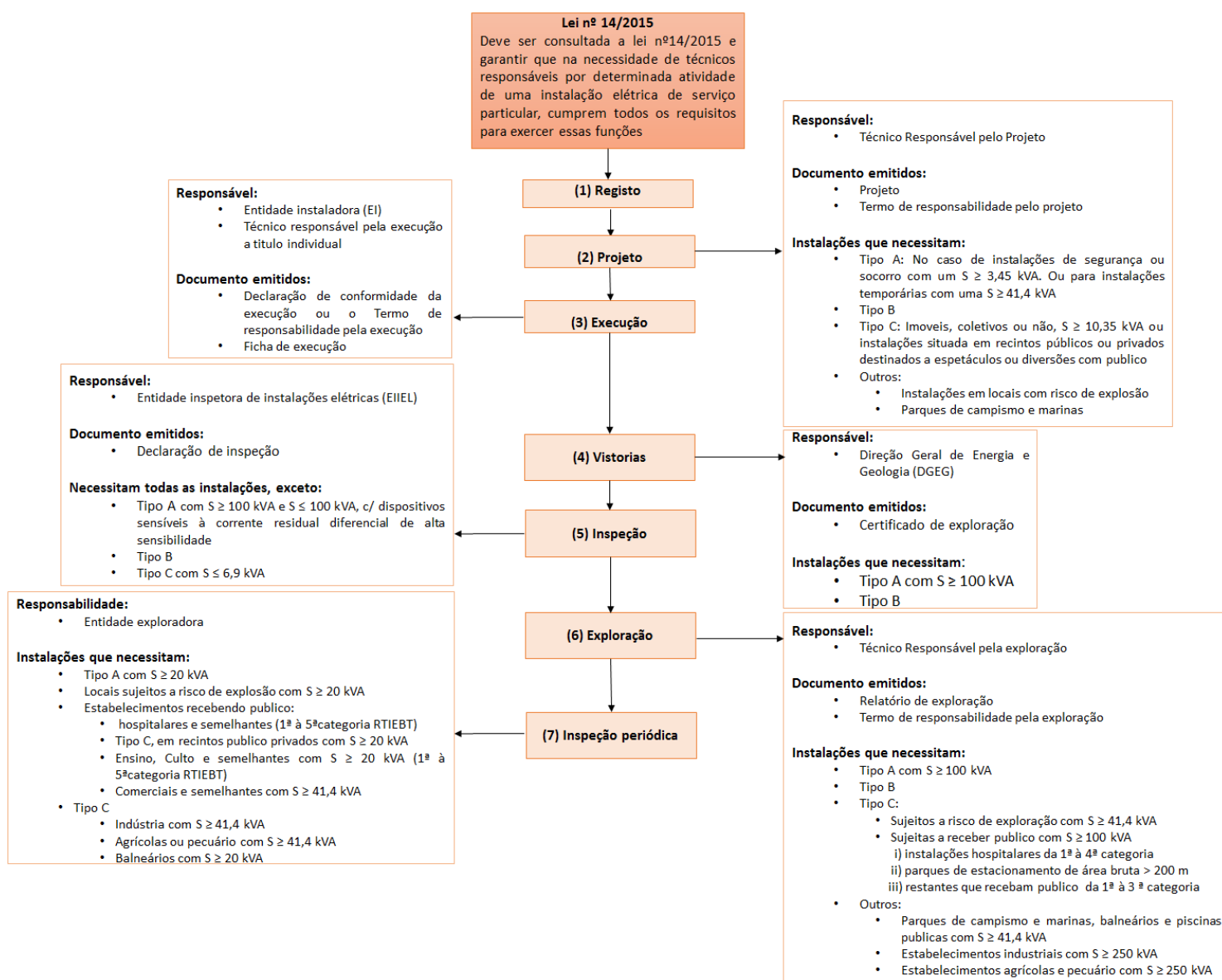


Figura 2.1: Procedimentos para o licenciamento de instalações elétricas de serviço particular

(1) Registo

O registo da instalação, consoante o tipo de instalação, é realizado pelas diferentes entidades responsáveis, segundo a Lei nº 14/2015, na plataforma SRIESP (sriesp.dgeg.gov.pt). Quando do registo, serão atribuídos um número e um código de acesso que acompanhará todo o processo de licenciamento e que deverá ser fornecido à entidade exploradora³. Assim todo o processo poderá ser consultado online, pelas entidades públicas e privadas, que precisem de ter acesso às informações em questão.

³Segundo o Decreto-Lei nº96/2017: «Entidade exploradora», a entidade que detém a exploração da instalação elétrica e celebra o contrato de energia elétrica com um comercializador de eletricidade;

(2) Projeto

Pelo diagrama apresentado na figura 2.1, verifica-se quais as instalações que necessitam de realização de um projeto elétrico antes de passar para a realização efetiva da instalação.

Tudo o que é necessário ser realizado no âmbito do projeto de instalações elétricas de serviço particular pode ser consultado no Despacho n.º 26/2017, publicado em 2017 pela DGEG. Os Despachos podem ser consultados na página online da DGEG (<http://www.dgeg.gov.pt/> na secção relativa às instalações elétricas de serviço particular).

Num projeto de uma instalação de utilização terão de ser integrados os passos descritos de seguida.

1. Enquadramento do Projeto

No enquadramento do projeto deve ser feita uma rápida apresentação da instalação elétrica de serviço particular, onde deve ser incluída a identificação das entidades que serão envolvidas em todo o processo.

- a) Identificação do projeto (documento obtido na parte de anexos relativo ao Despacho n.º 26/2017, DGEG);
- b) Planta de localização, com respetivas coordenadas, e ponto de ligação à rede elétrica de serviço público (RESP);
- c) Memória Descritiva e Justificativa com a descrição sucinta da instalação elétrica (IE);

2. Subestações, Postos de Seccionamento (PS) e Posto de Transformação (PT)

Nesta secção devem ser caracterizadas as instalações onde se procede à alteração dos níveis de tensão ou seccionamento de instalações, devidamente enquadrados no Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e Seccionamento (RSSPTS)[12].

Devem ser incluídos nesta secção os seguintes documentos:

- a) Caracterização sumária das Subestações, PS e PT (documento obtido na parte de anexos relativo ao Despacho n.º 26/2017, DGEG);
- b) Esquemas unifilares;
- c) Planta e alçados das instalações;
- d) Dimensionamento de canalizações, com exemplos de cálculo.

3. Rede de Distribuição particular de MT ou AT

Nesta secção são apresentadas as redes de distribuição de MT ou AT, aérea ou subterrânea enquadradas no Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de AT [13].

Devem ser incluídos nesta secção os seguintes documentos:

- a) Caracterização sumária da rede MT/AT (documento obtido na parte de anexos relativo ao Despacho n.º 26/2017, DGEG);

- b) Planta do traçado;
- c) Perfil da rede;
- d) Esquema unifilar.

4. Rede de Distribuição particular em BT

Nesta secção são apresentadas as redes de distribuição de BT, aérea ou subterrânea enquadradas no Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Elétrica de BT (RSRDEEBT)[14].

Devem ser incluídos nesta secção os seguintes documentos:

- a) Caracterização sumária da rede BT (documento obtido na parte de anexos relativo ao Despacho n.º 26/2017, DGEG);
- b) Planta do traçado;
- c) Perfil da rede;
- d) Esquema unifilar;
- e) Dimensionamento de canalizações, com exemplo de cálculos.

5. Instalação de utilização em AT/MT

Nesta secção são caracterizadas as instalações onde exista consumo em MT e AT. Devem ser inseridos os seguintes elementos:

- a) Caracterização sumária das instalações de AT/MT (documento obtido na parte de anexos relativo ao Despacho n.º 26/2017, DGEG);
- b) Planta do recinto;
- c) Planta com as ligações à terra da instalação de utilização;
- d) Diagrama de distribuição de energia normal e de socorro;
- e) Planta com a localização das instalações normal e de socorro e com a classificação das influências externas;
- f) Esquema unifilar dos quadros elétricos;
- g) Dimensionamento de canalizações com exemplos de cálculos.

6. Instalação de utilização em BT

Nesta secção irá caracterizar-se as instalações de utilização de BT, enquadradas nas Regras técnicas de instalações elétricas de BT (RTIEBT)[15].

Devem ser apresentados os seguintes documentos:

- a) Caracterização sumária das instalações de BT (documento obtido na parte de anexos relativo ao Despacho n.º 26/2017, DGEG);
- b) Planta do recinto;
- c) Planta com as ligações à terra da instalação de utilização;
- d) Diagrama da instalação de energia da instalação de segurança;

- e) Planta com a localização das instalações de segurança;
- f) Esquema unifilar dos quadros elétricos de segurança;
- g) Diagrama de distribuição de energia normal e de socorro;
- h) Planta com a localização das instalações normal e de socorro e com a classificação das influências externas;
- i) Esquema unifilar dos quadros elétricos normal e de socorro;
- j) Diagrama de cortes gerais de energia;
- k) Dimensionamento de canalizações com exemplos de cálculos;

7. Grupo de geradores (de caráter temporário ou itinerantes, de segurança ou socorro)

Nas instalações de caráter temporário ou itinerantes, de segurança ou socorro onde se procede à geração de energia elétrica, enquadradas nas Regras técnicas de instalações elétricas de BT (RTIEBT)[15].

- a) Caracterização sumária dos grupos de geradores (documento obtido na parte de anexos relativo ao Despacho n.º 26/2017, DGEG);
- b) Planta do recinto com a localização dos geradores;
- c) Planta com as ligações à terra dos grupos geradores;
- d) Diagrama de distribuição de energia;
- e) Esquema unifilar;
- f) Diagrama de cortes gerais;
- g) Dimensionamento de canalizações com exemplos de cálculos.

Nota: A DGEG pode dispensar apresentação de projeto instalações quando essas interfiram diretamente com defesa e segurança nacional, devendo apenas ser apresentados os elementos de dimensionamento essenciais, de forma a garantir a proteção de pessoas, animais e bens.

Finalizado o projeto, é da responsabilidade do Técnico Responsável pelo Projeto, além de todos os documentos acima referenciados, assinar e submeter no SRIESP o Termo de Responsabilidade pelo Projeto. Este documento é publicado pela DGEG, no Despacho n.º 27/2017, de 2017.

(3) Execução

A execução das instalações ficará a cargo de Entidades Instaladores (EI) ou de Técnicos Responsáveis pela Execução, como definido em Lei n.º 14/2015 e apresentado aqui no subcapítulo 2.1.5. Consoante o tipo de instalação poderá a execução ser da responsabilidade do técnico responsável pela execução, caso a instalação seja projetada para uma potência inferior a 41,4 kVA, sendo que para uma potência superior será atribuída a responsabilidade a uma EI.

A instalação terá de ser executada tendo em conta o projeto, quando este seja exigível, devendo cumprir com todas as regras técnicas, regulamentares e de segurança que sejam aplicáveis.

Finalizada a execução, devem ser realizados os vários ensaios e verificações necessárias para garantir a segurança das instalações, pelos técnicos responsáveis pela execução. Cumpridos todos os requisitos, é subscrito e emitido o Termo de Responsabilidade de Execução, emitido pelo Técnico Responsável pela execução, ou a Declaração de Conformidade, emitida pela EI, que são obtidos no Despacho nº 27/2017, publicado pela DGEG. Estes documentos, bem como a ficha de execução, devem ser submetidos no SRIESP, com o número e código de acesso referente à instalação.

(5) Inspeções

Findada a execução da instalação, ficam sujeitas a uma inspeção, por parte de uma entidade inspetora de instalações elétricas (EIIEL), todas as instalações que não foram citadas no diagrama da figura 2.1, na parte alusiva às inspeções.

Durante a inspeção, o responsável da EIIEL, irá averiguar a conformidade com as regras técnicas e de segurança, bem como avaliar os termos de responsabilidade de execução ou declaração de conformidade, e caso exigível para a instalação, o termo de responsabilidade do projeto. Assim, no momento da inspeção devem fazer-se representar todos os técnicos responsáveis pelas várias fases do processo. No Despacho n.º 1/2018 de 2018, publicado pela DGEG, são afixados os procedimentos relativos à realização de inspeções de instalações elétricas do tipo C e A até 100 kVA.

Após a inspeção serão emitidos uma declaração de inspeção e um relatório da vistoria no SRIESP. Nestes documentos irá ser reportado se a instalação foi aprovada, aprovada com deficiências que devem ser corrigidas ou não aprovada. As instalações aprovadas com deficiências Não Graves-1 (NG-1⁴) devem corrigir num prazo de 60 dias todas as negligências apontadas. No caso de instalações com deficiências Graves (G), a sua entrada só poderá acontecer depois de corrigidas todas as incorreções. Ambas serão submetidas de nova a uma inspeção, no qual terão de obter uma declaração onde não sejam mencionadas nenhum tipo de irregularidades.

As deficiências graves e não graves a averiguar, estão publicadas no Despacho nº4/2018, publicado pela DGEG, onde estão todas as observações que devem ser verificadas nos atos inspetivos de instalações do tipo C.

(4) Vistorias

Instalações de serviço particular do tipo A com uma potência superior a 100 kVA e instalações tipo B, devido à sua complexidade e dimensão ou nível de potência requisitada, estão obrigadas a pedir uma atribuição de um certificado de exploração para poderem entrar em exploração. Este pedido é realizado à DGEG, no qual é solicitada uma avaliação das instalações, de maneira a garantir o ótimo funcionamento e cumprimento dos requisitos impostos para o seu licenciamento e, consequentemente, a sua entrada em exploração.

Todo o procedimento e exigências para atribuição do certificado de exploração é regulado pela DGEG, no Despacho nº 3/2018. Submetido o pedido com todos os documentos obrigatórios

⁴A ver, as deficiências não graves:

- NG-1: Deficiência cuja gravidade não impeça o fornecimento ou interrupção de energia, mas que tem de ser reparado num máximo de 60 dias.
- NG-2: Deficiência que é aconselhada a correção quando realizada uma intervenção na instalação '[3]

por parte da entidade exploradora, é procedido à avaliação desses documentos e, garantindo-se a conformidade, é efetuada a vistoria às instalações. A vistoria executada, por parte da DGEG, é realizada com a presença dos Técnico Responsável pela Execução que deverá representar a respetiva EI, o Técnico Responsável pela Exploração(TRE), e caso necessário o Técnico Responsável pelo projeto.

Consoante o tipo de resultados, poderá ser emitido o certificado de exploração caso a instalação elétrica não apresente deficiências graves ou não graves (NG-1). Tal como se verifica nas inspeções, na ocorrência de deficiências graves, os responsáveis pela exploração da instalação deverão proceder às devidas correções. No caso de deficiências NG-1, os próprios têm igualmente 60 dias para corrigir todas as deficiências encontradas. Em certas ocasiões poderão ser emitidos certificados de exploração provisórios ou parcelares, para que sejam feitas devidas correções necessárias.

(6) Exploração

Para assegurar que existe um maior acompanhamento e uma maior garantia de segurança nas instalações de serviço particular, é obrigatório o acompanhamento de um Técnico Responsável pela Exploração (TRE) para determinadas instalações elétricas de serviço particular (de acordo com diagrama da figura 2.1). Tal como referido, o TRE será responsável por garantir o controlo das instalações, inspecionando no mínimo de duas vezes por ano as instalações encontrando eventuais deficiências, que devem ser reportadas à entidade exploradora. É do seu encargo apresentar melhorias para a instalação, como formas de aumentar a eficiência energética das mesmas. O TRE terá outras funções como reportar à DGEG e à ORD situações como acidentes, fornecer informações que seja pretendida ou sugerir alterações a serem realizadas nas instalações. O TRE deverá emitir e submeter um Termo de Responsabilidade de Exploração, publicado pela DGEG no Despacho nº 27/2017.

Ficha eletrotécnica

Além de todo o processo apresentado, todas as instalações devem apresentar a ficha eletrotécnica da instalação, publicada pela DGEG no Despacho nº 7/2019, de 2019. Na ficha eletrotécnica, de forma simplificada, estão representadas várias informações gerais, como é o caso da potência contratada da instalação elétrica de serviço particular.

(7) Inspeções Periódicas

As entidades exploradoras das instalações representadas no diagrama da figura 2.1, que não são sujeitas a acompanhamento de um TRE, devem promover inspeções periódicas a cada 5 anos para garantir a qualidade das instalações e que respeitam as regras técnicas.

As inspeções, bem como o acompanhamento do TRE, serão medidas preventivas para o controlo e bem estar das instalações, garantindo que são cumpridas as regras técnicas, não colocando em perigo a vida das pessoas e animais que frequentam as instalações.

Ligação à Rede Elétrica de Serviço Público ou entrada em exploração

No Decreto-Lei nº 96/2017, alterado pelo Lei nº 61/2018, são referenciados todos os documentos necessários para se poder realizar o pedido de ligação à Rede Elétrica de Serviço Pública (RESP), ou para que possa ser dada a entrada em exploração da instalações.

No diagrama da Figura 2.2, é apresentado de forma resumida, as exigências mínimas, que devem ser obtidas por parte das entidades exploradoras para garantir a ligação à RESP e entrada em exploração.

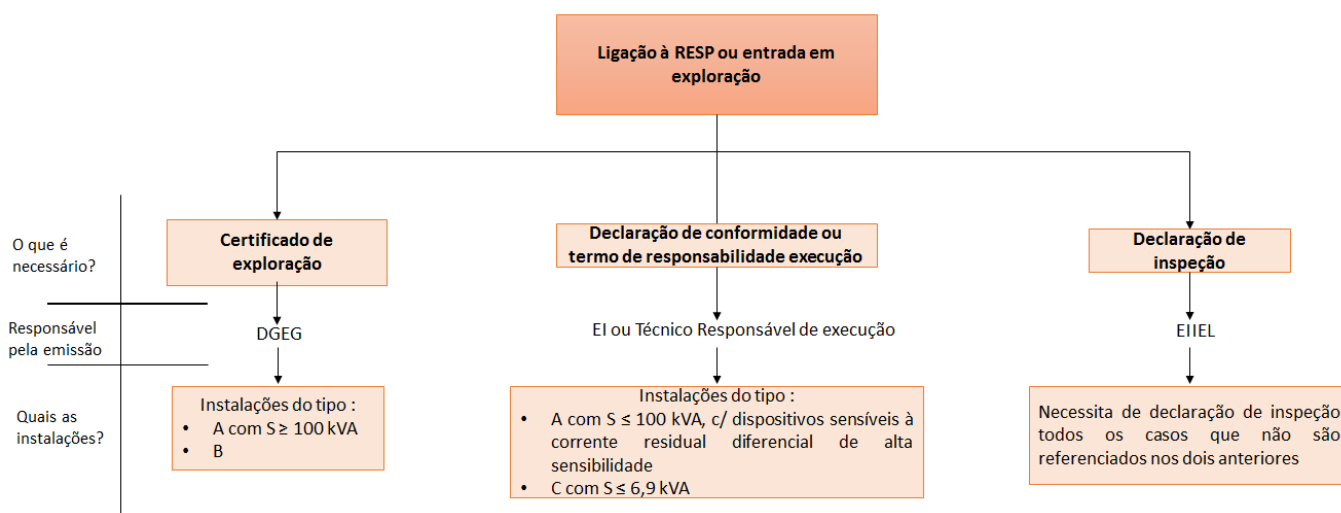


Figura 2.2: Requisitos documentais que demonstrarão a conformidade com as regras que devem ser obtidos para ligação à RESP e entrada em exploração

Todo este processo terá de ser articulado com o operador da rede de distribuição (ORD), para que se possa localizar onde se irá realizar a ligação à rede energética de serviço público. No diagrama presente na Figura 2.3, obtido a partir do Manual de Ligações à Rede Elétrica de Serviço Público, publicado pela EDP distribuição S.A.[11], verificam-se todas as fases que devem ser cumpridas até a ligação de energia. Este é processo que começa com o pedido de viabilidade de potência, até ao momento em que é feita a ligação da instalação de utilização (IU) à RESP.

Como pode ser comprovado, o ORD acompanhará todas as fases do processo, garantindo, em cooperação com as entidades inspetoras e a DGEG, a possibilidade de ligação à RESP, não colocando em perigo o bom funcionamento da mesma.

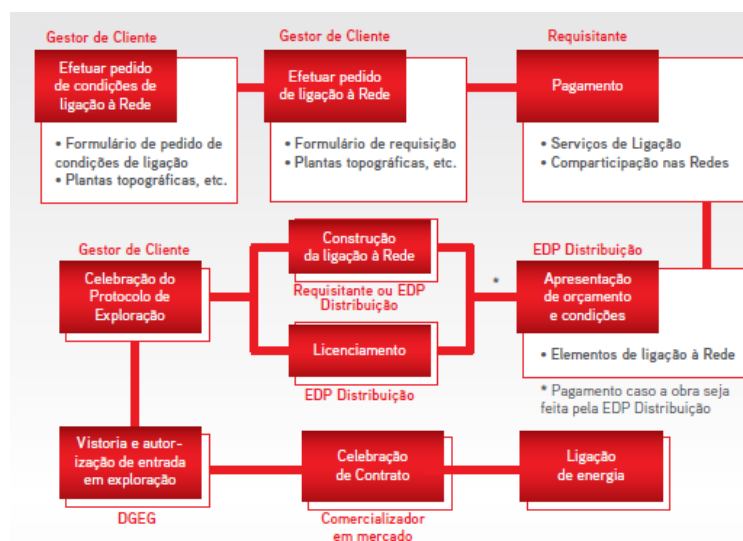


Figura 2.3: Fases para poder se ligar a RESP. Diagrama obtido para as instalações de MT, caso em estudo, "Manual de ligações à rede elétrica de serviço público, EDP distribuição"

2.1.2 Carregadores de veículos elétricos: legislação 2020

A utilização de veículos elétricos⁵ vem tendo um crescimento considerável com o decorrer dos anos, ocupando o quinto lugar de vendas a nível europeu, com uma percentagem 3,4 % do total de carros vendidos em 2018[16]. Este fenómeno deve-se a vários fatores, que vão desde a crescente consciencialização das pessoas no que toca à redução de emissão de gases prejudiciais ao ambiente, o aumento da eficiência deste tipo de veículos, bem como os vários incentivos financeiros para a compra deste tipo de veículos, concedidos pelos governos.

Assim sendo, nos últimos anos verifica-se a criação de legislação que veio regularizar o setor de mobilidade elétrica⁶, adotando regras para a criação de uma rede de mobilidade elétrica, fornecendo incentivos à utilização de veículos elétricos, e obrigando os novos projetos de instalações a criarem condições para que possam ser instalados pontos de carregamento⁷.

Assim, no Decreto-Lei nº 39/2010, de abril de 2010, surge pela primeira vez legislada as condições para o acesso aos mecanismos de carregamento de automóveis elétricos. O decreto regulava a organização, o acesso e o exercício das atividades de mobilidade elétrica, estabelecendo uma rede piloto de mobilidade elétrica.

O Decreto referido vai sofrer algumas correções em 2012, no Decreto-Lei nº 170/2012, e mais tarde, em 2014, no decreto que atualmente legisla o setor de mobilidade elétrica que é o Decreto-Lei nº 90/2014[17].

⁵São considerados veículos elétricos os motociclos, ciclomotores, triciclos ou quadriciclos que seja provido de um ou mais motores principais de propulsão elétrica que permitam a marcha do veículo, incluindo veículos híbridos, cuja bateria seja carregada mediante a ligação à rede mobilidade elétrica ou a uma fonte de ligação externa.

⁶A Rede de mobilidade elétrica compreende os pontos de carregamento e todo o tipo de infraestruturas, que podem ser de acesso público ou privado, para o carregamento de baterias de veículos de mobilidade elétrica.

⁷Pontos de carregamento são consideradas as infraestruturas ou equipamentos dedicados exclusivamente ao carregamento de bateria de veículos elétricos, podendo ser tomadas ou estruturas próprias (do qual se exclui as tomadas elétricas convencionais). Os pontos podem ser: de acesso público num domínio público ou privado ou de acesso privado num domínio privado.

Neste Decreto deu-se a continuação dos incentivos à utilização de veículos elétricos e o aumento e inovação da rede de mobilidade elétrica.

São três as atividades de mobilidade elétrica que se encontram legisladas no Decreto-lei nº 90/2014, como se observa na seguinte figura:

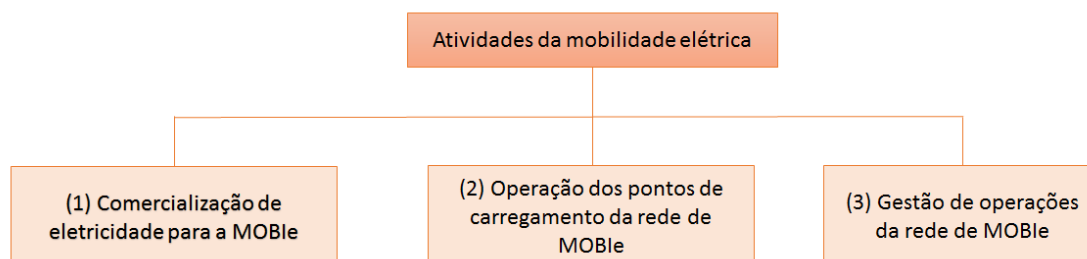


Figura 2.4: Atividades legisladas no DL nº 90/2014 no que toca à mobilidade elétrica. [Mobilidade elétrica MOBE]

(1) Comercialização de eletricidade para a MOBE

A atividade de comercialização, tal como acontece nos sistemas de energia, consiste na compra a grosso e venda a retalho para o fornecimento aos utilizadores que pretendam fazer o carregamento das baterias do veículo elétrico.

A comercialização de eletricidade em mobilidade elétrica está sujeita a um registo, estando de acordo com o Art. 47º, estabelecido no Decreto-Lei nº 172/2006, de setembro de 2006. Contudo, a função de comercializador apenas pode ser exercida por operadores de pontos de carregamento (OPC) devidamente licenciados. Os detentores do registo de comercialização de energia para mobilidade elétrica (CEME) devem celebrar um contrato com o utilizador de veículos elétricos (UVE) e estabelece as relações jurídicas com os OPC, garantindo o acesso dos UVE a todos os pontos de carregamento (PC). Esta é uma atividade em regime de livre concorrência, podendo os CEME aplicar as tarifas que pretender, desde que sejam cumpridos os termos e condições do Decreto em vigor.

(2) Operação dos pontos de carregamento da rede de MOBE

A operação dos pontos de carregamento (OPC) compreende as funções de instalação, manutenção, exploração e disponibilização dos pontos de carregamento, de acesso público ou privado, integrados na rede de mobilidade elétrica. À semelhança da comercialização, a operação dos pontos de carregamento é realizada em regime de livre concorrência.

Como referido acima, o exercício dos pontos de carregamento é precedido da obtenção de uma licença, atribuída por parte da DGEG. No entanto, a licença carece do cumprimento de alguns requisitos, estabelecidos na Portaria nº 241/2015. Estes requisitos compreendem a existência de estruturas organizativas adequadas às funções, recursos humanos com qualificação e capacidade técnica e, por fim, compatibilidade técnica, tecnológica e de segurança entre pontos de carregamento.

Relativamente à sua periodicidade, a licença obtida tem a validade de 10 anos, estando sujeita a inspeções periódicas, que devem ser proporcionadas pelos próprios exploradores, de modo a

garantir as condições de segurança e qualidade. As inspeções são da responsabilidade da DGEG, estando os procedimentos estabelecidos no anexo I do Despacho nº 24/2019 pela própria DGEG.

(3) Gestão de operações da rede de Mobilidade Elétrica

A gestão de operações da rede de mobilidade elétrica corresponde ao controlo dos fluxos elétricos e financeiros relacionados com a operação da rede de mobilidade elétrica e à gestão de uma plataforma associada à mobilidade elétrica. Esta função é, atualmente, exercida pela MOBI.E, que é responsável por todo este processo, e ainda pelo fornecimento de outras informações importantes na área da mobilidade elétrica. A atividade de gestão está sujeita a regulação, nos termos e condições previstos no presente decreto-lei e ainda no Regulamento de Mobilidade Elétrica (RME), Regulamento nº 854/2019[18], aprovado pela ERSE.

Pontos de Carregamento

Os pontos de carregamento são considerados as infraestruturas e equipamentos que proporcionam o carregamento dos veículos elétricos, excluindo as tomadas convencionais. Atente-se nos vários tipos de pontos carregamento existentes:

1. Ponto de carregamento em local público;
2. Ponto de carregamento em local privado de acesso público;
3. Ponto de carregamento em local privado de acesso privado.

Nos primeiros dois casos, os pontos de carregamento fazem obrigatoriamente parte da rede de mobilidade elétrica nacional. Já o terceiro ponto, fica ao critério do explorador da instalação, que pode deixar a cargo de um OPC, sendo que fará parte da rede de mobilidade elétrica, ou ser ele o próprio explorador, podendo ou não fazer parte da rede de mobilidade elétrica.

Além dos três pontos apresentados, surgem outros dois que podem ser enquadrados nos pontos anteriores, sendo eles:

- Pontos de carregamento em novas urbanizações: neste caso, nos projetos deverão ser previstas condições para a instalação de carregadores, mesmo que, devido ao custo, possam não ser instalados de imediato;
- Pontos de carregamento em urbanizações existentes.

Há exceção dos pontos de carregamento de novas urbanizações, todos estão sujeitos a uma comunicação prévia. A construção dos pontos de carregamento deve cumprir com:

- Portaria nº 220/2016 e 221/2016 , onde são estabelecidas as potências mínimas a instalar e as regras técnicas;
- “Guia Técnico das Instalações Elétricas para Alimentação de Veículos Elétricos” publicado pela DGEG, que estabelece todas as condições que devem ser estabelecidas na estruturação de um ponto de carregamento[19].

Até 2018, os utilizadores de veículos elétricos podiam usufruir das instalações de mobilidade elétrica de forma completamente gratuita. Atualmente, encontra-se em processo um projeto-piloto que permite aos operadores dos postos de carregamento (OPC) cobrar pela energia e serviços prestados. O utilizador dos pontos de carregamento tem de contratar um ou mais comercializadores (CEME) de energia de mobilidade elétrica, podendo ter acesso a qualquer um dos pontos de carregamento público ou privado de acesso público, independentemente do detentor do ponto de carregamento. Nos locais privados de acesso privado, os pontos de carregamento (PC) podem ficar a cargo de um OPC ou do próprio explorador da instalação (DPC), que pode optar por fornecer energia gratuita ou por fazer parte da rede de mobilidade elétrica, o que lhes concede os mesmos direitos e regalias dos outros pontos de carregamento.

2.1.3 Contextualização e Legislação sobre Unidades de Produção para Autoconsumo

A energia renovável tem um papel cada vez mais importante na produção de energia elétrica tanto a nível nacional, como por todo o planeta.

No gráfico, Figura 2.5, pode-se verificar a evolução do paradigma de produção de energia, onde consta a produção de energia através de recursos renováveis, que assume um papel fundamental dentro da produção energética nacional, representando aproximadamente 51,9 % da produção elétrica total.[20]

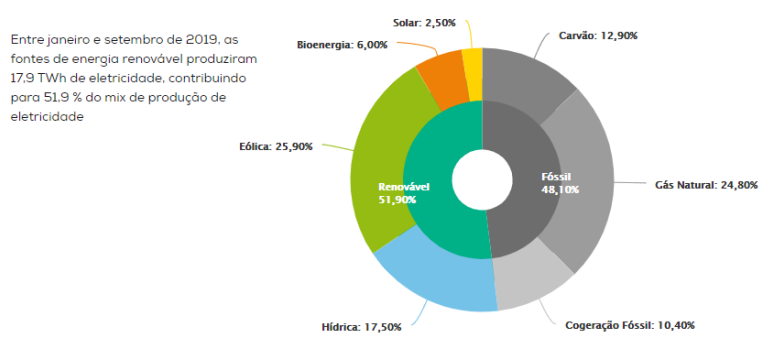


Figura 2.5: Consumo energético em Portugal. Gráfico retirado da página da Associações de Energia Renováveis (APREN) que mostra a produção de energia em 2019”

Atualmente, e como consequência da grande evolução apresentada, que veio permitir um aumento da eficiência das tecnologias de produção,⁸ em que o recurso primário é de origem renovável. O uso na produção de energia tem vindo a ter um aumento exponencial o que, consequentemente, permite haver uma redução dos gases poluidores produzidos pelas grandes centrais convencionais. A descentralização do setor energético também irá ser influenciada positivamente por este melhoramento dos sistemas de produção de energia renovável.

⁸É exemplo, a evolução dos painéis solares. Em 1954, quando estes começaram a ter uma maior utilização apresentavam uma eficiência de 6%. Desde então, houve um aumento da evolução tecnologia fotovoltaica, existindo hoje painéis com eficiências em torno dos 25 a 30 %. No caso dos painéis utilizados nas viagens espaciais a eficiências pode chegar aos 46 %. [21]

O conceito unidade de produção de autoconsumo (UPAC) surge de uma evolução que se foi dando ao longo dos anos através das unidades de mini e microprodução e da constante evolução das tecnologias e da necessidade de aumentar a eficiência do setor energético.

Em 2002, é criado o Decreto-Lei nº 68/2002, onde surge uma legislação que incentiva e permite a produção para consumo próprio, surgindo assim, um conceito associado ao autoconsumo, denominado de microgeração. A microgeração é a produção de energia, em BT, que serve essencialmente para o consumo na própria instalação. Como mais valia da microgeração, surge a possibilidade dos excedentes, no caso de uma potência inferior a 150 kW, poderem ser entregues diretamente à rede, ou a terceiros. Neste Decreto, é então regulado todo o processo que está ligado à produção em microgeração.

Com a necessidade de aumentar o número de sistemas de microgeração, que não tinham atingido uma expressão significativa, e de facilitar o acesso a este tipo de geração de energia, é criado, em 2007, o Decreto-Lei nº 363/2007. Face aos fatores referidos, bem como as alterações concebidas no sistema elétrico de serviço público, é então formulado este novo Decreto que vem simplificar o regime de licenciamento existente. A entrega e análise do projeto são substituídos pela criação de uma base de dados, denominada de Sistema de Registo de Microprodução (SRM), com recurso a elementos-tipo, que o produtor tinha de respeitar. Este processo faria encurtar o processo de meses, passando a ser necessário um simples registo eletrónico. A Lei nº 67-A/2007 e Decreto-Lei nº 118-A/2010 surgiram mais tarde para fazer algumas alterações no Decreto anterior.

Anos mais tarde, em 2011, é criado um novo conceito com o intuito de aumentar a adesão às unidades de produção de autoconsumo. Com a ambição de Portugal liderar a revolução de produção de energia através de recursos renováveis, vai surgir o conceito miniprodução, que é legislado no Decreto-Lei nº 34/2011. A miniprodução é a produção de eletricidade, a partir de recursos renováveis, por intermédio de unidades de miniprodução com uma potência de ligação à rede igual ou inferior a 250 kW. Ficaria legislado o regime jurídico aplicável à produção de energia através de miniprodução.

Devido às dificuldades reveladas no que toca à articulação entre o comercializador de último recurso (CUR), os comercializadores e os produtores no processo de aquisição da energia produzida pela miniprodução e microgeração nos regimes de remuneração, é elaborado o Decreto-Lei nº 25/2013, que faz uma revisão aos decretos anteriores que legislam os processos de produção de energia em micro e miniprodução, de forma a superar as dificuldades referidas.

Nesta altura, era por parte do Governo Português, reconhecido todo o potencial da produção com autoconsumo, que permitia uma melhoria da eficiência energética e ajudava a otimizar os recursos endógenos, entre outras vantagens. Graças a estas vantagens e concretizado o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis, aprovado pela Resolução de Conselho de Ministro nº 20/2013, é formulado um novo Decreto, Decreto-Lei nº 153/2014[22], onde são reformulados os antigos regimes de produção, surgindo assim dois novos conceitos que iriam revogar os anteriores Decretos. Os conceitos que aparecem no novo Decreto, são:

- UPAC, unidades de produção para o autoconsumo, baseadas em tecnologias de produção renovável ou não renovável.
- UPP, Unidades de pequena produção, que vinha dar continuidade ao modelo de miniprodução, em que a energia era toda vendida à RESP.

Este Decreto simplificava a forma como era feito o licenciamento das UPAC e UPP, de forma

a estimular o uso deste tipo de tecnologias. Na Figura 2.6, retirada do documento “Perguntas e Respostas frequentes”[23] sobre o Decreto Lei nº153/2014, pode-se verificar as condições para se produzir energia através de uma UPAC ou de uma UPP.

PROCEDIMENTOS PARA REGISTO DE UMA UNIDADE DE PRODUÇÃO		
TIPO DE UNIDADE	POTÊNCIA INSTALADA	TÍTULO DE CONTROLO PRÉVIO
UPP	≤ 250 kW, de fonte renovável	▪ Registo prévio ▪ Certificado de exploração
UPAC	> 1,5 kW ≤ 1000 kW	▪ Registo prévio ▪ Certificado de exploração
	≤ 1,5 kW, c/ ligação à rede ou s/ ligação à rede e que pretenda transacionar garantias de origem (GO)	
	≤ 0,2 kW, cuja energia produzida não consumida seja para injeção na rede, ou transacione GO	
	> 0,2 kW ≤ 1,5 kW, sem injeção na rede	▪ Mera Comunicação Prévia para exploração
	≤ 1000 kW sem ligação à rede	
	Desde que não transacione GO	
	> 1000 kW	▪ Licença de produção ▪ Licença de exploração (DL 172/2006, republicado pelo DL 215-B/2012)

Figura 2.6: Procedimento para o registo de uma unidade de produção. Imagem retirada de um documento da DGEG sobre o DL nº153/2014 "Perguntas e Respostas Frequentes"

Como complemento a este Decreto, surgem no ano de 2015, duas portarias. A Portaria nº 14/2015, que tem como objetivo definir o procedimento para apresentação de uma mera comunicação prévia de exploração das UPAC e para a obtenção de um título de controlo prévio no âmbito da UPAC e UPP. Este processo é realizado através de uma plataforma controlada pela DGEG, Sistema Eletrónico de Registo de Unidades de Produção (SERUP). Já a Portaria nº 15/2015, procedia à fixação da tarifa de referência, que era paga à energia entre a RESP e a UPP. A UPP, como observado pelo valor máximo de potência que podia ser contratada, vinha apenas dar continuidade ao que já se fazia na miniprodução, que, contudo, foi apenas um momento de transição. E assim aconteceu, em 2019 é revogada a matéria em relação às UPP.

Traçadas metas ambiciosas até 2030, tais como o alcance de um valor de 47 % de renováveis no consumo final de energia, que implicará que a produção do setor elétrico terá de contribuir com pelo menos 80% de produção através de recursos renováveis, é elaborado o Decreto-Lei nº 162/2019[24], que transpõe a diretiva da EU 2018/2001[25]. Este decreto vem revogar o decreto anterior, trazendo novas novidades e maior facilidade para quem pretende instalar unidades de produção para autoconsumo.

Neste decreto, Decreto-Lei nº 162/2019, a UPAC passa a ser uma ou mais unidades de produção, com a diferença de que a fonte de energia primária terá de ser de origem renovável. O Decreto Lei nº 153/2017 continuará ativo até ao ano de 2025, no que toca às unidades de produção localizada com energia primária não renovável. Este decreto visa, essencialmente, promover o autoconsumo através de energias renováveis, caminhando de encontro às políticas europeias, que querem impulsionar o autoconsumo coletivo e as comunidades de energia renovável (CER), bem como facilitar o acesso a este tipo de produção. São, então, estas as principais alterações em relação ao decreto anterior:

- Maior facilidade para instalação de unidades de Autoconsumo

Com o Decreto-Lei nº 162/2019 e com a necessidade de haver um maior aumento de produção de energia com recurso às novas tecnologias renováveis, torna-se mais fácil e apelativo poder instalar uma UPAC. A atividade de autoconsumo, independentemente do nível de tensão, pode ser procedida tanto por autoconsumidores individuais, como por autoconsumidores coletivos e pelas CER. No diagrama da Figura 2.7, pode-se ver a facilidade para se proceder ao licenciamento das UPAC.

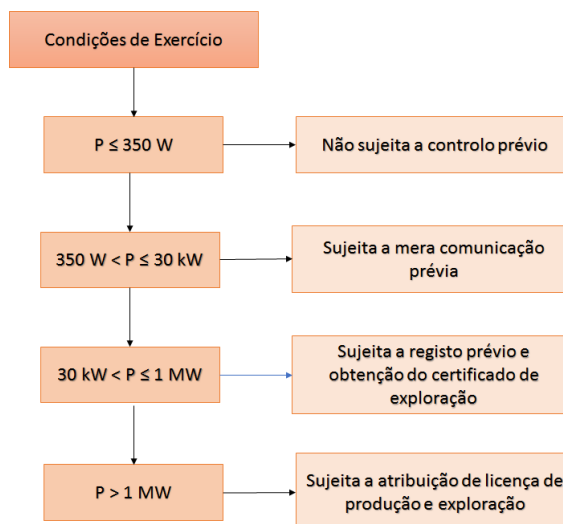


Figura 2.7: Procedimento para o registo de uma UPAC segundo o Decreto Lei nº 162/2019

Todo o processo é realizado através do ‘Portal’, disponibilizado pela DGEG, na qual são apresentados, processados e comunicados os pedidos de registo, licenciamento e demais procedimentos estabelecidos por o Decreto em questão. A instalação das UPAC, terão de ser executadas por uma EI ou Técnico responsável pela execução. Contudo, para uma potência inferior a 350 W, não é especificada qualquer obrigação, pelo que poderá ser realizada pelo explorador da UPAC.

- Criação da modalidade de autoconsumo coletivo

Um dos novos conceitos que é elaborado no Decreto-Lei nº 162/2019, é o autoconsumo coletivo. Até aqui, a produção de uma UPAC teria que estar diretamente conectada a um único ponto de consumo. Assim, deixa de existir este paradigma, e passa o investimento, produção e consumo para exploração de unidades de produção para autoconsumo, poder ser realizado por um conjunto de consumidores que o pretendam fazer. A instalação das UPAC coletivas, fica condicionada a várias regras:

- o Possuir um técnico responsável, segundo os termos da Lei nº 14/2015
- o Entidade gestora de autoconsumo coletivo, a qual fica responsável pela gestão operacional da atividade
- o Criar regulamentos internos de entrada e saídas de membros
- o Quando instalada em condomínios, em que haja necessidade de uso de zonas comuns, deve ser obtida uma licença de uso por parte do condomínio

- Criação do Regime das Comunidades de Energia Renovável (CER)

O outro conceito são as Comunidades de Energia Renovável (CER). As CER, tal como a é definida no Decreto Lei 162/2019,⁹ uma pessoa coletiva constituída nos termos do presente Decreto Lei, com ou sem fins lucrativos, com base numa adesão aberta e voluntária dos seus membros, sócios ou acionistas, os quais podem ser pessoas singulares ou coletivas, de natureza pública ou privada, incluindo, nomeadamente, pequenas e médias empresas ou autarquias locais, que seja autónoma dos seus membros ou sócios, mas por eles efetivamente controlada, desde que cumulativamente:

- i) Os membros ou participantes estejam localizados na proximidade dos projetos de energia renovável ou desenvolvam atividades relacionadas com os projetos de energia renovável da respetiva comunidade de energia;
- ii) Os referidos projetos sejam detidos e desenvolvidos pela referida pessoa coletiva;
- iii) A pessoa coletiva tenha por objetivo principal propiciar aos membros ou às localidades onde opera a comunidade benefícios ambientais, económicos e sociais em vez de lucros financeiros; “

Remuneração do excesso de energia produzida

O sistema de remuneração, pago à energia excedente produzida UPAC, poderá ser feito de várias maneiras. A energia excedente pode ser transacionada:

- a) A energia excedente pode ser transacionada em mercado organizado ou bilateral, incluindo através de um contrato de obtenção de energia renovável
- b) Através de um participante no mercado¹⁰ contra o pagamento de um preço acordado entre partes
- c) Através de um facilitador de mercado¹¹

Contagem de energia

A contagem dos dados da UPAC, tal como já regulado no Decreto anterior, é feita por telecontagem, sendo que o equipamento deverá ser capacitado para fazer a contagem que entra e que sai para a RESP, para o caso de sistemas On-Grid.

No novo Decreto é obrigatória a contagem de energia elétrica produzida pela UPAC, no caso de autoconsumo coletivo e autoconsumo individual quando ligada à RESP, e com potência instalada superior a 4 kW. O processo de contagem para as CER será igual ao realizado pelas unidades de autoconsumo coletivo.

Além disso, será obrigatório a contagem para casos em que sejam utilizadas unidades de armazenamento ligadas à UPAC, quando estas se encontram interligadas com a RESP.

Tarifas devidas pelas UPAC

⁹“A pessoa coletiva tem por objetivo principal propiciar aos membros ou às localidades onde opera a comunidade benefícios ambientais, económicos e sociais em vez de lucros financeiros”[24]

¹⁰Segundo o DL 162/2019 um “«Participante no mercado», a pessoa singular ou coletiva, envolvida na agregação, ou que é operador de serviços de resposta da procura ou de serviços de armazenamento de energia, que compra e vende eletricidade, através da colocação de ofertas de compra e venda de energia elétrica, nos mercados de eletricidade, incluindo os mercados organizados, contratos bilaterais e contratação de energia elétrica através de meios e plataformas não regulamentadas;”

¹¹Segundo o DL 162/2019 um «Facilitador de mercado», o comercializador que estiver sujeito à obrigação de aquisição da energia produzida pelos produtores em regime especial com remuneração de mercado;

Estas tarifas estão associadas ao uso da utilização da RESP para transportar energia elétrica entra a UPAC e as IU. Assim, as entidades que utilizem a RESP para transacionar energia entre a UPAC e a IU ficam sujeitas ao pagamento de tarifas ao operador da rede. A forma de obter o valor destas tarifas é da responsabilidade da ERSE, sendo estabelecidas no Regulamento tarifário, elaborado pela mesma.

Fiscalização e inspeções periódicas

A fiscalização dos cumprimentos fica a cargo da Entidade Nacional para o Setor Energético (ENSE), que deverá verificar a conformidade com o Decreto lei em vigor e com o Regulamento técnico de Qualidade. Quanto a inspeções periódicas, será da responsabilidade da DGEG para o proceder. Ficam sujeitas inspeções periódicas as UPAC com potência superior a 20,7 kW. Para as UPAC com uma potência inferior a 1 MW, terão uma periodicidade de 10 anos e em todos os outros casos terão uma periodicidade inferior de 8 anos.

Ligação à RESP

Tal como acontece com as instalações de serviço particular, todo o processo de instalação de UPAC, que se pretenda funcionar interligada com a RESP para consumo ou venda de excedentes, terá de ser acompanhado pelo operador da rede de distribuição. No diagrama da Figura 2.8, obtido a partir do “Manual de ligações à rede elétrica de serviço público”[11], são demonstrados os passos que devem ser tomados ao longo do processo de instalação de uma UPAC On-Grid.

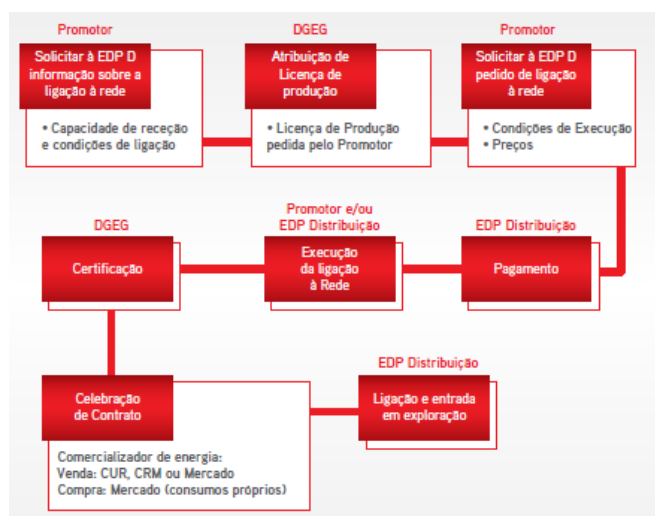


Figura 2.8: Passos de ligação à RESP de uma UPAC. Figura obtida a partir do “Manual de ligações à rede elétrica de serviço público, EDP Distribuição S.A.”

2.1.4 Funções da Direção Geral de Energia e Geologia, Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, Entidade Nacional para o Setor Energético

A DGEG, ERSE e ENSE tem papéis fundamentais no controlo do serviço energético português. Nesta secção, irá fazer-se um resumo das funções mais importantes desempenhadas por estas entidades.

A Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) “é o órgão da Administração Pública Portuguesa que tem por missão contribuir para a conceção, promoção e avaliação das políticas relativas à energia e aos recursos geológicos, numa ótica do desenvolvimento sustentável e de garantia da segurança do abastecimento.”[26]

A Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) “é a entidade responsável pela regulação dos setores do gás natural, da eletricidade e do gás de petróleo liquefeito (GPL) em todas as suas categorias.”[27]

A Entidade Nacional para o Sector Energético (ENSE), é a entidade central de armazenagem, na constituição e manutenção da parcela considerada estratégica das reservas de segurança nacionais de petróleo e produtos petrolíferos e acrescentando competências em matéria de fiscalização e supervisão de todas as áreas do setor energético.”[28]

A DGEG é o principal interveniente no que toca a instalações de serviço particular, responsabilidades atribuídas na Lei nº14/2015.

A DGEG fica responsável pelo reconhecimento das várias entidades, que intervêm na conceção de uma instalação, bem como pela avaliação e averbamento das entidades responsáveis por garantir a conformidade das instalações. Além do controlo previsto no parágrafo anterior, cabe a DGEG:

- Criar e gerir uma plataforma eletrónica onde serão processados todos os passos que devem ser cumpridos para a aprovação de uma instalação de serviço particular;
- Produzir e disponibilizar procedimentos para o registo e demais procedimentos técnicos para a realização das instalações e vistorias;
- Realizar as vistorias para a atribuição dos certificados de exploração, caso seja necessária obtenção do mesmo;
- Promover auditorias e verificações técnicas das instalações. Promover ações para a sensibilização da realização de manutenção e aumento da eficiência das instalações;
- Promover ações para sensibilizar contra os riscos nas instalações;
- Promover e apoiar na formação das entidades responsáveis pelos processos.

A ERSE é responsável pela supervisão do mercado e da sua regulação. Assim, as atividades de projeto, execução e inspeção estão sujeitas a supervisão, no que toca: i) ao bom funcionamento dos mercados de serviços relativos a instalações elétricas; ii) à promoção de eficiência e à monitorização da formação dos preços; e iii) à regulação da qualidade de serviço que visa garantir padrões mínimos de qualidade nos serviços prestados.

Tal como acontece nas instalações de serviço particular, a DGEG é a responsável pela decisão, coordenação e acompanhamento da atividade de autoconsumo. Assim compete à DGEG, controlar todos os processos, tais como:

- Criar, manter e gerir o Portal, onde serão efetuados os registos e avaliação do processo de licenciamento;
- Controlar a emissão de certificados de equipamentos e construir uma lista de equipamentos certificados;

- Elaborar e manter uma lista de EI e entidade inspetoras;
- Divulgar informação pertinente respeitante às soluções de produção de energia com UPAC.

A DGEG deve elaborar o Regulamento Técnico e de Qualidade e o Regulamento de Inspeção e Certificação, que permita fazer uma melhor avaliação nas UPAC, garantindo o cumprimento de todos os requisitos mínimos que devem ser cumpridos.

A ERSE, como entidade reguladora dos serviços energéticos, tem várias funções no que toca às unidades de autoconsumo. A ERSE é responsável por aprovar o Manual de Procedimentos de Gestão do Sistema, onde estão os termos que os consumidores devem pagar pelas alterações da ligação da UPAC à RESP, bem como definir as tarifas de utilização das RESP. Cabe ainda à ERSE, definir as matérias de medição, leitura e disponibilização de dados.

No caso da UPAC, uma nova entidade tem um papel muito ativo. A ENSE, é a responsável por realizar as fiscalizações nas UPAC, garantido que existe cumprimento das obrigações previstas no Decreto-Lei nº 162/2019 e no Regulamento Técnico e de Qualidade.

Na atividade mobilidade elétrica coube à DGEG, face ao escrito na Portaria nº 220/2016, que estabelece as potências mínimas e as regras técnicas para instalações ligadas à mobilidade elétrica, criar um guia técnico, denominado de Guia Técnico Das Instalações Elétricas Para Alimentação de Veículos Elétrico. Neste guia, aprovado pelo diretor geral da DGEG no despacho nº5/2018, são estabelecidos os pressupostos que devem ser tomados para o projeto e instalação os vários tipos de pontos de carregamento. A DGEG, deverá articular com a entidade gestora da rede de mobilidade elétrica a realização de inspeções segundo o Decreto 90/2014.

A ERSE tem a responsabilidade de aprovar o Regulamento de Mobilidade Elétrica, onde é estabelecido o Manual de Procedimentos da Atividade da Entidade Gestora da Rede de Mobilidade Elétrica (EGME), ainda como, os sujeitos intervenientes do setor de mobilidade elétrica e as suas relações comerciais. A ERSE terá de avaliar e aprovar os contratos de adesão à mobilidade elétrica.

2.1.5 Funções dos Técnicos Responsáveis e Entidades Responsáveis

Como descrito no Decreto Lei nº 96/2017, com as devidas alterações promovidas na Lei nº 61/2018, observou-se que um projeto elétrico é composto por determinadas fases, em que todas têm atribuídas determinadas regras e, dependendo o tipo de instalação e da sua potência, tem obrigatoriamente de ter associados técnicos responsáveis para essas funções. Na Lei nº 14/2015[10] são estabelecidos os requisitos de acesso e exercício da atividade das entidades e profissionais responsáveis pelas instalações elétricas.

- a) Entidades instaladoras (EI) de instalações elétricas de serviço particular e técnicos responsáveis pela execução a título individual;
- b) Entidades inspetoras de instalações elétricas de serviço particular (EIIEI);
- c) Técnicos responsáveis pelo projeto e exploração de instalações elétricas de serviço particular.

Além do regulado na Lei nº 14/2015, o acesso às profissões e entidades regulamentadas no âmbito do mesmo, tem a necessidade de aprovação prévia por parte da DGEG. Esta aprovação é

realizada após os responsáveis técnicos que tenham condições legais para exercer façam o registo no Sistema de Registo de Instalações Elétricas de Serviço Particular (SRIESP). No caso dos engenheiros ou engenheiros técnicos, os próprios têm de estar aprovados pelas respetivas Ordens, enquanto os responsáveis técnicos que não tenham este tipo de formação, devem apresentar um documento de aprovação que é cedido por parte da DGEG.

Entidades Instaladoras (EI) ou técnicos responsáveis pela execução de instalações elétricas de serviço particular

As Entidade Instaladoras (EI) ou o técnico responsável têm como função a realização prática do projeto elétrico na instalação. Depois de executada a instalação, que quando assim o exigir deve ser baseada no projeto, será emitida a Declaração de Conformidade, no caso da execução ser feita por parte de EI, ou o termo de responsabilidade pela execução, sendo da responsabilidade do técnico responsável pela execução. O acesso à atividade de execução de instalações elétricas particulares tem alguns requisitos que devem ser cumpridos. Podem exercer a atividade de execução de instalações elétricas de serviço particular as pessoas coletivas, ou empresários em nome individual, que em território nacional exerçam legalmente a atividade de construção. No caso das EI, devem dispor de técnico responsável pela execução com as devidas habilitações, bem como do alvará por parte do Instituto dos Mercados Públicos do Imobiliário e da Construção (IMPIC). No caso dos técnicos responsáveis pela execução, que queiram assumir a título individual, instalações elétricas de serviço particular, apenas podem executar até uma potência de 41,4 kVA, devendo possuir um seguro de responsabilidade civil, válido para qualquer dano cerebral/corporal em terceiros.

Técnico responsável pela execução

Para que um técnico responsável pela execução possa exercer funções, terá de ter um nível que formação que se enquadre numa das seguintes situações:

- a) Título de engenheiro da especialidade de engenharia eletrotécnica;
- b) Título de engenheiro técnico da especialidade de engenharia de energia e de sistemas de potência;
- c) Qualificação de dupla certificação, que é obtido por via das modalidades de educação e formação do sistema nacional de qualificações (SNQ), que integrem unidades de formação de curta duração na área de instalações elétricas e respeitem os conteúdos definidos no catálogo nacional de qualificações (CNQ); ou
- d) Conclusão, com aproveitamento, das unidades de curta duração na área de instalações elétricas, integradas no CNQ.

Para os técnicos responsáveis que apenas detenham as habilitações presentes em c) e d), exercendo atividade dentro de uma EI, apenas podem executar instalações elétricas de serviço particular de tensão até 30 kV e potência até 250 kW.

Técnicos responsáveis pelo projeto e pela exploração de instalações elétricas de serviço particular

Técnico responsável pelo projeto

No capítulo 2.1.1 pode-se observar as várias fases para a realização de uma instalação de serviço particular, verificando que existe um grande número de instalações que necessitam da realização de um projeto. É da responsabilidade do técnico responsável pelo projeto a realização de todo o projeto e de submeter o Termo de Responsabilidade do Projeto na plataforma da DGEG. O técnico responsável pelo projeto de instalações elétricas de serviço particular deverá possuir o título de engenheiro da especialidade de engenharia eletrotécnica ou engenheiro técnico da especialidade de engenharia das energias ou sistemas de potência, nos termos do regime jurídico aplicável ao exercício da atividade dos profissionais de construção, estando sujeito ao cumprimento das regras legais.

Técnico responsável pela exploração (TRE)

O Técnico responsável pela exploração (TRE) é o técnico que fica responsável por controlar as instalações e verificar que durante a sua exploração se encontra tudo conforme as regras. Este é responsável por inspecionar, no mínimo de duas vezes por ano, as instalações e submeter na plataforma SIRESP os relatórios de exploração e o Termo de responsabilidade. O TRE deverá comunicar deficiências ao à entidade exploradora, bem como eventuais melhorias na instalação. Ficar responsável por dar instrução ao pessoal da manutenção da instalação elétrica. O TRE de instalações elétricas de serviço particular, cuja presença seja exigida nos termos do respetivo regime liberal, deverá possuir:

- a) Título de engenheiro da especialidade de engenharia eletrotécnica
- b) Título de engenheiro técnico da especialidade de engenharia de energia e de sistemas de potência
- c) Qualificação de dupla certificação, de pelo menos nível 4 no SNQ, que integrem unidades de formação de curta duração na área de instalações elétricas e respeitem os conteúdos definidos no CNQ (catálogo nacional de qualificações); ou
- d) Mínimo de 12º ano de escolaridade e Conclusão, com aproveitamento, das unidades de curta duração na área de instalações elétricas, integradas no CNQ. No caso dos técnicos responsáveis que apenas possuam as habilitações de c) e d), apenas poderão assumir a responsabilidade por instalações elétricas até 30 kV e potência até 250 kVA.

Ainda, o técnico responsável pela exploração terá de possuir um seguro de responsabilidade civil que cubra quaisquer danos corporais ou cerebrais sofridos por terceiros. O técnico responsável pela exploração poderá exercer funções de técnico responsável pela execução.

Entidades inspetoras (EIIEI)

No seio das instalações elétricas de serviço particular, cabe às entidades inspetoras (EIIEI) garantir o cumprimento dos regulamentos de segurança, das regras técnicas e as normas relativas à qualidade dos materiais e equipamentos utilizados. A aprovação das EIIEI, é da responsabilidade da DGEG, que devem avaliar e aprovar, tendo em conta o conteúdo que está descrito na Lei nº 14/1015.

Na Figura 2.9 estão representadas as atuais entidades inspetoras a exercer em Portugal.

N.º ref.º	Entidades Inspetoras de Instalações Elétricas (EIIEL)			
	Nome Entidade	Morada (sede)	Código Postal	Telefone
Ec2.4/1	ISQ - Instituto de Soldadura e Qualidade	Av. prof. Dr. Cavaco Silva n.º 33 (TagusPark)	2780-994 Oeiras	214228100
Ec2.4/2	LIQ - Laboratório Industrial da Qualidade	Zona Industrial Norte, Rua do Portinho n.º 1431	3750-320 Águeda	234612770
Ec2.4/3	IEP - Instituto Eletrotécnico Português	Rua São Gens, 3717	4460-817 Custóias	229570000
Ec2.4/6	AP - Técnicas de Inspeção Unipessoal, Lda.	Rua Ferreira Lemos n.º 319, 3.º dto	4780-468 Santo Tirso	968321705
Ec2.4/7	CERTITEL - Certificações, Unipessoal, Lda.	Av. 5 de Outubro 38 A	8000-076 Faro	289821900
Ec2.4/8*	GATECI - Gabinete Técnico de Certificação e Inspeção, Lda.	Av. Do Conde, n.º 5716-D	4465-093 S. Mamede de Infesta	224957173
Ec2.4/9*	AnalíticaES, Lda.	Avenida Aliança Povo MFA PTMA, C306	2804-537 Almada	919503653
Ec2.4/10*	Imagem Urbana, Lda.	Rua 19, n.º 1909	4500-399 Espinho	220045443

Figura 2.9: Entidades inspetoras. Imagem obtida no site da Direção Geral de Energia e Geologia, Janeiro 2020

Entidades formadoras (EF)

Na Lei nº 14/2015, são estabelecidas as condições pretendidas para se poder exercer a função de Entidade Formadora (EF). Estas serão responsáveis pela formação dos técnicos responsáveis que foram referenciados na alínea c) dos técnicos responsáveis pela execução e exploração. Estas entidades devem ser certificadas pela DGEG, regendo-se pelos termos do regime quadro para a certificação de EF.

2.2 Documentação e conceitos gerais relativos a Projetos de Instalações de Utilização

Neste subcapítulo, é feita uma análise e serão abordados várias noções que devem ser consideradas em projetos de instalações de utilização (IU) industriais. Será referida documentação para a realização do projeto como: regulamentos, regras e normas em vigor em 2020. Ainda, serão explicados alguns conceitos fundamentais na construção e planeamento das várias fases do projeto de uma IU.

2.2.1 Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e Seccionamento (RSSPTS)

A utilização de Postos de Transformação (PT) e Postos de Seccionamento (PS) serve para proceder ao seccionamento e transformação de energia elétrica de Média Tensão (MT) para Baixa Tensão (BT), alimentando a rede de distribuição de energia em BT. Os PT são utilizados em casos como o projeto realizado, em que a IU utiliza uma elevada potência de BT, pelo que a distribuidora elétrica aconselha ao uso ¹² de um PT.

¹²A Operadora de distribuição não é obrigada a ligar à rede de BT instalações não coletivas de contagem única de energia com uma potência superior a 200 kVA.

O Decreto nº 42895, 31 de março de 1960[12], promovidos pelas alterações dos Decretos Regulamentares nº 14/77 e 56/85 e, Portaria nº 37/70, estabelecem as regras que devem ser obedecidas na projeção e exploração de PT e/ou PS.

O documento é dividido em 4 capítulos onde são facultadas informações gerais sobre PS e PT, sobre proteções, quadros e aparelhos e, finalmente, sobre as condições impostas sobre as instalações.

2.2.2 Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Elétrica e Regulamento da Rede de Distribuição

No seguimento de uma lógica de montante para jusante na alimentação de um sistema elétrico, posteriormente a ser realizado o abaixamento da tensão nos PT, é necessário fazer a distribuição da energia elétrica até aos clientes. Em casos como urbanizações ou IU com uma área extensa e com potências elevadas, as mesmas fazem uso de redes de distribuição de energia em BT para fazer chegar a energia até ao local em que seja necessitado.

No Decreto Regulamentar nº 90/84[14], é redigido o Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Elétrica de Baixa Tensão(RSRDEEBT), onde são consultadas as regras que devem constituir num projeto da rede de distribuição em BT. Informações como condições mínimas de instalação, tipos de materiais e dimensionamento podem ser verificadas neste regulamento.

No anexo II, da portaria nº 596/2010[29], é estabelecido o Regulamento da Rede de Distribuição (RRD). Este regulamento tem por objetivo estabelecer as condições técnicas de exploração das redes nacionais de distribuição de energia elétrica, bem como as condições técnicas de ligação de instalações produtoras e consumidoras a estas redes. Relativamente às redes de distribuição BT, o regulamento aplica-se aos operadores das redes de distribuição em BT, às entidades que tenham direito de proceder à atividade de distribuição em BT, e a todos os clientes e produtores, ligados fisicamente às redes de distribuição em BT.

2.2.3 Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão

As Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão (RTIEBT) definem um conjunto de normas de instalação e de segurança a observar nas instalações elétricas de utilização de baixa tensão.

As RTIEBT foram estabelecidas em 2006, na Portaria nº 949-A/2006. Estas regras surgem pela primeira vez no Decreto lei nº 226/2005[15] , resultado de vários documentos que vigoram até à data como os Regulamentos de Segurança de Instalações de Utilização de Energia Elétrica e de Instalações Coletivas de Edifícios e Entradas. Para a criação das RTIEBT foi considerada documentação do Comité Europeu de Normalização Elétrica (CENELEC) e da Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC).

As RTIEBT são subdivididas em 8 secções, onde se definem as regras de instalação e segurança de instalações elétricas, para o correto funcionamento de instalações de utilização com uma tensão inferior a 1000 V.

Entretanto, já foram feitas alterações ao documento emitido pela Portaria nº 949-A/2006, como é o caso do documento já referido na legislação de mobilidade elétrica: na Portaria nº 252/2015, estabelece as regras técnicas referentes à mobilidade elétrica.

2.2.4 Outra regulamentação. Normas Operadora de Rede Distribuição Portuguesa (EDP Distribuição S.A.), Normas Nacionais e Internacionais

A operadora da rede de distribuição (ORD)(EDP Distribuição S.A.) tem um papel fundamental nos sistemas elétricos de energia, constituindo e fornecendo determinadas normas que devem ser respeitadas e seguidas pelos projetistas. A ORD apresentou um documento, “Catálogo de Documentos Normativos EDP” [30], que estabelece todas as normas, que devem ser consultadas pelo projetista para a escolha de materiais e condições que devem ser cumpridas.

Como exemplo, a rede de distribuição em baixa tensão no caso em estudo (capítulo 3), apesar da utilização exclusiva pela entidade exploradora da IU, foi realizada consoante as normas apresentadas no parágrafo anterior, com a vantagem de que futuramente poder, por qualquer motivo, passar a ser da exploração da concessionária de distribuição.

Noutros casos, devido à falta de informação e regulamentação nacional, é necessário recorrer a normas internacionais. São exemplos:

- Norma internacional ISO 8995:2002(E)[31], publicada pela Comissão Eletrotécnica Internacional (CIE), que como se irá observar mais à frente no projeto pode ser utilizada para consultar valores médios de iluminação em determinados espaços, utilizado no dimensionamento luminoso.
- Regulamentação IEC 60529[32] e IEC[33] 62262, que como irá se visto no subcapítulo seguinte, descreve os graus de proteção IP e IK.

2.2.5 Influências externas e seleção de equipamentos elétricos

A seleção de equipamentos segundo, as influências externas, é um passo muito relevante que deve ser considerado na projeção de uma IU. Consoante o tipo de condições a que são submetidos os materiais, estes devem ter capacidade física para suportar determinadas ações, não colocando em risco o seu funcionamento e o funcionamento das instalações.

Na secção 32 das RTIEBT são definidas as principais influências externas que devem ser averiguadas, para depois poder escolher do grau de proteção dos aparelhos.

As influências externas presentes nas RTIEBT são designadas por um código constituído por 2 letras e 1 algarismo. Na Tabela 2.1 é demonstrado o significado de cada elemento do código e feito um resumo de quais as letras e números fazem parte do mesmo.

Tabela 2.1: Fatores de influências externas. Tabela criada a partir das RTIEBT

Codificação das influências externas		Categorias de influências		
Elementos constituintes do código	Significado de cada elemento	Ambiente	Utilização	Construção de edifícios
1º Letra do código	Categoria Geral	A	B	C
2º Letra do código	Natureza da influência	A até S	A até E	A B
Número	Classe	1 a 8	1 a 5	1 e 2 1 a 4

Definida a codificação de acordo com as RTIEBT (secção 32), é necessário escolher o grau de proteção dos equipamentos. O grau de proteção define a resistência dos produtos a diferentes tipos de agressões provocadas pelo exterior. Os graus de proteções são divididos em duas categorias: IP e IK.

• IP é regulado pelo IEC, regulamentação IEC 60529[32], e estipula a resistência do material a agentes sólidos e à água. O primeiro número é referente à entrada de agentes sólidos externos e o segundo indica a resistência à entrada água. Estes podem ter um valor entre IP 00 (nenhuma resistência) e IP 68 (resistência máxima às influências externas referidas).

Na Tabela 2.2 está representado o significado de cada um dos números que pode compor o código IP.

Tabela 2.2: Identificação dos códigos IP

Nível	1º Dígito – Entrada de corpos sólidos	2º Dígito – Entrada de água
0	Sem proteção	Sem proteção
1	Protegido contra entrada de elementos sólidos até 50mm	A água não deve entrar quando cair, a partir de 200mm de altura em relação ao equipamento, por 10 minutos (a proporção de 3-5 mm por minuto).
2	Protegido contra entrada de elementos sólidos até 12,5mm	A água não deve entrar quando deixa cair, por 10 minutos (a proporção de 3-5 mm por minuto). O referido teste será realizado 4 vezes à proporção de um para cada 15° de giro, tanto na vertical como na horizontal, iniciando-se a partir da posição normal de trabalho.
3	Protegido contra entrada de elementos sólidos até 2,5mm	A água nebulizada não deve entrar a um ângulo de até 60° à direita e à esquerda da vertical a uma média de 11 litros por minuto e a uma pressão de 800-100 kN / m por um tempo não inferior a 5 minutos.
4	Protegido contra entrada de elementos sólidos até 1mm	Não entre na água lançada de qualquer ângulo a uma média de 10 litros por minuto e a uma pressão de 800-100 kN / m durante um tempo não inferior a 5 minutos
5	Protegido contra a entrada de pó (quantidade que entra não afeta o funcionamento)	Não entre na água lançada diretamente (de qualquer ângulo) não deve entrar por meio de um bocal de 6,3 mm de diâmetro, a uma média de 12,5 litros por minuto e a uma pressão de 30 kN / m durante um período não inferior a 3 minutos e a uma distância não inferior a 3 metros.
6	Totalmente protegido contra a entrada de pó	Não entre na água lançada diretamente (de qualquer ângulo) por meio de um bocal de 12,5 mm de diâmetro, uma média de 100 litros por minuto e uma pressão de 100 kN / m durante um tempo não inferior a 3 minutos e a uma distância não inferior a 3 metros
7		O equipamento deve suportar sem qualquer filtração a imersão completa a 1 metro durante 30 minutos.
8		O equipamento deve suportar sem qualquer filtração a imersão completa e contínua à profundidade e durante o tempo especificado pelo fabricante do produto com o consentimento do cliente, mas sempre que as condições forem mais severas do que as especificadas para o valor 7.

• O IK[33], é regido por um padrão internacional, IEC 62262. O IK indica a resistência mecânica contra impactos nocivos que poderão danificar o produto. No caso do IK, o valor mínimo de resistência é 00 e o máximo é 10. Na tabela 2.3, estão representado os tipos de IK:

Tabela 2.3: Identificação dos códigos IK

Grau IK	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
Altura impacto (cm)	-	7,5	10	17,5	25	35	20	40	29,5	20	40
Peso (g)	-	200	200	200	200	200	500	500	1700	5000	5000
Energia Impacto (J)	-	0,15	0,2	0,35	0,5	0,7	1	2	5	10	20

Na secção 512.2, das RTIEBT, são definidos os graus de proteção mínimos que os equipamentos devem possuir de acordo com a codificação apresentada nas influências externas.

2.2.6 Proteção Contra Contatos Diretos e Indiretos

Como observado, os equipamentos devem ser escolhidos consoante as condições externas que os rodeiam. Aliada a esta avaliação, devem ser estudadas e previstas condições contra eventuais contactos diretos e indiretos de pessoas e animais com equipamentos em tensão.

Proteção contra contatos diretos

O contato direto de uma pessoa ou animal pode ser conseguido por forma a isolar as partes ativas, colocar barreiras e invólucros que não possibilite que as partes ativas sejam tocadas e, ainda, colocação de obstáculos que garantam que as pessoas não consigam alcançar as partes condutoras dos equipamentos elétricos.

Proteção contra contatos indiretos

A proteção contra contatos indiretos, segundo a secção 231.3: “é prevenção dos contactos perigosos das pessoas ou de animais com massas que fiquem em tensão em consequência de um defeito.” A proteção contra contatos indiretos pode ser conseguida através de classes de isolamento do equipamentos.

Como se demonstrará de seguida, segundo as RTIEBT, secção 2, existem 4 tipos de classes de isolamento que podem ser optados para fazer a proteção contra contatos indiretos.

Equipamento da classe 0

Nos equipamentos de classe 0, a proteção contra os choques elétricos é garantida pelo isolamento principal do aparelho.

Neste caso, na possibilidade de existir um defeito que ultrapasse a massa do aparelho, a proteção deve ser assegurada pelas condições do local, que deve ser constituído por materiais isolantes (Figura 2.10). Quando utilizado o equipamento de classe 0, não é prevista a utilização de nenhum condutor de proteção ligado às massas dos equipamentos.



Figura 2.10: Representação de um equipamento de classe 0

Os equipamentos de classe 0 só são permitidos em locais que simultaneamente cumpram com as seguintes condições:

- Locais não condutores, que pode ser conseguido por utilizar paredes e pavimentos isolantes
- Impossibilidade de uma pessoa tocar simultaneamente em duas partes condutoras

Equipamento da classe I

Os equipamentos de classe I, são equipamentos em que a proteção contra os choques elétricos não é garantida, apenas, pelo isolamento principal. Nestes equipamentos é prevista uma medida extra de segurança, por meio da ligação das partes condutoras a um condutor de proteção que estará ligado à terra (Figura 2.11). Assim, é garantindo que as partes condutoras acessíveis não se tornam perigosas caso exista algum defeito do isolamento principal, uma vez que a corrente de defeito irá circular pelo condutor de proteção e não pela pessoa.

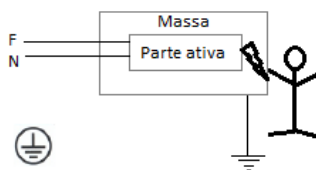


Figura 2.11: Representação de um equipamento de classe I. O símbolo no canto inferior esquerdo representa um equipamento de classe I

Em conjunto com equipamentos de classe I, devem usados equipamentos diferenciais, que ao detetar uma fuga de corrente (verificando uma diferença de corrente que circula entre a fase e o neutro), cortam o fornecimento de energia para garantir a segurança dos utilizadores das instalações.

Equipamento da classe II.

Nos equipamentos de classe II, como verificável pela Figura 2.12, a proteção contra os choques elétricos não é garantida, apenas, pelo isolamento principal. Para os equipamentos da classe II são previstas medidas complementares de segurança, tais como o isolamento suplementar¹³ ou o isolamento reforçado¹⁴.

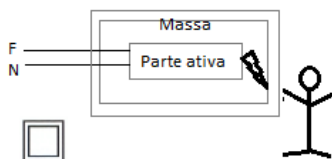


Figura 2.12: Representação de um equipamento de classe II. O símbolo no canto inferior esquerdo representa um equipamento de classe II

Este tipo de equipamento é considerado extremamente seguro, tendo uma baixa probabilidade de existir um defeito que afete ao mesmo tempo as duas camadas de isolamentos. Nos equipamentos de classe II, a massa do equipamento não deve ser ligada à terra, nem é necessário precaver condições mínimas nas instalações.

Equipamento da classe III

Nos equipamentos de classe III a proteção contra os choques elétricos é garantida por meio de uma alimentação à tensão reduzida de segurança (TRS) ou à tensão reduzida de proteção (TRP). A tensão de alimentação desses dispositivos é baixa o suficiente, que o contato com uma massa em tensão, não colocará em perigo a vida de pessoas e animais.

¹³Segundo as RTIEBT, o isolamento suplementar é um isolamento independente, previsto para além do isolamento principal, com vista a garantir a proteção contra os choques elétricos em caso de falha do isolamento principal.

¹⁴Segundo as RTIEBT, Isolamento das partes ativas que garante uma proteção contra os choques elétricos não inferior ao conferido por um duplo isolamento



Figura 2.13: Símbolo utilizado para definir equipamento com isolamento classe III

Na Tabela 2.4, obtida através do quadro 22A das RTIEBT, pode ser observado o valor da TRS ou TRP máximo, que deve utilizado nestes equipamentos.

Tabela 2.4: Domínios das tensões em corrente alternada (valores eficazes). Tabela obtida a partir do Quadro 22A da RTIEBT

TRS e TRP	Domínios das tensões em corrente alternada (valores eficazes)		
	Sistemas ligados diretamente à terra		Sistemas não ligados diretamente à terra
	Entre Fase e terra	Entre Fases	Entre Fases
	$U \leq 50 \text{ V}$	$U \leq 50 \text{ V}$	$U \leq 50 \text{ V}$

2.2.7 Esquemas de ligação à terra: TN, TT e TI

A escolha correta dos elementos de proteção de uma instalação elétrica, minimiza ou elimina o risco de incêndio, explosão ou choques elétricos decorrentes do seu uso. O esquema de ligação à Terra é um aspecto fundamental a ter em conta. Segundo a secção 3, das RTIEBT, são três os esquemas de ligação que podem ser utilizados: TT, TN e IT[34].

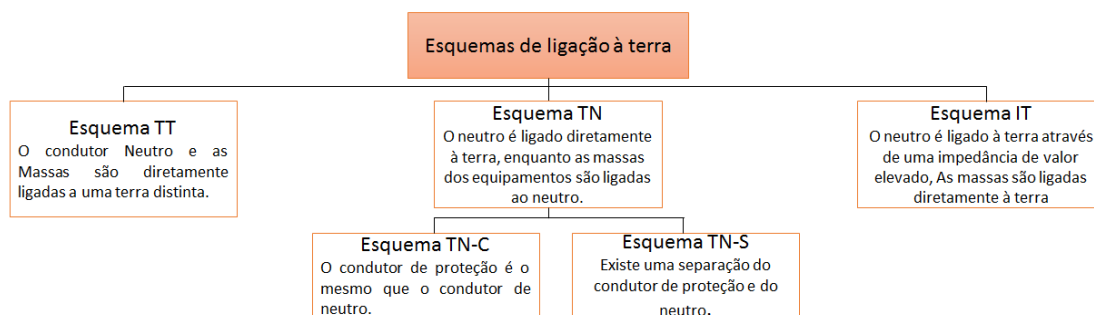


Figura 2.14: Tipos de esquemas de ligação à terra. Esquemas de ligação à Terra em baixa tensão, Hager

Um bom sistema de terras tem por objetivo assegurar [35]:

- **Segurança das pessoas:** Tem como função evitar que se criem potenciais perigosos de toque e de passo, através da criação de terras de baixa impedâncias e de interligar todas as massas dos aparelhos à terra, evitando contatos com tensões que podem ser perigosas

- **Proteção do equipamento e do edifício:** Criar ligações diretas à terra, com um valor muito baixo de impedância, dos equipamentos e dispositivos de proteção de forma a escoar correntes prejudiciais causadas por defeitos ou descargas atmosféricas

Esquema TT

O esquema TT, como verificado na definição, o condutor neutro e as massas são diretamente ligadas à terra através de condutores de proteção. Este é o sistema mais utilizado dentro das instalações de utilização e nos PT privados. Na Figura 2.15 está representado um esquema TT.

No sistema TT, no caso de existir um defeito e a massa se encontrar com potencial, o circuito passará a ser formado pelo condutor de fase, o condutor de proteção que liga a massa à terra, sendo fechado pelo secundário do transformador. Assim, caso exista um contato indireto com a massa, evita-se que o circuito seja fechado pela pessoa, colocando esta fora de perigo.

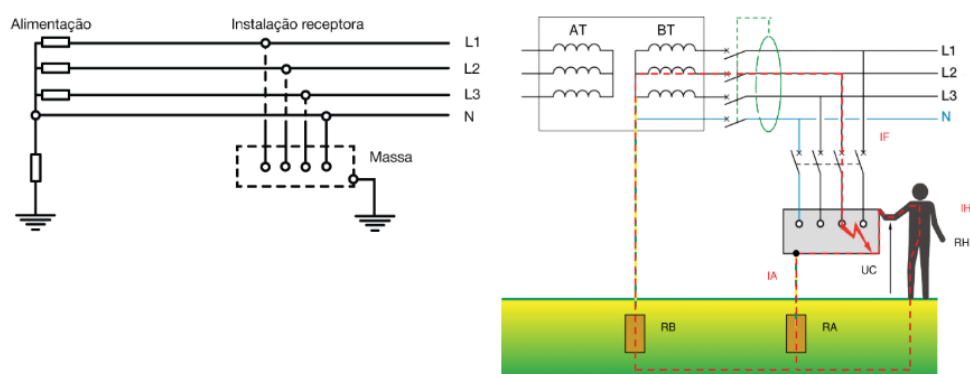


Figura 2.15: Esquema TT. Imagem obtida a partir da documentação Hager sobre “Esquemas de Ligação à terra”, subcapítulo “Esquema TT”

Em conjunto com o sistema TT, devem ser utilizados dispositivos diferenciais que tem como função detetar a existência de fugas de corrente, atuando rapidamente e abrindo o circuito.

O valor da resistência de terra é obtido através da fórmula 2.1, em que para o valor da corrente diferencial (que é a diferença de corrente para o qual pretendemos que seja feita a abertura do aparelho) e para a tensão de contato (U_c) de 50 V.

$$U_c = RA * I_{\Delta n} \quad (2.1)$$

Na Tabela 2.5, são representados alguns valores típicos de diferenças e o valor da resistência de terra máximo onde podem ser colocados os eletrodos de terra.

Tabela 2.5: Valores de correntes diferenciais normalmente utilizados e valores de terra para uma tensão de contato de 50 V

	Corrente diferencial $I_{\Delta n}$	RA (Ω)
Média sensibilidade	500 mA	100
	300 mA	167
	100 mA	500
Alta sensibilidade	30 mA	1667

Esquema TN

O sistema TN (2.16 é muito utilizado em redes de distribuição, devido a ser mais económico, onde a neutro é ligada diretamente à terra, enquanto as massas são ligadas ao condutor neutro.

No caso das rede distribuição a terra global de neutro não poderá ser superior a 10 ohm (Artigo nº 136 do RSRDEEBT), devendo cumprir com as condições impostas no Artigo nº 134 ¹⁵.

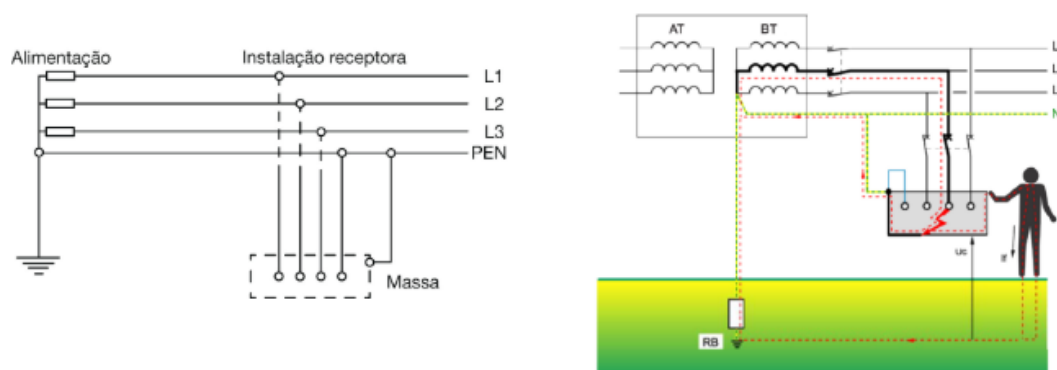


Figura 2.16: Esquema TN. : imagem obtida a partir da documentação Hager sobre “Esquemas de Ligação à terra”, subcapítulo “Esquema TN”

No sistema TN, na existência de um defeito o circuito irá fechar-se pelo condutor e pelo neutro. Desta forma, é proibida a colocação de sistemas de proteção no condutor neutro, correndo o risco de não se fechar o circuito e a corrente de defeito se escoar pela pessoa.

Ao contrário do sistema TT, não são usados diferenciais. A proteção contra contatos indiretos é assegurado pelos dispositivos de proteção contra sobre intensidade como fusíveis ou disjuntores.

Dentro do esquema TN, existem dois tipos de esquemas: o esquema de distribuição TN-C, que o condutor neutro e de proteção é o mesmo condutor, tal como pode ser verificado na Figura 2.17 primeira alimentação, e o esquema de distribuição TN-S, que existe separação do neutro e do condutor de proteção, segunda alimentação na Figura 2.17. Tal como na figura, eles podem ser usados em conjuntos, desde que o circuito TN-S esteja sempre a jusante do TN-C.

¹⁵Artigo 134 das RSRDEEBT

- 1) Em cada canalização principal, sendo que qualquer troço superior a 300 m irá possuir um neutro ligado à terra.
- 2) Pontos singulares da rede como: pontos de derivação de canalizações principais e de concentração de ramais.
- 3) O número total de ligações à terra deverá satisfazer: (número de ligações)/(1000 m de rede) ≥ 1 .

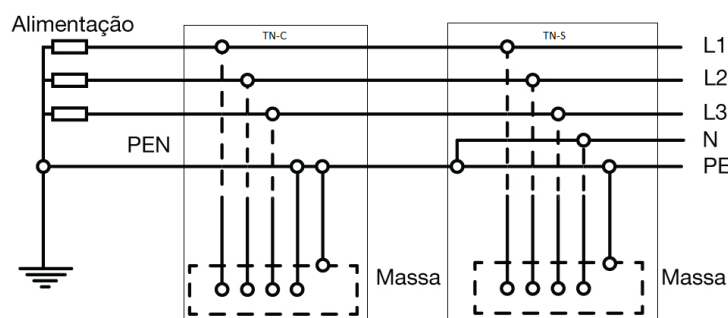


Figura 2.17: Representação do esquema TN-C e TN-S. Imagem obtida a partir da documentação Hager sobre “Esquemas de Ligação à terra”, subcapítulo “Esquema TN”

Esquema IT

O esquema de distribuição IT, o neutro é isolado da terra por uma resistência de valor muito elevado, já as massas são ligadas à terra através de um condutor de proteção. O sistema IT é utilizado em esquemas de segurança, onde se pretende que não existe cortes de energia quando ocorrer um defeito de energia.

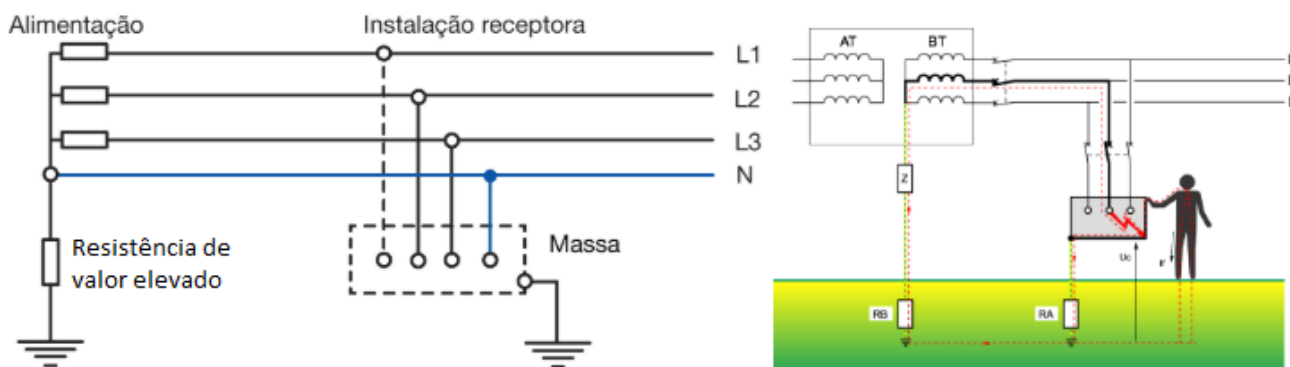


Figura 2.18: Esquema IT. Resistência de valor elevado superior a 1000 ohm. Imagens obtidas a partir da documentação Hager sobre “Esquemas de Ligação à terra”, subcapítulo “Esquema IT”

No sistema IT, o neutro pode não ser distribuído, ou é ligado à terra por uma impedância de valor elevado, o que faz com que a corrente de defeito a circular vai tomar um valor muito pequeno, não havendo obrigatoriamente abertura dos sistemas de proteção. O valor da resistência de terra deve ter um valor tal que a tensão de contacto seja inferior ao valor permitido de 50 V.

No sistema IT deve ser previsto um controlador permanente de isolamento (CPI)¹⁶, que servirá para sinalizar o aparecimento de um primeiro defeito entre uma parte ativa e a massa. Caso ocorra um segundo defeito e o primeiro ainda não tenha sido eliminado, consoante o modo de ligação das massas à terra, deve ser suspensa a alimentação do sistema:

¹⁶UM CPI “é um dispositivo que controla, continuamente, o isolamento de uma instalação elétrica. Este dispositivo destina-se a sinalizar qualquer redução significativa do nível de isolamento da instalação, com a finalidade de permitir a pesquisa da avaria antes da ocorrência de um segundo defeito, evitando assim o corte da alimentação.” RTIEBT

- Quando as massas estejam ligadas à terra, individual ou em grupo, o esquema IT transforma-se num esquema TT
- Quando as massas estão interligadas, o esquema IT passa a TN

2.2.8 Sistemas de condução de energia elétrica: Tipos de cabo, constituição e utilização

A utilização da energia elétrica nas instalações pressupõe a existência de sistemas de ligação entre as fontes de energia e os aparelhos de utilização. Estes canais de ligação são constituídos por canalizações elétricas, representando uma das partes mais essenciais de um projeto de instalações elétricas.

Os condutores isolados, componente que permite a transmissão de energia elétrica, e os cabos, conjunto de um ou vários condutores isolados, são componentes essenciais das canalizações, assumindo uma diversidade significativa para responder às inúmeras situações de estabelecimento e de utilização. A escolha do tipo de cabo que usamos é influenciada por diversos fatores que dependem de instalação para instalação.

Consoante o tipo de instalação, bem como a maneira como irão ser colocados, é necessário ter em atenção às características do cabo, garantindo que este verifica as condições para ser instalados. Ainda assim, muitas vezes será necessário a utilização de componentes externos (como tubos, calhas).

Os cabos podem ser constituídos pela alma condutora, por invólucros isolantes e, se necessário, por ecrãs metálicos (conhecidos por blindagens). [36]



Figura 2.19: 1 alma; 2 isolamento; 3 bainha interior; 4 fios de continuidade; 5 Ecrã(blindagem); 6 bainha exterior. Imagem obtida a partir da documentação Infortiel "Condutores e cabos, parte II"

Podemos encontrar cabos mono ou multicondutores:

1. No caso dos cabos monocondutores são constituídos apenas por condutor isolado, Figura 2.20 na imagem da esquerda. Os cabos monocondutores são utilizados para secções mais elevadas.
2. No caso dos cabos multicondutores, são formados por vários condutores isolados, como pode ser observado na Figura 2.20 imagem da direita.

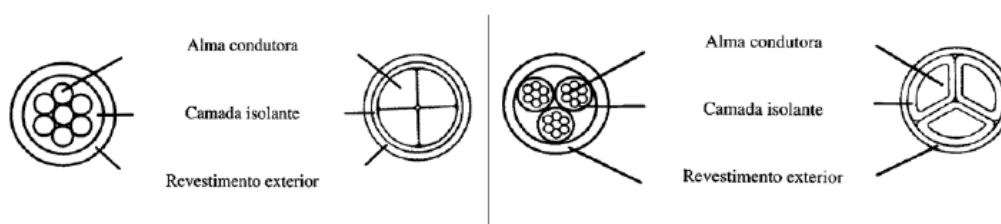


Figura 2.20: Imagem da esquerda cabo monocondutor e na imagem da direita está representado um cabo multicondutor "Cabos de Energia", J. Neves dos Santos

Alma condutora

A alma condutora é o elemento que tem a função de conduzir a energia elétrica. Os materiais mais utilizados nas almas condutoras são o cobre ou o alumínio. Eventualmente, podem ser usados outros materiais, como por exemplo ligas de cobre ou alumínio com aço, quando seja necessário aumentar a resistência mecânica do cabo em detrimento da eficiência de condução. As almas podem ser constituídas por um só fio, ou por vários fios cabeados (multifilares), o que permite serem realizados com diversos graus de flexibilidade.

Resistência linear dos condutores

A alma condutora, consoante o material utilizado, é caracterizada pela sua resistividade ¹⁷, que varia conforme o tipo de material utilizado na alma condutora. Na Tabela 2.6, é representado o valor de resistividade dos materiais mais recorrentes, o cobre e o alumínio.

Tabela 2.6: Resistividade dos cabos e coeficiente de Termoresistividade, documento "Tabelas, Regras e Dados Diversos", J. Neves dos Santos

Material	ρ Resistividade a 20 °C ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$)	α Coeficiente de Termoresistividade a 20 °C ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Cobre	17,5	0,00395
Alumínio	28,7	0,0038

A obtenção do valor da resistência linear do material, que irá ser utilizada no dimensionamento, é obtida segundo a expressão 2.2:

$$R = \rho * \frac{L}{S} \quad (2.2)$$

R (Ω/km) Resistência do condutor

ρ ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$) Resistividade à temperatura ambiente¹⁸

L (km) Comprimento

S (mm^2) Secção do condutor

¹⁷Resistividade é a oposição de um material à passagem de corrente elétrica. Quanto maior for o seu valor, mais dificilmente o material permite a passagem de carga elétrica. A unidade no SI é o ρ/m

¹⁸Na dissertação, ao longo dos cálculos, o valor considerado como temperatura ambiente foi 20°C.

Pela fórmula, pode-se perceber que a resistência varia de secção para secção, sendo que secções de valor mais elevado possuem um valor mais baixo. Isto deve-se ao facto de existir uma maior distribuição da resistividade por uma maior área.

Os valores das secções são valores standard, encontrando-se os mesmo valores de secção em todos os fabricantes (nas figuras A.1 e A.2 em anexo do capítulo 2, podem ser observadas secções standard e valores de resistências). Quando são usados cabos que utilizam condutores neutro e de proteção, devem ser consultadas as secções 524,2/524,3 e 543,1 das RTIEBT, respetivamente, onde estão estabelecidas as regras para o uso de secções reduzidas.

O comportamento da resistividade, e consequentemente, a resistência das almas condutoras tem a particularidade de variar conforme a temperatura a que estão submetidos. Assim, dependendo da carga que irá circular a cada momento e das condições a que são sujeitos os cabos, o valor da resistividade vai variar de acordo com a expressão 2.3:

$$R(\theta 2) = R(\theta 1) * [1 + \alpha(\theta 2 - \theta 1)] \quad (2.3)$$

$R(\theta 1)$ (Ω/km) Resistência do cabo, normalmente fornecido à temperatura de 20° C ($\theta 1=20^\circ\text{C}$)

$R(\theta 2)$ (Ω/km) Resistência do cabo à temperatura pretendida.

$\alpha(^{\circ}\text{C}^{-1})$ Coeficiente de Termoresistividade a 20 °C

Nos anexos referentes ao capítulo 2, na figura A.4 são representados fatores de correção da resistência para determinadas temperaturas. Como é possível observar pelo recurso à fórmula, o aumento de temperatura irá influenciar negativamente, visto que irá resultar num aumento do valor da resistência, diminuindo a condutividade e resultando numa queda de tensão superior para o mesmo cabo à temperatura ambiente.

Reatância linear dos condutores

O valor da reatância é obtido a partir do valor de indutância dos cabos que é fornecida pelos fabricantes.

$$X = 2\pi * f * l \quad (2.4)$$

X (Ω/km) Reatância do condutor

f (Hz) Frequência. O valor de frequência da rede é 50 Hz.

l (H/km) Indutância dos cabos

Nas maioria das instalações de BT, devido ao fator de potência elevado ¹⁹, e do valor da reatância muito inferior em relação à resistência dos cabos de BT, leva a correntes indutivas relativamente baixas. Para simplificação dos cálculos o valor de reatância ser desprezado. No entanto, ao longo deste documento optou-se, para uniformidade e maior exatidão, o uso da reatância dos condutores.

¹⁹Nas habitações de BT o fator de potência é considerado muito próximo de 1, sendo que em BT não é cobrada a energia reativa consumida. Na maioria das indústrias, a maior consciencialização dos exploradores no que toca à eficiência de energia, resulta que sejam usadas baterias de condensadores para fazer a correção do fator de potência que faz com que este valor seja muito perto de 1.

Os valores das reatância, consoante as secções, podem ser verificados na Figura A.3 em anexo do capítulo 2.

Isolamento

O isolamento é o conjunto de isolantes que entram na construção de um cabo, destinado a isolar as partes ativas. O condutor pode possuir várias camadas isolantes:

- Isolamento principal: Isolamento das partes ativas cuja falha pode provocar um risco de choque elétrico.
- Isolamento suplementar: Isolamento independente, previsto para além do isolamento principal, com vista a garantir a proteção contra os choques elétricos em caso de falha do isolamento principal. A utilização de um isolamento principal e suplementar é chamado de duplo isolamento.
- Isolamento reforçado: Isolamento das partes ativas que garante uma proteção contra choques elétricos.

Atualmente, na larga maioria dos cabos, o isolamento dos é realizado à base de isolamentos em Policloreto de Vinilo (PVC) e o Polietileno Reticulado (PEX/XPLE).

Na Tabela 2.7, está representado as temperaturas máximas de funcionamento e temperaturas máximas de curto circuito (CC) dos isolamentos. Como constatado acima, esta temperatura irá influenciar o comportamento do cabo, aumentando o valor de resistência e, consequentemente, diminuição da condutividade do mesmo.

Tabela 2.7: Dados de temperatura dos cabos consoante o tipo de isolamento. Tabela construída a partir das RTIEBT e do documento "Tabelas, Regras e Dados Diversos", J.Neves dos Santos

Tipo de isolamento	Tmáx de funcionamento [°C]	Tmáx em Curto Circuito [°C]
PVC (≤ 300 mm ²)	70	160
PVC (>300 mm ²)	70	140
XPLE	90	250

O XPLE tem a vantagem de suportar temperaturas mais elevadas que o PVC, no entanto apresenta um custo mais elevado.

Ecrãs e blindagem, Armadura e Bainha

Na parte exterior do cabo [36] podem ser utilizadas outras camadas que tem funções como o aumento de condutividade, proteção mecânica contra choques e proteção contra agentes corrosivos, ou seja, garantir a proteção do cabo contra elementos que possam influenciar a sua condutividade.

As utilizações destes materiais na proteção dos cabos devem ser consideradas consoante a localização onde são instalados.

Os ecrãs e blindagens são constituídos por materiais condutores ou semicondutores, com a função de regularizar o campo elétrico no seu interior.

A armaduras e as bainhas são inseridas nas partes exterior do cabo com funções, essencialmente, de proteção do cabo.

As armaduras asseguram a proteção mecânica, sendo constituídas por fitas de aço.

As bainhas, tal como as armaduras, tem uma função de proteção do cabo. Normalmente, usado o PVC, protegem o cabo contra o envelhecimento e corrosão provocados por agentes exteriores, com a vantagem de ser não propagante no caso de chamas.

Condições especiais dos cabos

Cada vez mais, começam a ser utilizados cabos com tipos de condições especiais, chamados de cabos Ignífugos [37], que podem apresentar caraterísticas como:

- Baixa opacidade dos fumos libertados (ls); baixa toxicidade dos gases libertados (lt); baixa corrosividade e condutividade dos gases libertados (la); isentos de halogéneos (zh)
- Retardante à chama ou ao fogo
- Resistência ao fogo

A utilização de cabos com estas caraterísticas permite que os cabos reduzam, tanto quanto possível, o risco de incêndio e que não contribuam para alimentar o mesmo, quando este aconteça.

Sistema de identificação dos condutores

O sistemas de identificação de cores nos condutores, segue a norma de cores IEC 60445 [38]:

Monofásico

Para os condutores monofásicos é usada a norma de cores da Tabela 2.8:

Tabela 2.8: Esquema de cores convencionais em condutores monofásicos "Esquemas e diagramas", Indusmelec

Condutor fase	Condutor Neutro	Condutor de proteção	Norma
Castanho ou Preto	Azul	Verde e amarelo	IEC 60445

Trifásico

Para os cabos trifásicos, a norma de cores da Tabela 2.9:

Tabela 2.9: Esquema de cores convencionais em condutores trifásicos "Esquemas e diagramas", Indusmelec

Condutor fase			Condutor Neutro	Condutora proteção	Norma
Fase 1	Fase 2	Fase 3			
Castanho	Preto	Cinzentos	Azul	Verde e amarelo	IEC 60445

Generalidades sobre os cabos

Assim, a forma como os cabos são constituídos pode ter várias configurações, variando de local para local. Consoante as condições onde serão instalados, os cabos devem prever (mais ou menos) condições que lhes permitam estar protegidos contra as diferentes influências externas a que são submetidos.

A título de exemplo as redes de distribuição. Nas redes de distribuição, segundo a norma DIT-C14-100/N²⁰, de 2019, podem ser realizadas via subterrânea ou área. Na primeira, deve ser usado o cabo LSVAV/LVAV, que é um cabo constituído por armadura para resistir às condições físicas impostas de serem subterrâneos. Nas linhas áreas são usados cabos LXS, que não são providos de armadura, não estando sujeito às condições físicas do anterior.

2.2.9 Sistema de Proteção

Na realização de um projeto elétrico uma escolha adequada e um dimensionamento correto dos sistemas de proteção pode evitar grandes danos nas instalações, como prevenir o desgaste dos cabos e a proteção das instalações e dos aparelhos que são alimentados pelo circuito.[39]

Nas RTIEBT, secção 431.1, “os condutores ativos devem ser protegidos contra as sobrecargas (veja-se 433) e contra os curtos-circuitos (veja-se 434) por um ou mais dispositivos de corte automático”. Assim, existem alguns aparelhos que podem ser utilizados para fazer a proteção dos sistemas de energia, que conforme as RTBIET, secção 432.2, os principais sistemas de proteção são:

Fusíveis

O fusível é um sistema de proteção constituído por um fio condutor²¹ inserido dentro de um invólucro. Este fio está calibrado para funcionar até à sua intensidade nominal (I_n). Quando este valor é ultrapassado, o fio condutor irá fundir, tanto mais rápido quanto mais elevado for o valor da corrente que irá passar pelo fio.[40][41]

²⁰Norma DIT-C14-100/N, encontrada no Catálogo de Documentos Normativos EDP” edição 2019.5, de novembro de 2019, falado na parte inicial do subcapítulo

²¹Este fio condutor é normalmente de prata, cobre, chumbo, estranho, cádmio, alumínio, zinco, níquel ou ligas destes materiais.



Figura 2.21: Imagem representativa de um fusível, com o fio condutor que funde quando ultrapassado o I_n . Imagem obtida a partir de "Eletrotécnica Básica: Aparelhos de Proteção", Voltimum

Os fusíveis são caracterizados pela sua corrente nominal (I_n), que é a corrente para o qual estes devem atuar, e pelo seu poder de corte, valor máximo para o qual o fusível consegue, em determinadas condições, cortar correntes de sobrecarga e sobreintensidade, garantindo a proteção dos aparelhos. Existem fusíveis de ação lenta, conhecidos por gG, utilizados ao longo do documento²², e os fusíveis de ação rápida, tipo aM e aR.

Na Figura 2.22, está representada a relação intensidade-tempo de fusão, que representa a curva média²³ característica do fusível. Como é verificável o fusível não funde para o seu valor de corrente nominal estipulada, mas apenas para correntes superiores, sendo tanto mais rápido atuar quando maior o valor da corrente.

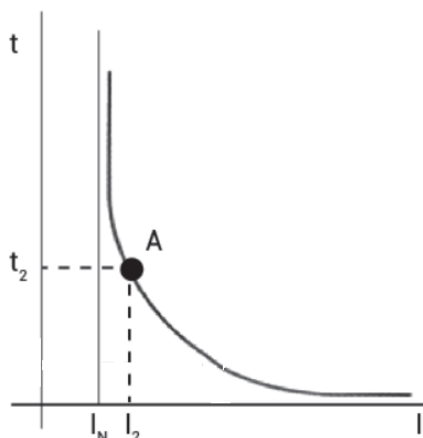


Figura 2.22: Imagem de um fusível, com o fio condutor que funde quando ultrapassado o I_n . Imagem obtida a partir de "Eletrotécnica Básica: Aparelhos de Proteção", Voltimum

Para os fusíveis gG é ainda definida a corrente convencional de funcionamento (I_2), que é valor de corrente para o qual o fusível atua durante o tempo convencional²⁴, utilizado para a verificação da condição de sobrecarga.

²²Neste documento, apenas são considerados os fusíveis gG, sendo que estes são usados na proteção de sobrecargas e curto circuito, enquanto os fusíveis aM e aR são utilizados unicamente na proteção de curto circuitos.

²³“Média” uma vez que o fusível na verdade é caracterizado por duas curvas características. Uma curva a frio e uma a quente.

²⁴Tempo convencional: para um I_n até 63 A tempo convencional 1h; $63 A < I_n \leq 160 A$ o tempo convencional é 2h; $160 A < I_n \leq 400 A$ o tempo convencional ; $I_n > 400 A$ o tempo convencional é 4h).

Os valores de I_2 são estabelecidos segundo a Norma EN 60269-2, de acordo com a Tabela 2.10.

Tabela 2.10: Valores da corrente convencional de funcionamento I_2 segundo a norma CEI 60269-1

Corrente estipulada	Corrente convencional de funcionamento I_2
$I_n < 4 \text{ A}$	$2,1 I_n$
$4 \text{ A} < I_n \leq 16 \text{ A}$	$1,9 I_n$
$I_n > 16 \text{ A}$	$1,6 I_n$

Na Figura 2.23, está representada a característica de funcionamento de um fusível, F, e a curva de fadiga térmica admissível na canalização protegida, C. A curva C representa o tempo que o cabo aguenta para uma determinada corrente sem se degradar.

Admitindo que as curvas F e C se intersetem numa ponto para uma corrente de I_a , pode deduzir-se que para valores de corrente de curto circuito mínimo superiores ao I_a , a proteção atuará antes de haver deterioração do cabo, sendo que a curva C tem um tempo superior ao tempo de desgaste, ou seja da curva F. Assim o tempo de atuação do aparelho para um determinado valor de curto circuito deve ser inferior ao tempo de fadiga térmica do cabo, para que não exista desgaste do cabo (expressão 2.5):

$$t_{atuacao}(I_{cc}^{min}) \leq t_{fadigatermica}(I_{cc}^{min}) \quad (2.5)$$

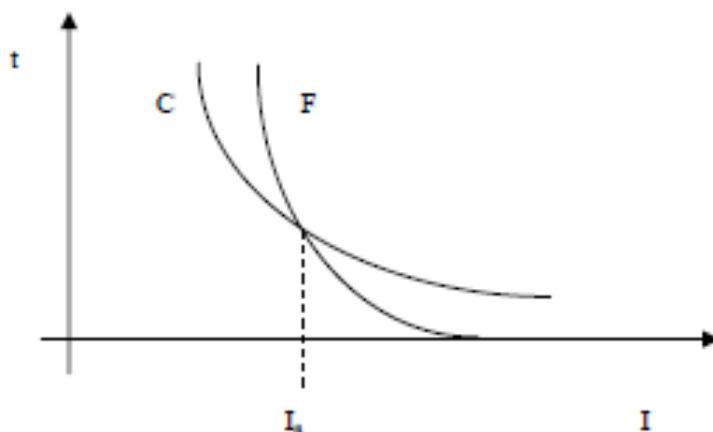


Figura 2.23: F curva de atuação do fusível e C curva de fadiga térmica do cabo. Imagem criada a partir das RSRDEEBT e do documento Instalações Elétricas, 2006, Carlos Coelho

Disjuntores

Um disjuntor, de acordo com as RTIEBT, é “um aparelho mecânico de conexão capaz de estabelecer, de suportar e de interromper correntes nas condições normais do circuito. Este aparelho é ainda capaz de estabelecer, de suportar num tempo especificado, e de interromper correntes em condições anormais especificadas para o circuito, tais como as correntes de curto-circuito”.



Figura 2.24: Imagem de um disjuntor comum monopolar.

Neste documento incidir-se-á nos disjuntores magnetotérmico que tem a capacidade de abertura quando detetam condições anormais de temperatura, sobrecargas e curto circuitos. A vantagem dos disjuntores é a capacidade de poderem ser rearmados, ao contrário dos fusíveis que depois de atuarem tem de ser renovados.[40][41]

Os disjuntores, tal como os fusíveis, são caracterizados pela sua corrente estipulada (I_n), e pelo seu poder de corte. Em disjuntores de gama industrial, é possível regular o valor de I_n , entre valores de 70% a 100 %. Isto permite, aumentar ou diminuir a corrente nominal conforme a carga do recetor.

Quando é dimensionado um disjuntor, é necessário escolher o tipo de curva que o define. A curva deve ser escolhida consoante o tipo de carga que este protege, da seguinte forma:

- Curva B: É utilizada na proteção das cargas mais resistivas, como: aquecimento e outros. A corrente instantânea suportada será cerca de 3 a 5 vezes a corrente estipulada do disjuntor.
- Curva C: É utilizada principalmente na proteção de tomadas de corrente e iluminação fluorescente. A corrente instantânea suportada será cerca de 5 a 10 vezes a corrente estipulada do disjuntor;
- Curva D: É utilizada na proteção de cargas bastante indutivas, com correntes de arranque elevadas (motores elétricos potentes, por exemplo), transformadores, entre outros. A corrente instantânea suportada será cerca de 10 a 20 vezes a corrente estipulada do disjuntor

Existem ainda disjuntores com curva K e Z, que não vão ser referidos neste documento.

Na Figura 2.25[42], está representado o comportamento de atuação dos disjuntores em função da corrente de curto circuito.

As curvas características são constituídas por três zonas: uma primeira zona (zona superior da curva característica) em que é atuado pelo relé térmico para condições de sobrecarga nos equipamentos; a zona inferior da curva característica, em que deve atuar o relé magnético, contra correntes de curto circuito; e uma zona intermédia, que dependerá de vários fatores, podendo atuar qualquer um dos relés.

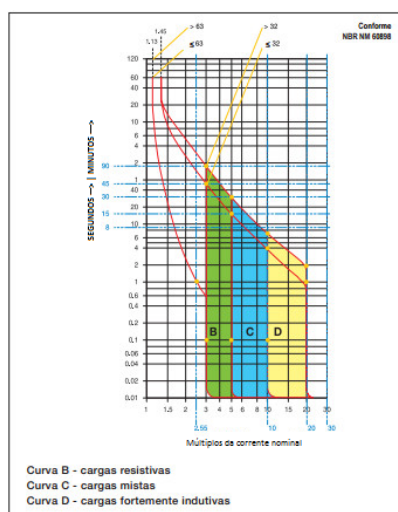


Figura 2.25: Curva dos disjuntores: Principais características, Enio Takafashi, 22 Janeiro 2018

Tal como os fusíveis, é definido valor da corrente convencional de funcionamento. Os valores são representados segundo as normas e fórmulas apresentadas na tabela seguinte.

Tabela 2.11: Valores a corrente convencional de funcionamento I_2

Disjuntor	Norma	Corrente convencional de funcionamento I_2
Disjuntores Domésticos	EN 60898	$1,45 I_n$
Disjuntores Industriais	EN 60947-1	$1,3 I_n$

Nos disjuntores pode ser feita a mesma analogia dos fusíveis para a curva de fadiga térmica e curva de atuação dos disjuntores. Considerando uma corrente I_a , para corrente de curto circuito mínimas superior a I_a o disjuntor vai atuar antes de existir desgaste no cabo de alimentação.

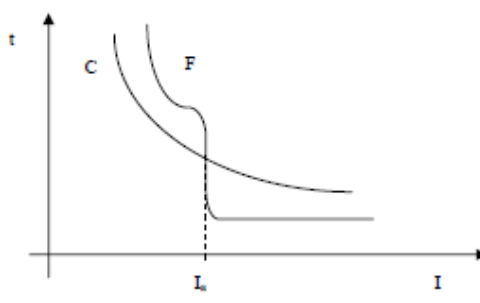


Figura 2.26: F: curva de atuação do fusível e C curva de fadiga térmica do cabo. Imagem criada a partir das RSRDEEBT e do documento Instalações Elétricas, 2006, Carlos Coelho

Interruptores

Um interruptor pode ser definido como um aparelho eletromecânico de conexão capaz de estabelecer, suportar e interromper correntes nas condições normais do circuito, incluindo, eventualmente, as condições especificadas de sobrecarga em serviço. Este aparelho é ainda capaz de suportar, num tempo especificado, correntes nas condições anormais especificadas para o circuito, tais como as resultantes de um curto-circuito.

Diferenciais

Os diferenciais, interruptores diferenciais (IDR) ou disjuntores diferenciais (DDR), é definido pelas RTIEBT, como “um aparelho eletromecânico, ou associação de aparelhos, destinados a provocar a abertura dos contactos quando a corrente diferencial-residual atingir, em condições especificadas, um dado valor pré-definido.” Estes aparelhos, são usualmente utilizados em sistemas de distribuição TT, em que atuam de acordo com o valor de corrente diferencial para o qual são instalados (tabela 2.5).

2.2.10 Formas de distribuição dos cabos de alimentação, caminhos de cabos

A forma de distribuição dos cabos de alimentação pode ser realizada de várias maneiras, sendo que pode variar conforme o tipo de instalação. O modo de instalação vai condicionar o valor máximo da corrente que passa na canalização.

Neste subcapítulo são apresentados os modos de instalação mais convencionais e utilizados nas redes de distribuição em baixa tensão e nas distribuições dentro da instalação de utilização.

Rede de distribuição de energia em baixa tensão

Nas redes de distribuição, o modo de instalação de distribuição dos cabos pode ser feito em valas subterrâneas, que atualmente é o que encontramos em redes urbanas e em instalações industriais, ou através de redes aéreas, que ainda podem ser encontradas na distribuição de energia em redes rurais.

No regulamento de RSRDEEBT são definidas as condições que devem ser cumpridas em cada um dos casos. No caso de utilização das redes subterrâneas, caso utilizado no projeto, os cabos devem cumprir com os artigos nº 57, profundidade mínima de instalação do cabo, e no artigo nº 115, profundidade mínima para travessias de estradas.

Redes internas de alimentação de energia

Os cabos instalados nas instalações podem ser instalados de várias maneiras. Nas RTIEBT são estabelecidos esses modos de colocação no Quadro 52G (Figura 2.27).

Situação	Modos de instalação							
	Sem Fixação	Fixação directa	Condutas circulares (tubos)	Calhas	Condutas não circulares	Caminhos de cabos, escadas e consolas	Sobre isoladores	Cabos auto-suportados
Ocos de construção	21, 25, 73, 74	0	22, 73, 74	-	23	12, 13, 14, 15, 16	-	-
Caleiras	43	43	41, 42	31, 32	4, 24	12, 13, 14, 15, 16	-	-
Enterradas	62, 63	0	61	-	61	0	-	-
Embebidas	52, 53	51	1, 2, 5	33	24	0	-	-
À vista	-	11	3	31, 32, 71, 72	4	12, 13, 14, 15, 16	18	-
Linhas aéreas	-	-	0	34	-	12, 13, 14, 15, 16	18	17
Imersas	81	81	0	-	0	0	-	-

Figura 2.27: Quadro 52 G das RTIEBT com os modos de instalação dos cabos

Nas RTIEBT podem ser consultadas todas as características detalhadas de cada um dos modos de instalação na secção 262. As principais definições, que são usadas em projeto, são:

“Canalização fixa a superfícies de apoio: Canalização instalada sobre uma superfície de apoio (parede, teto, divisória, pavimento, etc.), ou na sua proximidade imediata, constituindo, essa superfície, um meio de fixação e, eventualmente, de proteção.

Caleira: Espaço para alojamento de canalizações, localizado no pavimento ou no solo, aberto, ventilado ou fechado, com dimensões que não permitam a circulação de pessoas, mas no qual as canalizações instaladas sejam acessíveis em todo o seu percurso durante e após a instalação.

Caminho de cabos: Suporte constituído por uma base contínua, dotada de abas e sem tampa. Condutores Isolados fechados, de secção recta circular ou não, destinado à instalação ou à substituição de condutores isolados ou de cabos por enfiamento nas instalações elétricas.

Galeria; Compartimento ou corredor, contendo suportes ou espaços fechados apropriados para canalizações e suas ligações e cujas dimensões permitem a livre circulação de pessoas em todo o seu percurso. Calha: Invólucro fechado por tampa, que garante uma proteção mecânica aos condutores isolados ou aos cabos, os quais são instalados ou retirados por processo que não inclua o enfiamento, e que permite a adaptação de equipamentos elétricos.

Vala: Abertura feita no terreno para colocação de cabos e tapada após a instalação destes. Oco da construção Espaço existente na estrutura ou nos elementos da construção de um edifício e acessível apenas em certas zonas. Escada Suporte para cabos, constituído por travessas horizontais espaçadas, fixas rigidamente a montantes principais.

Braçadeiras: Suportes dispostos espaçadamente e que fixam, mecanicamente, um cabo ou uma conduta.”²⁵

²⁵Definições obtidas a partir das RTIEBT

2.2.11 Cálculo e dimensionamento de instalações de Baixa Tensão

Para o dimensionamento dos aparelhos (cabos, equipamento de proteção) foram realizados os cálculos previstos na RTIEBT, entre outras documentações nacionais. Apesar de na apresentação de um projeto deverem ter de ser cumpridas as condições no dimensionamento que vão ser observadas de seguida, é aconselhável, sendo prática recorrente dos projetistas com experiência optar por deixar margens nos dimensionamento dos equipamentos para eventuais aumentos de carga.

Em seguida, são apresentadas as variáveis e as regras que devem ser cumpridas no dimensionamento de canalizações elétricas.

- S (VA) potência aparente: Potência do circuito alimentar

Para avaliar corretamente o valor de potência a utilizar, no dimensionamento de instalações e equipamentos são utilizados coeficientes de simultaneidade, que permitem traduzir mais fielmente o valor das potências que são utilizadas no dimensionamento.

- Coeficientes de simultaneidade

Para o dimensionamento de uma rede de distribuição, podem ser utilizados os seguinte fatores de simultaneidade.[11]

Para habitações:

$$K_s = 0,2 + \frac{0,8}{\sqrt{n}} \quad (2.6)$$

n número de habitações

Outras instalações:

$$K_s = 0,5 + \frac{0,5}{\sqrt{n}} \quad (2.7)$$

n número de instalações

Para o dimensionamento de quadros elétricos, pode utilizar-se os dados da Tabela 2.12[43].

Tabela 2.12: Coeficientes de simultaneidade a utilizar em quadros elétricos documento “Conceção de instalações elétricas”, Arménio Teixeira

Número de circuitos	Coeficiente de simultaneidade Ks
2 a 3	0,9
4 a 5	0,8
6 a 9	0,7
10 e mais	0,6

Dentro das instalações também podem ser utilizados fatores de simultaneidade(2.13 e 2.14)[43]. conforme o tipo do equipamento que se está alimentar.

Tabela 2.13: Coeficientes de simultaneidade para vários tipos de finalidade. O N é referente ao Número de Tomadas. Documento “Conceção de instalações elétricas”, Arménio Teixeira

Tipo de utilização	Coeficiente de simultaneidade Ks
Iluminação	1
Ar condicionado/aquecimento	1
Tomadas	0,1+0,9/N
Motor mais potente	1
Motor seguinte	0,75
Restantes Motores	0,6 a 1
Aparelhos de elevação	0,7 a 1

Tabela 2.14: Fator de utilização consoante o tipo de recetor. documento “Conceção de instalações elétricas”, Arménio Teixeira

Recetor	Coeficiente de utilização Ku
Iluminação e aquecimento	1
Motores	0,3 a 0,75
Tomadas	Conforme a utilização

O valor da potência a utilizar poderá ser obtido com recurso à fórmula 2.8:

$$S_{fc} = \frac{S}{\cos\Phi} * Ks * Ku * Ke \quad (2.8)$$

S_{fc} (VA) Potência aparente com os devidos coeficientes

Ks coeficiente de simultaneidade

Ku coeficiente de utilização

Ke coeficiente de evolução das cargas. Poderá ser ainda utilizado um coeficiente que represente a evolução das cargas ao longo do tempo

$\cos\Phi$ fator de potência

- I_b (A) Corrente de Serviço, obtida com recurso à potência e tensão nominal

No caso de canalizações monofásicas:

$$I_b = \frac{S_{fc}}{U_{simples}} \quad (2.9)$$

$U_{simples}$ (V) Tensão simples

Para canalizações trifásicas:

$$I_b = \frac{S_{fc}}{\sqrt{3} * U_{composta}} \quad (2.10)$$

U_{composta} (V) Tensão composta

- I_z (A) corrente máxima admissível na canalização. Pode ser obtida a partir dos quadros do anexo III, da secção 50 da RTIEBT, no caso de rede de baixa tensão interna, ou no RSRDEEBT, para as redes de distribuição (poderá também ser utilizado o valor obtido pelas tabelas dos fornecedores). Este valor pode variar dependendo das condições a que é submetido:

o Modo de instalação, quadro 52-G e 52-H. O valor de I_z , obtido o modo de instalação é obtido a partir das tabelas 52-C1 a 52-C30. No caso das redes de distribuição o valor de I_z pode ser obtidos a partir dos valores em anexo do RSRDEEBT.

o Fatores de correção que dependem das condições do ambiente, influência de outros cabos e tipo de isolamento (Anexos III da secção 5 da RTIEBT)

- I'_z (a unidade SI A) corrente máxima admissível na canalização afetada pelos fatores de correção

- I_n (a unidade SI A) corrente estipulada no sistema de proteção, os valores dos fusíveis foram obtidos pela CEI 60269-1. Para os disjuntores utilizou-se a norma EN 60947-1.

- I_2 (unidade SI A) corrente convencional de funcionamento do sistema de proteção. Obtido pelas mesmas normas anteriores.

Na Tabela 2.15, estão representado os valores das corrente estipulada standard usadas nos sistemas de proteção e corrente convencional de funcionamento segundo as normas CEI 60269-1, para fusíveis, EN 60947-1, para os disjuntores.

Tabela 2.15: I_2 dos fusíveis e disjuntores. Fusíveis de acordo com a norma CEI 60269-1 e disjuntores pela norma EN 60947-1

Fusíveis (A)							
I_n	I_2	I_n	I_2	I_n	I_2	I_n	I_2
2	4	20	35	100	160	400	640
4	8	25	44	125	200	500	800
6	11	32	51	160	256	630	1008
8	15	40	64	200	320	800	1280
10	19	50	80	250	400	1000	1600
12	21	63	101	315	504	1250	2000
16	28	80	128				

Disjuntores (A)							
I_n	I_2	I_n	I_2	I_n	I_2	I_n	I_2
6	7,8	32	41,6	160	208	630	819
8	10,4	40	52	200	260	800	1040
10	13	50	65	250	325	1000	1300
12	15,6	63	81,9	315	409,5	1250	1625
16	20,8	80	104	400	520	2000	2600
20	26	100	130	500	650	2500	3250
25	32,5	125	162,5				

Apresentadas as variáveis para os cálculos de dimensionamento, em seguida são demonstradas as condições que devem ser cumpridas no dimensionamento de canalizações e proteções de sistemas elétricos.

Condição de Aquecimento

Na condição de aquecimento é avaliado se a corrente de serviço é inferior à corrente máxima admissível na canalização afetada pelos fatores de correção. Assim é garantido que em condições normais, a corrente nominal que pode circular no cabo não estará a degradar o cabo.

$$I_b \leq I'_z \quad (2.11)$$

Se a condição de aquecimento não for cumprida, deverá ser aumentada a secção do cabo.

Condição de Sobrecarga

A verificação da condição de sobrecarga, prevista na secção 433.2, deve satisfazer, simultaneamente, as duas condições seguintes:

$$I_b \leq I_n \leq I'_z \quad (2.12)$$

$$I_2 \leq 1,45I'_z \quad (2.13)$$

Nesta condição é definida a corrente nominal do sistema de proteção. No caso de a 1ª condição ser respeitada, mas a 2ª não cumprir, deve fixar-se o aparelho de proteção e aumentar a secção do cabo.

Condição de Queda de Tensão

Para o cálculo da queda de tensão no caso de Trifásico equilibrado, utilizou-se:

$$\Delta U(\%) = \frac{(R_F * \cos\Phi + X_F * \sin\Phi) * L * I_b}{U_{simples}} * 100\% \quad (2.14)$$

ΔU Queda de Tensão (%)

R_F (Ω/km) Resistência do condutor à temperatura máxima de funcionamento (tabela 2.7 para PVC e PEX)

X_F (Ω/km) Reatância do condutor

L (m) comprimento da canalização

Para o cálculo da queda de tensão no caso de Monofásico, utilizou-se:

$$\Delta U(\%) = \frac{2(R_F * \cos\Phi + X_F * \sin\Phi) * L * I_b}{U_{simples}} * 100\% \quad (2.15)$$

No caso das instalações monofásico a expressão anterior é multiplicada por 2, devido aos condutor fase e neutro serem percorridos por corrente.

Segundo as RTIEBT, os valores de queda de tensão máximo, devem cumprir com o Quadro 520, Figura 2.28. Se não forem cumpridas estes valores, devem ser aumentadas as secções de maneira a que os valores de queda de tensão se encontrem abaixo dos estabelecidos.

QUADRO 520

Quedas de tensão máximas admissíveis		
Utilização	Iluminação	Outros usos
A - Instalações alimentadas directamente a partir de uma rede de distribuição (pública) em baixa tensão.	3%	5%
B - Instalações alimentadas a partir de um Posto de Transformação MT/BT ⁽¹⁾ .	6%	8%
(1) - Sempre que possível, as quedas de tensão nos circuitos finais não devem exceder os valores indicados para a situação A. As quedas de tensão devem ser determinadas a partir das potências absorvidas pelos aparelhos de utilização com os factores de simultaneidade respectivos ou, na falta destes, das correntes de serviço de cada circuito.		

Figura 2.28: Quedas de tensão a cumprir no dimensionamento de canalizações. Quadro 520 RTIEBT

No caso dos carregadores de mobilidade elétrica, no “Guia Técnico das Instalações Elétricas para Alimentação de Veículos Elétricos”, [19] o valor da queda de tensão entre a origem da instalação e o ponto de conexão de VE não deve ser superior a 5 %.

Condição de Curto Circuito

Para o cálculo das correntes de curto-circuito (I_{cc}) a intensidade de corrente de defeito a utilizar corresponde a um defeito fase-neutro, desde o PT até ao ponto extremo da canalização, uma vez que, de entre os vários defeitos que podem ocorrer, são os curto-circuitos fase-neutro que originam os menores valores de I_{cc} e, consequentemente, o mais elevado tempo de atuação do aparelho de proteção [41].

$$I_{cc_{min}} = I_{cc_{min}}^{FN} = \frac{c * U_n}{R_F^{TmaxCC} + R_N^{TmaxCC}} \quad (2.16)$$

$I_{cc_{min}}^{FN}$ (A) Corrente de curto circuito minima fase neutro

c Coeficiente de valor. Para CC mínimos em BT é usado 0,95, representa a diminuição da queda de tensão

U_n (V) Tensão nominal

$R_F^{TmaxCC}, R_N^{TmaxCC} (\Omega)$ Resistências da fase e do neutro à temperatura máxima de curto circuito desde o PT até ao ponto mais afastado

Obtido o valor do curto circuito mínimo, é utilizada a expressão 2.17, para obter o tempo de fadiga térmica do cabo.

$$\sqrt{t_{fadigatermica}} = k * \frac{Secção_{minima}}{I_{cc_{min}}} \quad (2.17)$$

$t_{fadigatermica}$ (s) tempo para o qual o cabo sofre desgaste para uma determinada corrente de defeito

k é uma constante, que o valor pode assumir os valores da Tabela 2.16:

Tabela 2.16: Constante de k para diferentes tipos de isolamento

k [AS ^{1/2} /mm ²]		Tipo de isolamento
Cobre	Alumínio	
115	76	PVC (alma condutora ≤ 300 mm ²)
103	68	PVC (alma condutora >300 mm ²)
143	94	XPLE

Secção_{mínima} (mm²) a secção mínima a considerar. No cabos monofásicos poderá ser a secção da fase ou neutro, pois apresentam a mesma secção. Nos cabos trifásico, usar a secção inferior, que deverá ser a do neutro nos casos em que seja usado neutro reduzido.

I_{cc,min} (A) corrente de curto circuito mínimo. Deve ser usada a corrente fase-neutro no ponto mais distante da canalização, sendo que este apresenta os valores mais pequenos de I_{cc}, e consequentemente, o tempo de atuação do aparelho mais elevado.

As condições de curto circuito são verificadas, se:

$$t_{\text{atuação do aparelho de corte}} \leq t_{\text{fadigatermica}} \quad (2.18)$$

$$t_{\text{atuação do aparelho de corte}} \leq 5s \quad (2.19)$$

O aparelho de proteção deve ser capaz de verificar simultaneamente as condições (equação 2.18 e 1.19), de modo a garantir uma abertura adequada, segundo as regras.

Poder de Corte

O poder de corte, é a capacidade máxima de atuação do aparelho de corte. Assim, o aparelho de proteção deve possuir um poder de corte superior ao valor de corte de curto circuito máximo no ponto onde for instalado. Ou seja, garantir que a seguinte relação é cumprida [41]:

$$I_{\text{poder de corte}} \geq I_{\text{cc,max}} \quad (2.20)$$

I_{poder de corte} (unidade SI A) Corrente de curto circuito máxima para o qual o aparelho de corte consegue atuar

I_{cc,max} (unidade SI A) Corrente de curto circuito máxima. É utilizado o curto circuito trifásico no ponto onde é instalado.

$$I_{\text{cc,max}} = I_{\text{cc,max}}^{\text{trif}} = \frac{c * U_n}{|R_{20^\circ\text{C}} + X|_F} (p.u.) \quad (2.21)$$

c coeficiente de valor. Para CC máximo em BT é usado 1

U_n (p.u.(V)) Tensão nominal

|R_{20°C} + X|_F (p.u.(Ω)) impedância da fase até ao ponto onde é instalado o aparelho de proteção. Incluir a impedância a montante e do transformadores.

Impedância da rede a montante

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3} * U_b} (p.u.(A)) \quad (2.22)$$

U_b Tensão de base (p.u. (V))

S_b Potência de base (p.u. (VA))

I_b Corrente de base (p.u. (A))

$$Z_b = \frac{U_b^2}{S_b} (p.u.(\Omega)) \quad (2.23)$$

Z_b Impedância de base

$$S'_{cc}(p.u.) = I'_{cc}(p.u.) = \frac{S_{cc}}{S_b} (p.u.(VA)) \quad (2.24)$$

S_{cc} (VA) Potência de CC de rede a montante obtida pelo ORD em MVA

I_{cc} Corrente de CC de rede a montante obtida em p.u.

S'_{cc} Potência de CC de rede a montante em p.u.

$$Z_{eq} = \frac{m * U_n}{S'_{cc}} (p.u.(\Omega)) \quad (2.25)$$

Z_{eq} impedância equivalente da rede a montante (p.u.)

U_n Tensão nominal (p.u.)

m fator de tensão. É utilizado o valor de 1 para o cálculo da corrente de curto circuito máximo

Impedância do transformador

$$X_{transformador} = x_f * \frac{S_b}{S_{transformador}} * \left(\frac{U_{transformador}}{U_{base}} \right)^2 \quad (2.26)$$

x_f ou u_{cc} Potência de curto circuito. Segundo a norma da EDP Distribuição S.A. DMA-C52-125/N para uma tensão do enrolamento primário ≤ 15 kV pode ser usado o valor de 4 %, para tensões superiores usar 5%. (%)

$S_{transformador}$ (VA) Potência aparente do transformador

$U_{transformador}$ (V) Tensão do transformador do lado da tensão de base

Seletividade entre proteções

A última condição a ser verificada nos cálculos é a seletividade entre proteções colocadas em série. Para que exista seletividade entre proteções colocadas em série, é preciso garantir, que

existindo um defeito apenas atua o aparelho que se encontra imediatamente a montante, possibilitando, que o resto da instalação para montante continue em funcionamento, sem ser afetados por esse mesmo efeito.

A seletividade poderá ser total ou parcial[44]:

A seletividade é parcial (Figura 2.29) quando um aparelho de corte para uma determinada corrente de curto circuito consegue atuar não influenciando o aparelho que se encontra a montante. Para correntes mais elevadas de curto circuito as curvas características vão-se sobrepor, podendo um defeito resultar na abertura de dois equipamentos.

Na seletividade total (Figura 2.29), as curvas características nunca se vão intersestar. Assim garante-se que o aparelho que está imediatamente a montante do defeito irá abrir, não causando abertura em outros aparelhos mais a montante.

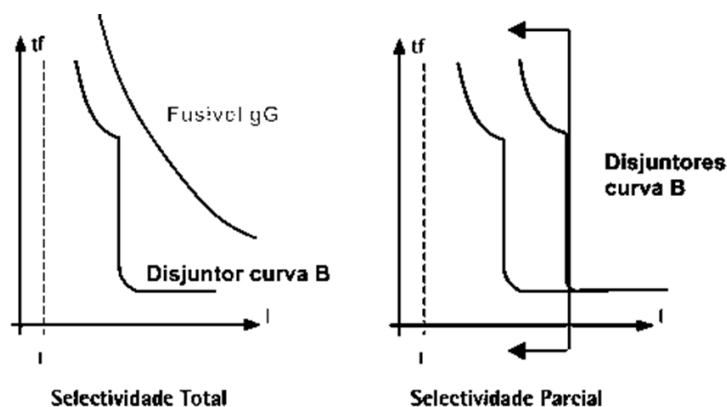


Figura 2.29: Seletividade total e seletividade parcial: imagem obtida Voltimum: Protecção das instalações elétricas contra sobreintensidades, Dez 2012

Seletividade entre fusíveis

Quando existem fusíveis colocados em série, como é o caso de canalizações que derivam umas das outras, em que se torna obrigatório o uso de proteção sempre que haja alteração de secção, para cumprir com a seletividade é necessário garantir que estes apresentam no mínimo uma relação de 1:1,6, ou superior. Esta condição é imposta na norma da DIT-C14-100/N²⁶. [45]

Como verificado pela Figura 2.30, estão representados fusíveis que verificam a condição de seletividade, em que as curvas nunca se intersestam. Assim garante-se que utilizando um aparelho de corte a montante 1,6 vezes superior ao de jusante, o aparelho que irá funcionar é o que está exatamente a montante do defeito.

²⁶Relação 1:1,6 imposta pela norma DIT-C14-100/N da EDP é criada a partir da norma Europeia EN 60 230 e HD 630 .2.1.54

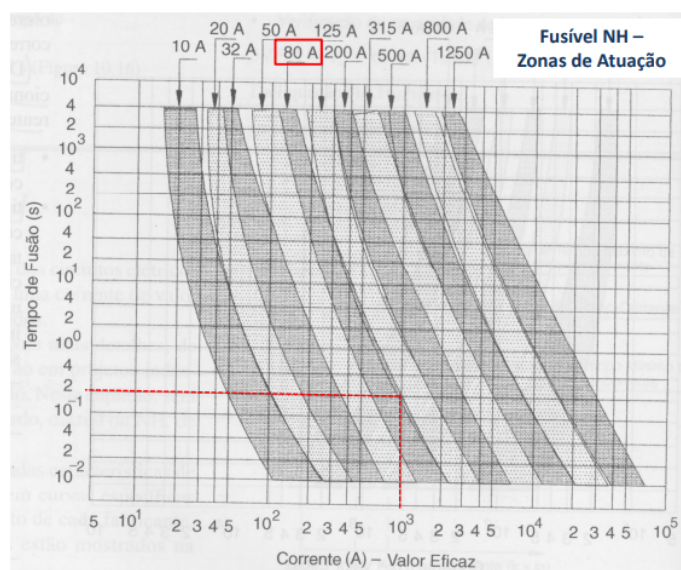


Figura 2.30: Abaco de atuação dos fusíveis em relação à corrente de curto circuito. “Proteção e Coordenação – Dimensionamento da Proteção” <https://www.feis.unesp.br/>

Seletividade entre Disjuntores

A seletividade entre disjuntores deve ser cumprida, evitando que as curvas características dos disjuntores colocados em série se intersetem, conseguindo garantir que apenas o disjuntor exatamente a montante do defeito irá abrir.

Para realizar a seletividade a escolha das curvas dos disjuntores poderá ser uma vantagem, podendo variar a intensidade (seletividade amperimétrica) ou tempo (seletividade cronométrica) das curvas características.

Seletividade entre Diferenciais

Em aparelhos diferenciais que se encontrem instalados em série, segundo as normas: IEC 61009 e 60947-2, a sensibilidade nominal da protecção diferencial a montante deve ser no mínimo 2 vezes superior à da protecção a jusante: $I\Delta n(\text{montante}) > I\Delta n(\text{jusante}) \times 2$.

A utilização desta regra irá garantir que existe seletividade entre os vários equipamentos diferenciais colocados em série.

2.3 Conclusão

Neste capítulo foram abordados vários tópicos direccionadas ao projeto de instalações eléctricas.

Num primeira fase, verificou-se toda a legislação que irá ser aplicada ao projeto, execução e exploração instalações de utilização de serviço particular. As legislações e regulamentos foram dissecados de modo a compreender o processo de realização de um projeto eléctrico, bem como as etapas que devem ser executadas.

Numa segunda fase, são desenvolvidos vários conceitos teóricos que vão ser importantes para abordar um projeto eléctrico.

Capítulo 3

Projeto de Unidade Industrial de Serviço Particular

No capítulo 3, serão descritas as etapas para elaboração de um projeto de uma instalação industrial de Baixa Tensão (BT).[46] Este capítulo será dividido em cinco subcapítulos: i) posto de transformação (PT) e seccionamento (PS); ii) rede de distribuição de energia; iii) fornecimento de energia dentro da instalação; iv) utilização de carregamentos de mobilidade elétrica; e v) projeto de um gerador de socorro.

Trata-se de uma unidade industrial de logística constituída por vários blocos independentes que estarão a cargo de exploração de várias entidades. É uma instalação do tipo Indústria, alimentada em Média Tensão (MT), logo caracterizada como tipo B. Facto de se realizar um projeto de um gerador de socorro, a instalação é também considerada tipo A. Cada um destes subprojetos deve apresentar uma memória descritiva e respetivos desenhos técnicos¹.

3.1 Postos de transformação e Postos de Seccionamento

Um Posto de Transformação (PT) é uma instalação de alta tensão cuja função é a transformação da tensão² por um ou mais transformadores, sendo a tensão utilizada diretamente pelos utilizadores. Posto de Seccionamento (PS) é uma instalação de alta tensão cuja função é a manobra e seccionamento de linhas elétricas. Finalmente, um posto de seccionamento e transformação (PST), refere-se às instalações de alta tensão que asseguram as duas funções.[47]

No capítulo 2 verificou-se que a alimentação da Instalação de Utilização (IU) está sujeita a uma avaliação prévia, por parte do Operadora da Rede Distribuição (ORD), para averiguar a capacidade de alimentação da Rede Elétrica de Serviço Público (RESP) no local do projeto. Por outras palavras, uma IU de BT poderá ser alimentada em BT ou MT (uso de um PT), consoante a sua potência instalada³ e a capacidade da rede no local onde será construído.

Contudo, para IU com elevadas potências instaladas pode ser economicamente mais vantajoso a alimentação em MT. Na indústria com elevados consumos, mesmo existindo viabilidade física de alimentação em BT, poderá não ser a melhor opção, uma vez que o custo médio do quilowatt em BT é aproximadamente 1,4 vezes mais elevado que em MT⁴. Logo, a construção de um PT, poderá

¹Para realizar os desenhos técnicos a ferramenta comumente mais utilizada é o AutoCad. Esta é uma ferramenta muito poderosa que permite fazer desenho técnico com grande exatidão.

²Transformação da tensão em média tensão para a baixa tensão

³Em Portugal, “para potência iguais ou superior a 250 kW é consensual o uso de um PT”.

⁴O custo do quilowatt em BT é aproximadamente 0,21 euros e em MT 0,14 euros.

compensar a nível monetário ao final de uns anos. Na projeção de uma IU deve ser realizado um estudo técnico-económico para a viabilidade de instalação de um PT/PS.

Normalmente, usa-se apenas PT, mas poderá ser imposto um PS pela ORD, em casos como o projeto realizado, em que o PT foi projetado para ser construído dentro da instalação, longe da via pública. Nestes casos, o ORD pode obrigar a instalar um PS nas imediações da instalação para fazer a derivação para os outros PT.

3.1.1 Postos de Transformação

Os PTs podem ter duas topologias: postos de transformação da rede pública (PTD), explorados pela distribuidora para alimentar os cliente de BT, ou postos de transformação cliente (PTC), explorados pelo próprio consumidor como cliente direto de MT.

Quanto ao tipo de PT[11], este pode ter diferentes construções. Os vários tipos de PT estão representado no diagrama da Figura 3.1,:

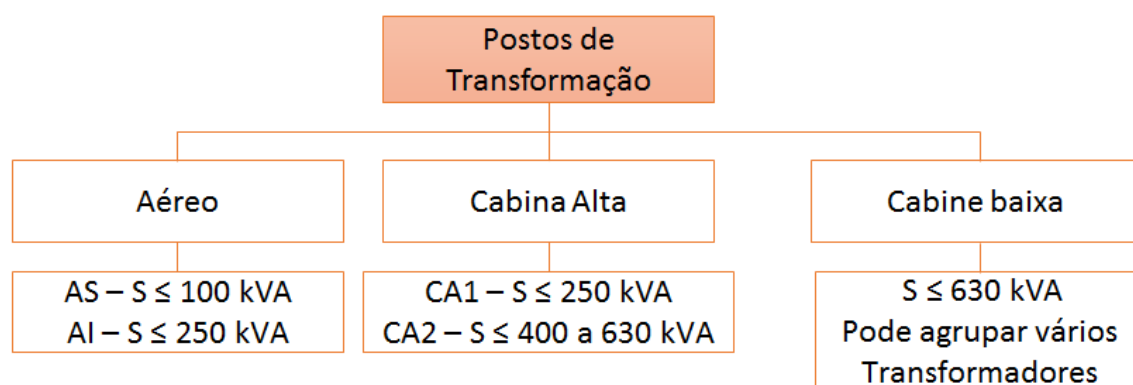


Figura 3.1: Tipos de Postos de Transformação

Os PTs aéreo e de cabine alta são utilizados em redes de distribuição aéreas (mais comum em zonas rurais). O PT de cabine baixa é utilizado em rede subterrâneas ou mistas⁵, onde a componente ambiental ou a qualidade de serviço é mais exigente, sendo a sua utilização mais frequente em zonas urbanas e podendo alojar um ou vários transformadores de potência. Os PTs podem estar associados a PS para garantia da fiabilidade de serviço e de alimentação alternativa.

Quanto à topologia da rede esta pode ser: i) radial (antena) em que a alimentação é garantida apenas por uma única entrada, menos fiável; ou ii) em anel, a alimentação é feita por duas entradas distintas, aumentando a eficácia da alimentação.

No projeto realizado, a rede de distribuição pública em MT chega ao PS de forma subterrânea, derivando através de um cabo de MT para o PTC de cabine baixa. Do PS continua a rede de distribuição pública de MT para outros PTs.

⁵Redes mistas: é a passagem da distribuição de uma rede aérea para uma rede subterrânea

3.1.2 Transformadores a Utilizar

Os transformadores utilizados nos PT seguem a norma DMA-C52-125/N da EDP Distribuição[48]. A EDP Distribuição permite a utilização dos seguintes transformadores a óleo (Figura 3.2):

Potência estipulada S [kVA]	Montagem	Utilização
50	suspensa	exterior
100	suspensa	exterior
160	apoiada	exterior
250	apoiada	exterior
400	apoiada	interior
630	apoiada	interior

Figura 3.2: Tipos de transformadores, montagem e utilização. Imagem retirada da norma DMA-C52-125/N

O valor de potência escolhido para o transformador deve ser obtido pelo cálculo das potências que se pretende alimentar. Como se verá no subcapítulo “Rede de Distribuição de Baixa Tensão” (2ª etapa), poderá ser uma forma de obter o valor da potência nominal dos transformadores. Se não existir rede de distribuição, a potência será obtida pela soma das potências da IU alimentar, afetada pelos fatores de simultaneidade.

Para precaver evoluções das cargas, deverá sempre deixar-se uma margem⁶ no dimensionamento do(s) transformador(es).

3.1.3 Tipos de Celas de Média Tensão

Atualmente, grande parte da aparelhagem de média tensão (MT) em PT de cabine baixa é constituída por celas modulares com isolamento ao ar ou em SF6⁷. As celas permitem desempenhar várias funções e conferem uma elevada versatilidade no momento da configuração personalizada de um projeto de um PT/PS. Além das características técnicas, as celas respondem às exigências em matéria de proteção de pessoas e bens, facilidade de instalação e exploração. Para isso, possuem encravamentos mecânicos e elétricos com sinalização.

As celas podem ter função de[49]:

- **Celas de ligação à rede e corte geral**

Servem para fazer a chegada dos cabos de MT ao PT e, no caso de redes em anel, fazer a saída para outro PT. Normalmente, são utilizados disjuntores-seccionadores predefinidos para realizar a proteção.

- **Celas de proteção**

Serve para fazer a proteção entre a MT e a IU (transformador). Se for usado um PS pode ser para proteger o cabo entre o PS e o PT.

⁶A margem servirá para precaver eventuais aumentos de carga. Dependerá de uma avaliação do projetista com o “dono da obra” para definir este valor.

⁷SF6 é um gás, utilizado como isolante e extintor de arcos elétricos

- **Celas de contagem e medida MT**

Serve para fazer a contagem entre na MT.

Nota: nas novas ligações MT a medição e contagem de energia passa a ser feita do lado da MT, exceto nos casos de PT aéreo do tipo AI e AS. [11]

- **Celas de ganho**

Serve para fazer a ligação entre celas, por exemplo a passagem dentro do PTC da zona respeitante à ORD para a zona do cliente.

O uso das celas vai depender de qual a configuração que se pretende realizar, que poderá ser consultada para cada tipologia no “Manual de Ligações à rede elétrica de serviço público” [11] ou com os fornecedores destes equipamentos. Na Figura 3.3, está uma configuração típica de um PTC inserido numa rede em anel. Nesta configuração, podemos ainda verificar a contagem de energia em MT.

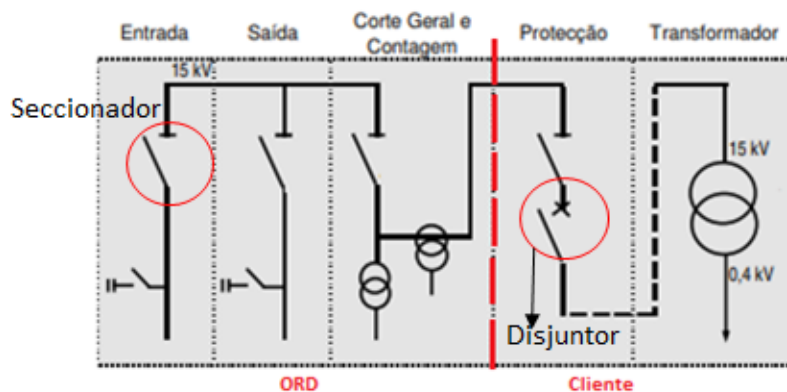


Figura 3.3: Esquema tipo de um PTC de 15 kV. Em vez do uso do seccionador poderá ser usado um interruptor-seccionador. O mesmo acontece para o disjuntor que pode ser usado um fusível. Imagem retirada do documento Apontamentos para projeto de instalações elétricas II, L.Sousa Martins

No caso de o PS estar fisicamente separado do PT, tal como no projeto idealizado, é necessário incluir no PS uma cela destina ao alojamento do aparelho de proteção do cabo de MT de interligação.

3.1.4 Quadro Geral de Baixa Tensão

O quadro geral de baixa tensão (QGBT) é o equipamento colocado a jusante do transformador. Deste quadro vão sair as canalizações para a rede de distribuição ou para equipamentos alimentados diretamente. A norma DIT-C62-800[50], apresenta um projeto-tipo de um QGBT de 630 kVA.

De maneira a evitar que todos os utilizadores das instalações façam uso do QGBT, poderá ser instalado um quadro elétrico fora do PT e do qual vão sair as ligações para os armários, evitando que pessoal não especializado entre dentro do PT e tenha acesso ao QGBT.

3.1.5 Esquema de ligação à terra num Posto de transformação

O esquema de ligação à terra utilizado em PTC, segundo o Guia técnico de terras[51], é o sistema TT.

1. Terra de proteção

O circuito de Terra de Proteção (TP) destina-se a interligar através de condutor de cobre nú de secção mínima de 16mm^2 (até um condutor amovível em abraçadeiras) todas as partes metálicas, dos seccionadores e respetivos comando, o transformador de potência, as portas, redes de vedação das celas, o QGBT e as persianas de ventilação, ou seja, todos os elementos condutores que normalmente não apresentam tensão, mas podem ficar sujeitas à passagem de uma corrente que provoque diferenças de potencial perigosas.

Dentro de um PT apenas deverá existir unicamente uma terra de proteção. Na utilização de PS, a TP do PS e do PT é única, sendo o cliente responsável pela medida, registo e melhoria da terra de proteção das suas instalações. [51]

A ligação entre o ligador amovível e o elétrodo terra será executado por cabo VV $1\text{G}35\text{mm}^2$, com bainha preta e isolamento verde/amarela, sendo que a TP deverá apresentar um valor máximo de $20\ \Omega$ [51, 12].

2. Terra de serviço

Na Terra de Serviço (TS) são ligados unicamente pontos dos circuitos elétricos para influenciar as suas condições de exploração, quer limitando o potencial dos condutores em relação ao solo, quer permitindo o funcionamento das proteções. Poderá ser utilizada uma TS por cada um dos transformadores utilizados.

A TS deve ser projetada a uma distância igual ou superior a 20 metros da TP. A interligação do barramento de neutro ao elétrodo de terra é realizado por cabo VV $1\text{G}35\text{mm}^2$, com bainha preta e isolamento azul.[51, 12]

3. Terra única

Poderá ser usada uma terra única, ou seja, a TP e TS sejam a mesma, caso a resistência global de terra tenha um valor inferior a $1\ \Omega$. [51]

3.1.6 Projeto de um Posto de Transformação

O projeto do Posto de Transformação (PT) e a sua construção vai englobar todos os conceitos apresentados anteriormente. Após definida a localização do PT e definida a potência nominal, passamos para a conceção do projeto. Atualmente, o projeto de um PT, é um processo que se baseia em ferramentas criadas pelos fornecedores dos aparelhos de MT e PT. É o caso das ferramentas: Siscet⁸, ferramenta da Schneider, ou o VisualPUC, da Efacec. Estas ferramentas permitem fazer o dimensionamento de um PT e PS, apenas necessitando de colocar alguns dados essenciais, tais como:

- Tipo de PT/PS, tal como na figura 3.1;
- Transformadores e potência nominais, entre outras informações técnicas;

⁸Atualmente, o projeto pode ser realizado online, através da ferramenta Q2cet.

O valor da potência, como referido acima, pode ser obtido pela soma das potências que se pretende alimentar na IU, que será multiplicado pelos fatores de simultaneidade. O cálculo da potência, é obtido fazendo um estudo das áreas e dos equipamentos que serão instalados. Deverá ter-se em conta as possíveis ampliações das cargas na IU.

- Níveis de tensão;

É necessário colocar de que nível de tensão se vai realizar o abaixamento. Por exemplo, no projeto em estudo, pretendeu-se fazer um abaixamento da tensão em MT, de 15 kV, para a rede de BT, de 400 V.

- Potência de curto circuito;

A potência de curto circuito é obtida por um pedido à ORD no local da instalação.

- Configurações das celas que se pretende instalar.

Verificável pelo “Manual de ligações à RESP”[11] ou por consulta com os fornecedores.

A ferramenta com estas informações, realiza o projeto consoante os valores de entrada fornecidos, construindo vários ficheiros com os cálculos necessários, desenhos técnicos e memórias descritivas. A ferramenta fornece os seguintes dados:

Especificações técnicas

- Características gerais;
- Aspectos construtivos. São definidas todas as áreas, garantindo a segurança segundo o RS-SPTS;

- Instalação elétrica;
- Ligações à terra;
- Instalações secundárias (iluminação, medidas de segurança, ventilação).

Cálculos justificativo

- Valores das intensidades em MT e BT;
- Correntes de CC;
- Dimensionamento dos barramentos;
- Escolhas de proteções;
- Ventilação;
- Depósito de recolha de óleo;
- Cálculo de ligações à terra.

Estimativa de custos

- É efetuada uma estimativa dos custos de construção do PT/PS.

3.1.7 Exemplo do dimensionamento da impedância a montante e impedância do transformador

O cálculo da impedância a montante e do transformador, será útil para obter o poder de corte dos equipamentos de proteção nos cálculos da rede de distribuição e dentro da instalação de utilização (IU) em BT.

• Impedância da rede a montante

A impedância de base e impedância do transformador são obtidas a partir das fórmulas 2.22, 2.23, 2.24 e 2.25 (capítulo 2). Exemplo do projeto:

Para,
 $SCC=350$ MVA, valor obtido pelo ORD
 $S_b = 630$ p.u.(kVA)
 $U_b = 400$ p.u.(V)

A partir dos dados é possível obter a corrente de base e a impedância de base:

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3} \cdot U_b} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 400} = 909,33 \text{ (p.u.)}$$

$$Z_b = \frac{U_b^2}{S_b} = \frac{400^2}{630} = 0,25 \text{ (p.u.)}$$

O valor da impedância da rede a montante é :

$$S'_{cc}(\text{pu}) = I'_{cc}(\text{pu}) = \frac{S_{cc}}{S_b} = I'_{cc} = \frac{350M}{630} = 555,56 \text{ (p.u.)}$$

$$Z_{redemontante} = \frac{m \cdot U_n}{S'_{cc}} = \frac{1 \cdot 1}{555,56} = 0,0018 \text{ (p.u.)}$$

Impedância do transformador

De acordo com a fórmula 2.26, a impedância do transformador é:

$$X_{\text{transformador}} = x_f * \frac{S_b}{S_{\text{transformador}}} * \left(\frac{U_{\text{transformador}}}{U_{\text{base}}} \right)^2 = 0,04 * \frac{630k}{630k} * \left(\frac{400}{400} \right)^2 = 0,04 \text{ (p.u.)}$$

3.1.8 Cabo Média tensão

O cabos de Média Tensão (MT) utilizados devem seguir a norma DMA-C33-831/N[52]. Em MT a escolha do cabo será de acordo com as exigência das ORD. Os cabos de média tensão são dimensionados atendendo à energia dissipada pela intensidade de curto-circuito antes da atuação das proteções (equação 3.1), com a consequente elevação da temperatura (aplicação da fórmula 2.17).

$$\text{Secção} = \frac{I_{cc} * \sqrt{t}}{K} \quad (3.1)$$

S (mm²) secção dos condutores fase

I_{CC} (A) corrente de curto circuito trifásico simétrico obtido pelos documentos do projeto do PT

t (s) tempo de atuação de proteções obtido pelos documentos do projeto do PT

K constante segundo a tabela 2.16

3.2 Rede de Distribuição de Energia em Baixa Tensão

A distribuição de energia elétrica é a etapa final no fornecimento de eletricidade. É a parte do sistema elétrico que é ligada ao subsistema de transmissão, através do qual se faz a entrega da energia elétrica aos consumidores finais. A rede de distribuição pode ter início numa subestação (distribuição primária em Média Tensão (MT)) ou num posto de transformação (distribuição secundária em Baixa Tensão (BT)).

Neste subcapítulo são avaliadas as condições para realizar um projeto de uma rede de distribuição de energia em BT subterrânea que parte de um PT. As condições apresentadas estarão em concordância com as normas estabelecidas pela ORD (EDP distribuição S.A.). Isto possibilita que mais tarde, com o desmantelamento da unidade industrial, a ORD poderá fazer uso da rede de distribuição.

Um projeto de uma Rede de Distribuição de BT é constituído por várias etapas que vão desde a compreensão e estudo do local onde será realizado o projeto, até ao dimensionamento de todos os equipamentos instalados. Nas várias etapas são apresentados exemplos do projeto da rede de distribuição executado na parte exterior da Instalação de logística.

1ª etapa: Compreensão das plantas da instalação, caracterização das instalações, estudo e atribuição de potências máximas admissíveis e cálculo da potência requisitada. Número de ramais.

No projeto da rede de distribuição de BT, na 1ª etapa será realizada uma revisão sobre as plantas que caracterizam a unidade industrial. Neste ponto, deverá ser feito um levantamento de todas as instalações de utilização que é necessário alimentar e que vão ter um ramal próprio de alimentação⁹.

O passo seguinte será avaliar a potência máxima admissível que corresponderá a cada bloco da instalação. É realizada uma previsão, consoante a área, o tipo de atividade a que irá destinar, bem como antecipar alguns dos equipamentos de maior potência que podem ser instalados, para obter o valor de potência necessária para a sua alimentação.

Assim, é viável fazer uma primeira estimativa do valor de potência que será necessário requisitar à ORD¹⁰. É de notar que, face aos valores de simultaneidade utilizados, este não será o valor

⁹No projeto da instalação industrial de logística que serve de apoio ao documento, cada armazém é alimentado por um ramal próprio, uma vez que, são explorados por entidades diferentes.

¹⁰Potência (requisitada) para a qual a ligação deve ser construída e a rede a montante deve ter capacidade de alimentar. Na MT, segundo o ORD a potência requisitada não pode ser inferior a 75% da potência instalada (soma das potências nominais dos transformadores sem ser de os transformadores de reserva)

que será pedido como potência requisitada, mas será importante para poder passar para a próxima etapa.

No projeto que foi concebido, a instalação industrial é composta por vários armazéns, que se destinam mais concretamente a funções de logística, com os respetivos escritórios e locais de apoio, a portaria, onde vão ser ligados os carregadores de veículos elétricos (VE), e salas de máquinas.

Na Figura 3.4 são representadas as áreas na planta da instalação, onde se verifica os vários pavilhões e as áreas de cada um.

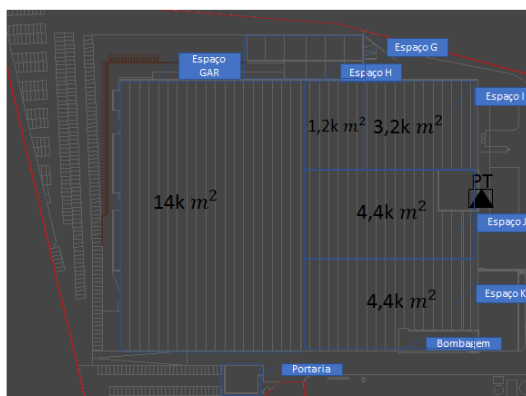


Figura 3.4: Áreas da IU projetada que são alimentadas pela rede de distribuição de BT

Depois de ser realizado o estudo de todas as áreas que vão ter de ser energizadas e definidos os seus pontos de ligação (ramais), foram atribuídas as potências máxima admissíveis (PMA) para cada uma. Na Tabela 3.1 está o exemplo dos valores obtidos:

Tabela 3.1: Potências por instalação

Armário	PMA (kVA)	Ramais
Espaço GAR	105	1
Espaço G	17,25	1
Espaço H	17,25	1
Espaço I	65	1
Espaço J	68	1
Espaço K	68	1
Portaria	66	1
Bombagem	50	1
Total	456,5	8

Os valores das potências máximas admissíveis foram calculados de acordo com as informações do “dono da obra”¹¹, bem como da aplicação a que se destinam os espaços e equipamentos que vão ser colocados, como por exemplo iluminação, tomadas e equipamentos como motores e portões. Outra forma é verificar exemplos de projetos com as mesmas funções e áreas semelhantes, fazendo uma proporção do valor de potência.

Com o valor definido para as potências máximas admissíveis de cada um dos blocos, é possível saber o valor da potência que é necessário para a instalação de utilização de serviço particular.

¹¹Dono da obra é o detentor das licenças da obra. É a pessoa que requisita a construção da instalação.

$$S_{total} = \sum PMA * F_s = 456,5 * \left(0,5 + \frac{0,5}{\sqrt{8}}\right) = 309kVA \quad (3.2)$$

S_{total} (VA) Potência total da instalação

PMA (VA) Potência máxima admissível

F_s Fator de simultaneidade

Por regra, é boa prática deixar uma margem para futuro aumento do nível de potência, sendo que deve ser planeado com o dono da obra a margem necessária.

2ª etapa: Divisão da instalação em zona de influência de postos de transformação, Definição do número de Postos de transformação e calcular a potência estipulada

Nesta etapa, depois de avaliada toda a necessidade de alimentação de energia, deve ser feita uma avaliação de quantos postos de transformação vão ser necessários. É realizada uma divisão da área total por áreas mais pequenas que serão da influência de um determinado PT. Obtidas as áreas de influência de um PT, é possível calcular o valor que cada um irá alimentar e obter o valor da sua potência estipulada. Esta etapa permite obter as informações para o projeto observado no subcapítulo 3.1.

No projeto decidiu-se colocar um PT de 630 kVA, pelo que não teve de haver divisão de zonas de influência. Contudo, em instalações em que haja um maior número de instalações, de potência mais elevada, deverá fazer-se este estudo para a colocação de vários PTs.

3ª etapa: Traçado da Rede de distribuição e localização dos armários de distribuição

Na 3ª etapa são traçadas as canalizações e definidas as zonas onde são instalados os armários de distribuição. Os armários, tanto quanto possível, devem ser previstos em zonas de centro de carga, ou seja, zonas onde são concentrados os principais consumos de energia.

Tipos de armários

Os armários utilizados na rede de distribuição podem ser consultados na norma DMA-C62-801/N [53]. Nesta norma são definidos os tipos de armários, bem como as características de construção pré-estabelecidas que estes devem obedecer. Os armários e a sua principal característica para o projeto (número de circuitos que podem ser utilizados em cada armário) são representados por:

●Armário X

Tem 5 circuitos, equipado com triblocos de tamanho T02¹²

●Armário T

Tem 6 circuitos, com 4 triblocos de tamanho T00 e dois de ligação direta ao barramento

¹²Como será visto mais abaixo, na rede de distribuição são normalmente utilizados fusíveis de facas (NH). O tamanho T00 ou T02, é referente ao tamanho do fusível, que consoante os seus poderes nominais podem não encaixar em todos os armários. Na figura A.6, capítulo 3 em anexo, estão representados os fusíveis e o seu tamanho.

• Armário W/Y

Tem 6 circuitos, equipado com dois triblocos de tamanho T02 e 4 triblocos de tamanho T00. A diferença entre os dois está nas características internas de construção.

• Armário Z

Tem 7 circuitos com triblocos tipo T02

O mais comum e aceito pela ORD é a utilização dos armários tipo W, que se encontram mais facilmente no mercado, devido à sua maior utilização. Contudo, todos os armários apresentados podem ser utilizados em projetos de redes de distribuição averbados pela ORD.

De acordo com o artigo 65º do RSRDEEBT[14], “os armários de distribuição devem ser instalados nos passeios de forma a não perturbar a circulação quer de pessoas quer de veículos”. Para uma instalação industrial, estes devem ser colocados em zonas que não incomodem as operações realizadas dentro das instalações.

Como pode ser observado pela Figura 3.5, foram projetados 5 armários de distribuição tipo X. Estes foram colocados perto das várias entradas das instalações, ou seja, perto dos centros de carga.

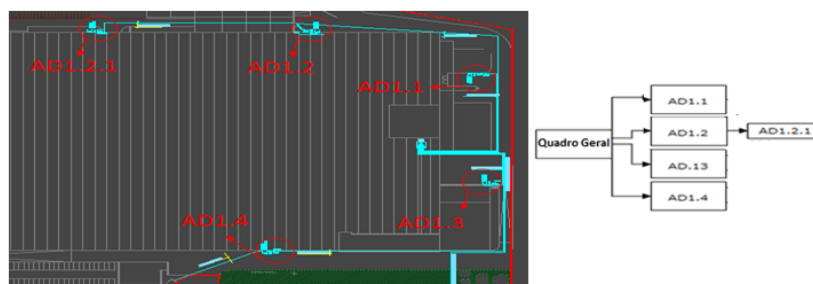


Figura 3.5: Traçado da rede de distribuição BT e dos armários

Na Tabela 3.2 estão representadas as potências máximas admissíveis de cada espaço, bem como a potência de serviço.

Tabela 3.2: Armários de distribuição colocados no projeto da rede de distribuição em BT

Armário	Tipo	Alimenta	PMA(kVA)	Fator de simultaneidade	S(kVA)
AD1.1	X	Espaço I	65	1	65
AD1.2	X	Espaço G	139	0,788	109,6
		Espaço H			
		AD1.2.1			
AD2.1.1	X	Espaço GAR	105	1	105
AD1.3	X	Espaço J	136	0,853	116
		Espaço K			
AD1.4	X	Portaria	115,4	0,853	98,5
		Bombagem			

Este será o valor total da potência requisita pela instalação, com uma margem de 20% relativos a aumentos futuros da instalação:

$$S_{\text{total}} = (S(\text{AD1.1}) + S(\text{AD1.2}) + S(1.3) + S(\text{AD1.4})) * 1,2 = 467,0 \text{ kVA}$$

4ª etapa: Definir as Canalizações principais e ramais, modos de colocação e dimensionamento.

Na quarta etapa são definidos as canalizações principais e os ramais, e são escolhidos e dimensionados os cabos que conduzem a energia e os sistemas de proteção. No capítulo 2, referiu-se que existem duas maneiras de realizar a rede de distribuição: modo aéreo ou subterrâneo. Atualmente, é mais usual a utilização de redes subterrâneas, apresentado mais vantagens devido à maior proteção contra contatos¹³ que possam existir no exterior.

Cabos e aparelhos de proteção elétricos

Na rede subterrânea os cabos elétricos a utilizar, segundo as RSRDEEBT[14], deverão possuir capacidade que os permitam resistir às condições dos terrenos e que aguentem contra impactos ou pressões causadas pelos materiais colocados por cima. Os cabos devem ser dotados de bainhas resistentes e armaduras, podendo ser ainda enfiados em tudo (apenas podem ser enfiados no mesmo tubo cabos da mesma canalização¹⁴) para aumentar a proteção mecânica do cabo.

Segundo a norma DIT-C14-100/N[45] da ORD, os cabos que podem ser utilizados nas redes de distribuição subterrânea são:

- LVAV 3 x 185+95 mm²
- LSVAV 4 x 95 mm²
- LSVAV 4 x 35 mm²
- LSVAV 4x16 mm²

Estes cabos prevêm as condições anteriormente referidas e são mais comuns de se encontrar no mercado, já que são cabos padronizados pela ORD. A utilização de secções standard, apesar de muitas vezes se instalar cabos muito acima do necessário, permite prevenir eventuais aumentos de potência, não sendo necessário alterar as canalizações. Ao mesmo tempo, secções maiores permitem quedas de tensão mais baixas, o que poder tornar-se uma vantagem.

No que toca a aparelhos de proteção utilizados nas redes de distribuição subterrâneas, a instalar nos armários de distribuição, podem ser obtidos pela norma DMA-C63-201 [54] da EDP Distribuição. Os aparelhos de proteção mais utilizados são os fusíveis de facas (NH). Os fusíveis NH podem ter vários valores de potência nominal e tamanhos. Os calibres e os tamanhos estão representados na figura A.6, em anexo referente ao capítulo 3.

¹³Contatos exteriores: são contatos a que estão sujeitos os cabos aéreos devido às ações climáticas ou colisões de automóveis contra postes de eletricidade

¹⁴Artigo nº 56 das RSRDEEBT

Modos de instalação das canalizações elétricas

O modo de instalação, sendo que se considerou uma instalação subterrânea, é feito em valas, onde os cabos são colocados diretamente em zonas preparadas, ou através de caleiras¹⁵ ou de tubos. Os locais onde são instalados os cabos, devem ser sinalizados para evitar que haja escavações naqueles locais e danifiquem os cabos¹⁶.

No projeto deve ter-se em conta a profundidade mínima no enterramento, sendo que influenciará o comprimento do cabo. Segundo o RSRDEEBT[14], o artigo 57º obriga a que nos casos gerais exista um enterramento de pelo menos 70 centímetros. O artigo 115º, estabelece um enterramento mínimo de 1 metro, para as travessias do cabo em estradas, ruas ou caminhos.

Nos artigos nº 117 a 120 são ainda estabelecidas distâncias mínimas quando exista cruzamento com caminhos de ferro, com linhas de alta tensão e de telecomunicação. Podem ser previstas, segundo o artigo 60º, câmaras de visita localizadas e distanciadas para permitir um fácil enfiamento e desenfiamento dos cabos.

Esquemas de ligação à terra

Num projeto e instalação de uma rede de distribuição elétrica em BT o esquema utilizado é o sistema TN (artigo 135º do RSRDEEBT)[14], sendo um método mais económico. Como previsto no sistema TN e no artigo 52º o corte apenas deve ser feito nas fases do condutor, colocando em perigo contra contatos indiretos caso exista corte do neutro. No projeto deve ter-se em conta os artigos nº 134 e 136 do RSRDEEBT, que referem que a ligação do neutro à terra deve ser feita:

- Em cada canalização principal, sendo que qualquer troço superior a 300 metros irá possuir um neutro ligado à terra.
- Em pontos singulares da rede como pontos de derivação de canalizações principais e pontos de concentração de ramais.
- Ainda, no Guia Técnico de Terras, publicado pelo ORD, deve ser prevista a ligação do neutro à terra em todos os armários de distribuição.

O ponto anterior visa garantir:

- O número total de ligações à terra satisfaça: $\frac{\text{número de ligações}}{1000\text{m de rede}} \geq 1$
- A resistência global do neutro não seja superior a 10 Ω

Dimensionamento das canalizações e proteções elétricas

No último ponto, é realizado o dimensionamento dos cabos e dos sistemas de proteção da rede de distribuição em BT. Os cálculos baseiam-se na fórmulas apresentadas na parte de dimensionamento no 2. De seguida, é mostrado um exemplo do projeto, para um cabo que faz a ligação entre o QG ao AD1.2. Conforme a Tabela 3.2, o AD1.2 possui uma potência de 139 kVA (com um fator de simultaneidade de 0,788) e alimenta um armário, que consequentemente alimenta uma instalação (instalação GAR), e duas instalações, (instalação G e H). A distância do cabo é 201,7 metro, já com distâncias provocadas pelo enterramento.

¹⁵São condutas pré-fabricadas em betão ou realizadas no local em alvenaria, para aumentar a garantia de proteção dos cabos

¹⁶Artigo 58 das RSRDEEBT

O cabo escolhido foi o LVAV 3*185+95 mm², sendo um cabo de alumínio com isolamento a PVC, trifásico e com neutro reduzido. Este é um dos cabos permitidos pela ORD para a rede de distribuição de BT.

Assim sendo, a potência total:

$$S = F_s * PMA = (0,5 + \frac{0,5}{\sqrt{3}}) * 139 = 109,6 \text{ (kVA)}$$

Neste caso, no fator de simultaneidade, usou-se a fórmula prevista no capítulo 2, no que toca a instalações não habitacionais (equação 2.7).

A partir da equação 2.10 é obtido o valor da corrente de serviço:

$$I_b = \frac{S}{\sqrt{3} * U_{composta}} = \frac{109,6 \text{ kVA}}{\sqrt{3} * 400 \text{ V}} = 158,8 \text{ A}$$

Os cabos serão colocados diretamente no solo. A partir do momento que é definido o modo de instalação, é possível determinar o valor da corrente máxima admissível na canalização para o tipo de cabo utilizado. Esse valor é obtido a partir das tabelas em anexo do RSRDEEBT (Quadro Anexo 3.9): $I_z = 355 \text{ A}$

O fator de correção foi utilizado a partir das RTIEBT(Quadro 52-C30) “Para cabos enterrados e colocados dentro de tubos ou de travessias” (usado em certas zonas) que tem um valor de 0,8, ou seja:

$$I'_z = I_z * F_c = 284 \text{ A}$$

O cálculo dos tubos onde são instalados os cabos devem seguir a norma da EDP Distribuição: DMA-C68-010/N [55].

Verificação da condição de aquecimento (Equação 2.11)

$$I_b \leq I'_z \Leftrightarrow 159,6 \text{ A} \leq 284 \text{ A} \checkmark$$

Verificação das condições de sobrecarga(Equações 2.12 e 2.13)

O tipo de aparelho de proteção será o fusível NH de 250 A.

$$I_b \leq I_n \leq I'_z \Leftrightarrow 159,6 \text{ A} \leq 250 \text{ A} \leq 284 \text{ A} \checkmark$$

$$I_2 \leq 1,45 * I'_z \Leftrightarrow 400 \text{ A} \leq 411,8 \text{ A} \checkmark$$

Um fusível de 200 A seria suficiente, contudo para cumprir com a condição de seletividade, este valor teve de ser aumentado.

Queda de tensão

A verificação da condição de queda de tensão foi verificada apenas no final das canalizações, ou seja, na alimentação dos equipamentos. Contudo, é necessário realizar o cálculo da queda de tensão por troço para obter o valor da queda de tensão total.

A partir da fórmula 2.14, para o cálculo das quedas de tensões em canalizações trifásicas:

$$\Delta U_{I7}(\%) = \frac{0,19516 \cdot 0,9 + 0,074 \cdot \sin(\cos^{-1}(0,9)) \cdot \frac{201,7}{1000} \cdot 159,6}{230} \cdot 100 = 2,9\%$$

O cabo utilizado LVAV 3*185+95 mm² tem uma resistência à temperatura natural de (figura A.2 anexos do capítulo 2):

$$R_{20^{\circ}\text{C}} = 0,164 \Omega/\text{km}$$

E uma reatância de (figura A.3 anexos do capítulo 2):

$$X = 0,074 \Omega/\text{km}$$

Uma vez que é utilizado o isolamento em PVC, pela tabela 2.7 capítulo 2, a temperatura máxima de funcionamento é de 70°C. Pela fórmula 2.3, capítulo 2 ou pela figura A.4 em anexo do capítulo A.4, obtemos o fator de correção de 1,19. Assim sendo:

$$R_{70^{\circ}\text{C}} = 0,19516 \Omega/\text{km}$$

Verificação da condição de curto circuito

O cálculo do curto circuito fase neutro mínimo é realizado a partir da fórmula 2.16:

$$I_{\text{CC}_{\text{min}}}^{\text{FN}} = \frac{0,95 \cdot 230}{(0,251 + 0,49) \cdot \frac{201,7}{1000}} = 1,5 \text{ kA}$$

Onde, Para a temperatura máxima de curto circuito do PVC de 160 °C:

$$R_{\text{F}}^{\text{TmaxCC}}(185\text{mm}^2) = R_{20^{\circ}\text{C}} \cdot 1,532 = 0,251 \Omega/\text{km}$$

$$R_{\text{N}}^{\text{TmaxCC}}(95\text{mm}^2) = R_{20^{\circ}\text{C}} \cdot 1,532 = 0,32 \cdot 1,532 = 0,49 \Omega/\text{km}$$

Calculado o valor de corrente de curto circuito mínimo, é possível obter o valor do tempo de fadiga térmica e tempo de atuação do sistema de proteção.

A partir da equação 2.17:

$$t_{\text{fadigatermica}} = (k \cdot \frac{\text{Secção}_{\text{minima}}}{I_{\text{CC}_{\text{min}}}})^2 = (76 \cdot \frac{95}{1,5 \cdot 10^3})^2 = 24,4 \text{ s}$$

O tempo de atuação do aparelho de corte ($t_{\text{Atuação do aparelho de corte}}$) é obtido a partir do abaco da corrente nominal do aparelho de corte (curva semelhante à da figura 2.22) para o valor de curto circuito mínimo .

$$t_{\text{Atuação do aparelho de corte}} = 0,4 \text{ s}$$

Assim, verifica-se que as condições das equações 2.18 e 2.19:

$$0,4 \text{ s} < 24,4 \text{ s} \checkmark \text{ e } 0,4 \text{ s} < 5 \text{ s} \checkmark$$

Poder de corte

Para garantir que o aparelho de corte tem o poder de corte ideal é preciso garantir a condição da equação 2.20.

O valor do curto circuito máximo trifásico é obtido a partir da equação 2.21:

$$I_{cc_{max}}(pu) = I_{cc_{max}^{trif}}(pu) = \frac{c \cdot U_n}{Z_{eq}} = \frac{1 \cdot 1}{|(X_{redemontante} + X_{transformador} + \frac{R_{20^\circ C}}{Z_b} + \frac{X}{Z_b})| \cdot L}$$

$$= \frac{1 \cdot 1}{|(0,00198j + 0,04j + \frac{0,164}{0,254} + \frac{0,0742j}{0,254})| \cdot \frac{201,7}{1000}} = 6,82 \text{ p.u. (kA)}$$

Onde o $X_{redemontante}$ e o $X_{transformador}$ são do capítulo referente ao PT, tal como o valor da corrente de base (I_b) para obtenção do $I_{cc_{max}}$ em kA.

$$I_{cc_{max}}(kVA) = I_{cc_{max}}(pu) \cdot I_b(pu) = 6,2kA$$

Logo, o poder de corte deve ser maior que 6,20 kVA. Os fornecedores apresetam valores de poder de corte pré-definidos, assim podia utilizar-se um fusível de 10 kA.

5ª etapa: Confirmação da adequabilidade do armários.

Esta etapa serve para confirmar as condições verificadas na 3ª etapa, quando se refere ao tamanho dos fusíveis.

Assim sendo, no último passo da 4ª etapa são dimensionados os cabos e os aparelhos de proteção que protegem estes mesmos cabos contra sobrecargas e curtos circuitos. Depois de dimensionados e cumpridas as condições, na Figura A.4 dos anexos capítulo 3, estão representados os fusíveis NH e os tamanhos, que consoante o armários escolhido devem cumprir com esses tamanhos.

Tome-se como exemplo o mesmo armário do dimensionamento AD1.2, em que foi escolhido o armários tipo X. Veja-se o exemplo da Figura 3.6, os fusíveis dimensionados de 100 A, 200 A e 250 A (segundo a figura A.4 em anexo) podem ser de tamanho T02, pelo que o armário é adequado, uma vez que todos os tamanhos do armário X são T02.

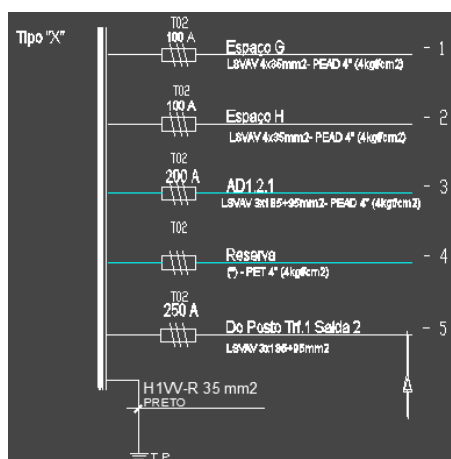


Figura 3.6: Esquema do armário de distribuição AD1.2

3.3 Rede de Baixa Tensão dentro da Instalação de Utilização

Neste subcapítulo será formado um conjunto de etapas sobre o que é necessário realizar num projeto de alimentação de energia em Baixa Tensão (BT), dentro da instalação de utilização. No estudo da BT interior são abordadas várias componentes, sendo estas:

- Quadros de Energia;
- Iluminação Normal;
- Iluminação de Segurança;
- Alimentação de tomadas e força motriz;
- Caminhos de Cabos, dimensionamento e proteções.

Na apresentação do projeto devem ser concretizadas as fases aludidas, com os respetivos desenhos técnicos e memórias descritivas, onde devem ser colocados os materiais, métodos de instalações e condições técnicas. Como referência, serão apresentados detalhes do projeto concretizado na IU de logística de uma das unidades. Dessa unidade fazem parte:

- Pavilhão de logística com aproximadamente 14 mil m² e 5,5 m de altura;
- Zonas Balneares masculina e feminina com 80 m² e uma altura de 3 m de altura, cada;
- Cantina 44 m² e 3 m de altura;
- Zonas de Estar 34 m² e 3 m de altura;
- Escritório 34 m² e 3 m de altura;
- Sala de fumo 24 m² e 3 m de altura.

Num projeto elétrico, devem ter-se em conta todas as informações que são dadas pelo “dono da obra”, desde que sejam tecnicamente viáveis.

3.3.1 Quadros elétricos

Depois de estudadas as áreas e definidas as classificações externas, caracterizadas no subcapítulo 2.2.5 (exemplo do projeto realizado nas figuras A.7, A.8, A.9, A.10 e A.11, em anexo referente ao capítulo 3), começa a conceção do projeto de BT interior com a escolha dos quadros elétricos de onde vão partir os vários circuitos de alimentação dos equipamentos.

Segundo as RTIEBT[15], secção 251.6, um quadro elétrico é um “conjunto de equipamentos, convenientemente agrupados, incluindo as suas ligações, estruturas de suporte e invólucro, destinado a proteger, a comandar ou a controlar instalações elétricas”.

Num projeto elétrico, as etapas relativas aos quadros elétricos podem ser decompostas em duas. Uma 1ª etapa no início do projeto, onde se estabelece quantos quadros elétricos e as suas localizações (que durante o projeto podem ser ajustadas consoante as necessidades) de onde partem os vários circuitos que vão alimentar as cargas dentro da instalação de utilização. E uma 2ª etapa, na fase final do projeto, que consiste no seu dimensionamento e construção.

1ª etapa: Escolha, quantificação e localização dos quadros elétricos

A 1ª etapa passa por definir quantos quadros elétricos e os locais onde vão ser instalados. Os quadros de alimentação devem ficar em zonas estratégicas, que seja conveniente para os intervenientes responsáveis pela exploração da instalação poderem facilmente ter acesso¹⁷, mas que não afete o funcionamento normal da instalação.

Os quadros elétricos podem ser colocados embebidos nas paredes ou salientes, podendo ser contruídos em materiais metálicos ou isolantes.

¹⁷O quadro de entrada (“o quadro principal”) da instalação deve ficar numa zona de fácil acesso, que possa possibilitar o corte de energia de forma rápida no caso de avarias. Como se verá, pode-se recorrer ao uso de botoneira para fazer o corte geral.

Regras gerais

A instalação de um quadro elétrico deve obedecer ao conteúdo das secções 132.12, 512.1, 514, 536.2.1.2 e 801.5.11 das RTIEBT[15], nomeadamente:

- Acessibilidade dos equipamentos elétricos, garantindo espaço execução e substituição, bem como acessibilidade para fins de verificação, manutenção ou reparação;
- Seleção de equipamentos em função das condições de serviço e das influências externas.
- Identificação e marcação dos aparelhos elétricos.
 - o Identificação e marcação de canalizações.
 - o Identificação dos condutores neutro e de proteção, segundo a norma IEC 60446.
 - o Dispositivos de proteção.
- Os quadros devem ser instalados em locais adequados e fácil acesso, garantindo que aparelhos nele montados fique em posição de fácil acesso, em relação ao pavimento.

Segurança de quadros elétricos[56]

Tal como explicado no capítulo 2.2.6, os aparelhos devem ser precavidos contra possíveis contatos diretos e indiretos de pessoas ou animais com partes em tensão. Na Figura 3.7 está representado o quadro 47 GR, das RTIEBT[15], com as respetivas classes de isolamento que é possível projetar para diferentes tipos de quadros elétricos. Além disso, os quadros devem ter painéis recortados para permitir o comando da aparelhagem, mas que não permitam acesso a partes sob tensão sem ser com material especializado e por pessoas habilitadas.

QUADRO 47 GR				
Classe de conjunto	Natureza do invólucro	Classes dos equipamentos colocados		Condições aplicáveis
		No interior do invólucro	Sobre o invólucro	
II	Isolante	I ⁽¹⁾ , II, III	II, III	413.2.1.2 a 413.2.9
	Metálico não ligado à terra	I ⁽²⁾ , II, III	II, III	413.2.1.3 a 413.2.9
I	Metálico ligado à terra	I, II, III	I, III, III	558.4.2
(1) - Não ligado à terra, excepto por razões funcionais (2) - Apenas se for separado das partes metálicas do invólucro por um isolamento suplementar e os equipamentos não forem ligados à terra.				

Figura 3.7: Classes de isolamento de um quadro elétrico, segundo o quadro 47G da RTIEBT

No projeto, devido à sua enorme área (15 mil m²) e número de aparelhos, foram colocados quatro quadros. Um quadro de entrada (QE) de onde partem três quadros parciais (QP1, QP2 e QP3). Tal como nos armários de distribuição, os quadros são colocados nos centros de carga. Estes foram inseridos em zonas estratégicas para poder energizar áreas específicas com mais cargas e com potências mais elevadas evitando enormes quedas de tensão ou de ter de subir demasiado as secções.

No projeto, foram escolhidos quadros metálicos de classe II. Como se pode observar pela Figura 3.8, estes encontram-se perto de locais onde vão existir grandes quantidades de cargas.



Figura 3.8: Representação da colocação dos quadros elétricos na instalação. Desenho em Autocad com escala 1/200

2º etapa: Dimensionamento do quadro elétrico

Esta etapa será uma das últimas fases do projeto da baixa tensão interior, visto que será realizada depois de tudo definido e calculado (cabos dimensionados e proteções dimensionadas).

Na Figura 3.9 está representado a figura 47GT, anexos da secção 4 das RTIEBT[15], para o qual foi adotada a construção dos quadros no projeto. Este é um quadro metálico de classe II.

Segundo a figura, o quadro é constituído por um disjuntor de entrada (DE), no caso do projeto optou-se pela utilização de um interruptor. Em seguida, de maneira a se tornar mais económico, são utilizados interruptores diferenciais (DR) no esquema TT¹⁸ para fazer a proteção de vários circuitos e, para finalizar, são usados disjuntores de proteção (DP) para realizar a proteção individual de cada circuito contra sobretensões e curtos circuitos.

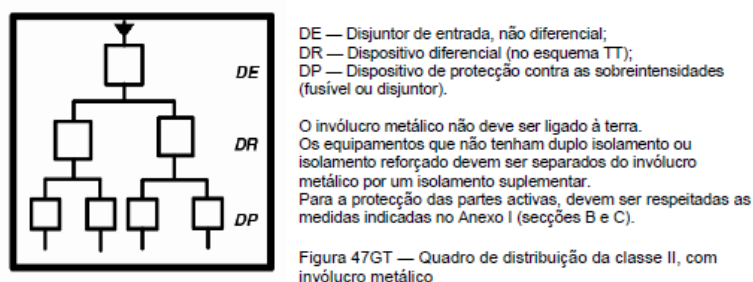


Figura 3.9: Exemplo de uma parte do QE, em que é possível ver o interruptor diferencial com ligação em TT e os disjuntores de proteção de cada circuito. Imagem retirada das RTIEBT

Esta será a forma mais comum de contruir um quadro elétrico, podendo variar conforme os equipamentos e tipo de proteção que será escolhido (equipamentos como os sistemas de desenfumagem devem segundo Regulamento de Segurança Contra Incêndio em Edifícios¹⁹ utilizar o

¹⁸Dentro das instalações pode utilizar-se o sistema TT, TN ou IT (em casos muito especiais). Para uma maior garantia de segurança é utilizado o sistema TT em conjunto com aparelhos diferenciais.

¹⁹O regulamento de segurança contra incêndios pode ser consultado no Decreto Lei nº 220/08 e Portaria nº 1532/08, de 2008

esquema de proteção IT, não devendo utilizar os DR).

O DE deve possuir um valor nominal que suporte a corrente total do quadro. Na prática, o interruptor colocado no quadro a jusante tem o valor nominal acima do disjuntor que protege a canalização no quadro a montante.

O DR é utilizado para proteger vários circuitos ao mesmo tempo face ao elevado custo. O DR deve conseguir aguentar a corrente nominal dos circuitos que protege. Contudo, a sua principal função destina-se atuar quando existe uma fuga de energia. Este valor deve ser escolhido conforme o local a que se destina, podendo ser utilizado o DR de 300 mA para os espaços comuns. Para o caso de casas de banho e balneários são usados os DR de 30 mA, obrigatório nas RTIEBT[15].

O DP é obtido pelo dimensionamento da aparelhagem de proteção.

Balanceamento das fases

O balanceamento de fases, consiste em dividir as cargas monofásicas, pelas três fases do sistema. Garantir um sistema equilibrado torna o sistema mais eficaz e com menos probabilidades de existir sobrecargas.

Barramentos

No cálculo dos barramentos, pode ser utilizada uma simplificação, em que se considera que todos os barramentos de cobre a utilizar nos quadros deverão ter uma secção tal que a densidade de corrente que os atravessa não seja superior a 2A/mm^2 . [57]

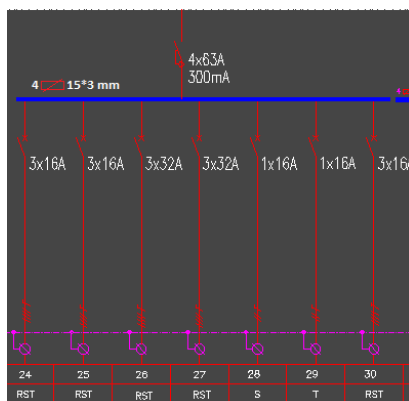


Figura 3.10: Exemplo de uma parte do QE, em que é possível ver o interruptor diferencial com ligação em TT e os disjuntores de proteção de cada circuito

Dispositivos de corte de emergência

A secção 536.4.3 das RTIEBT[15], prevê que os dispositivos de corte de emergência possam ser de comando elétrico à distância, disjuntores ou contactores, onde abertura é conseguida por uma das seguintes formas[58]:

- **Corte da alimentação da bobine (bobina MN – mínimo de tensão).** Este modo é designado “segurança positiva” em que o disparo do dispositivo é efetuado por um relé de falta de tensão. A bobine deste relé é alimentada pela instalação ou por uma fonte de alimentação independente

• **Por outras técnicas de segurança equivalente.** As outras técnicas correspondem à utilização da bobine MX, na qual é injetada uma corrente aquando atuação da botoneira. Esta bobine é associada a uma dupla sinalização que indica o estado “aberto-fechado” ao operador.

No projeto optou-se pelo uso de uma botoneira com uma bobine MX, pelo facto de esta dar a informação de aberta ou fechada, sendo melhor para o operador verificar o seu estado.



Figura 3.11: Projeto com a utilização de uma botoneira com uma bobina MX

3.3.2 Iluminação Normal: Projeto de Iluminação Artificial

A iluminação é um dos pontos fundamentais no que toca a projetos de instalações particulares. Cada vez mais, com a eficiência apresentada pelos novos modelos de lâmpadas, é possível garantir as necessidades de iluminação, bem como o conforto adequado com um maior rendimento.

Antes de começar a definir quais os tipos de luminárias²⁰ a utilizar e o projeto em si, é necessário compreender alguns conceitos luminotécnicos importantes.

Na Tabela 3.3 estão representadas algumas grandezas luminotécnicas importantes para o desenvolvimento do projeto²¹:

Tabela 3.3: Grandezas luminotécnicas fundamentais. “Conceitos e Grandezas”

Grandeza	Unidade S.I.	Definição
Angulo sólido	Esterradiano Sr	O ângulo de radiação é um ângulo sólido produzido por um refletor que direciona a luz.
Intensidades luminosa	Candela Cd	É a intensidade do fluxo luminoso de uma fonte de luz projetada em uma determinada direção.
Fluxo Luminoso	Lúmen lm	É a quantidade de luz emitida por uma fonte de luz medida em lúmen, na tensão nominal de funcionamento
Iluminação ou Iluminância	lux lx ou lm/m2	Indica o fluxo luminoso de uma fonte de luz que incide sobre uma superfície situada a uma certa distância desta fonte.
Luminância	cd/m2	É a intensidade luminosa produzida ou refletida por uma superfície existente
Potência	W	É a energia elétrica consumida por uma fonte luminosa
Eficácia luminosa	lm/W	A eficácia luminosa obtém-se pela divisão do fluxo numinoso pela potência. Este serve como referência para verificar o melhor tipo de luminária.

²⁰Luminária “é um aparelho de iluminação que serve para repartir, filtrar ou transformar a luz, emitida por uma ou várias lâmpadas.

²¹Informação obtida a partir do site da FEUP:J.N. dos Santos. Noções básicas de luminotecnica, FEUP, Julho 2007.

Além destas grandezas, existem outros conceitos relevantes quando se trata de iluminação, quer da sua qualidade, quer da eficácia.

- Índice de Reprodução de Cor (IRC).

O IRC representa a correspondência entre a cor real de um objeto ou superfície e sua aparência diante de uma fonte de luz. A luz artificial, como regra, deve permitir ao olho humano perceber as cores corretamente ou o mais próximo possível da luz natural. Lâmpadas com IRC igual a 100 % são as que representam melhor as cores. Muito importante em certas indústrias que é extremamente necessário identificar a cor dos materiais.

- Temperatura de Cor (T_c)

A temperatura de cor é a grandeza que expressa a aparência de cor da luz, sendo sua unidade o Kelvin (K). Quanto mais alta a temperatura de cor, mais branca é a cor da luz. Uma temperatura de cor alta (>5300) K é considerada uma cor fria, que se traduz num convite à atividade.

- Tempo de vida útil

É o tempo de utilização da luminária, em horas, até que se atinja 70% do fluxo luminoso inicial. O tempo de vida útil é importante muito pela necessidade de manutenção em locais muito altos e de alguma dificuldade de alcançar.

Tipo de Lâmpadas

Atualmente, existe uma vasta gama de lâmpadas que conjugam em três conjuntos: incandescentes, de descarga e os LEDs[59]. Em seguida, é feito um pequeno resumo dos três tipos de lâmpadas e quais as vantagens e desvantagens de cada uma.

Lâmpadas incandescentes

As lâmpadas incandescentes convencionais têm como base a emissão de luz através de um corpo aquecido, que normalmente se faz através de um filamento de tungsténio.

Este é um tipo de lâmpada de muito baixa eficiência (8 a 15 lm/W), o que levou a um decréscimo acentuado no seu uso. Além da baixa eficiência das luminárias, o tempo de vida útil é baixo, apenas 800 horas. As vantagens apresentam-se no baixo investimento e a qualidade de luz. As lâmpadas incandescentes halógenas tiveram alguns processos de aperfeiçoamento, que permitiu um aumento de aproximadamente o dobro do número médio de horas e um aumento da eficiência em relação às convencionais.

Face à necessidade de aumentar a eficiência dos processos de energia a EU tem publicado várias diretivas e regulamentos para que haja uma redução, e consequente eliminação. Em Portugal, a comercialização, está sujeita a taxas ambientais contra lâmpadas de baixa eficiência (Decreto-Lei nº 108/2007, alterado pelo decreto pela Lei nº 42-A/2016).

Lâmpadas de descarga

A lâmpada de descarga é uma lâmpada na qual a luz é gerada pela passagem de corrente elétrica através de um gás. O princípio de funcionamento baseia-se na condução de corrente elétrica num meio gasoso, enquanto que nos seus polos se estabelece uma tensão elevada, que é capaz de vencer a rigidez dielétrica do meio. A pressão do gás dentro da luminária pode variar, podendo este tipo de lâmpadas ser divididas em dois grupos, baixa e alta pressão.

- Lâmpadas fluorescentes

As lâmpadas fluorescentes são classificadas como lâmpadas de descarga de baixa pressão, podendo ser tubular, circular ou compacta. As lâmpadas fluorescentes necessitam de balastro²² para estarem ligadas à rede. Em relação às luminárias convencionais, estas apresentam algumas vantagens como um prolongamento significativo de vida útil da lâmpada, valor acima das 8000 horas, e o aumento da sua eficácia luminosa (70 lm/W).

- Lâmpadas de vapor de sódio

As lâmpadas de vapor de sódio podem ser de baixa pressão (LPS) ou de alta pressão (HPS). As LPS apresentam uma enorme eficácia luminosa (200 lm/W) e, simultaneamente, tempos de vida útil de cerca de 20000 horas. Contudo, tem a desvantagem de possuir um péssimo índice de reprodução de cores (IRC), com valores a rondar os 20%. Tem grande aplicabilidade em locais onde é necessário um elevado nível de iluminação, mas onde seja desprezada a qualidade da luz. Na Figura 3.12 é representada sua alta eficiência, que apenas se verifica para um comprimento de onda muito baixo.

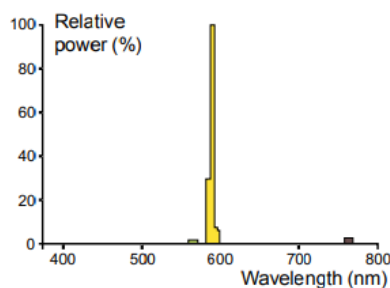


Figura 3.12: Representação do espectro luminoso das lâmpadas de baixa pressão de sódio. Imagem obtida do Lighting Technical guide, Shneider Eletric.

As HPS apresentam valores altos de eficácia (130 lm/W), embora mais baixos que os da LPS, mas contando com um aumento do IRC (23 a 50%) e um pequeno aumento na vida útil (podendo chegar às 24 mil horas).

Dentro das lâmpadas de descarga ainda existem outros tipos como: lâmpadas de vapor de mercúrio, vapor metálico e mistas.

Díodo emissor de luz (LED)

Os díodos emissores de luz (LED) são dispositivos semicondutores que convertem a energia elétrica diretamente em luz visível através de um chip com reduzidas dimensões. Os LED vieram revolucionar a iluminação, uma vez que permitem uma luminosidade mais eficaz (Figura 3.13), com tempos de vida mais elevados (40 mil horas) que os concorrentes e com ótimas características no que toca à qualidade de luz, quer ao nível do IRC, como da temperatura de cor.

Atualmente, os LED apresentam uma elevada aplicabilidade, permitindo ter uma boa qualidade de luz, garantindo uma elevada eficiência. O uso na indústria, apesar de o custo de uma luminária poder ser mais elevado, com menos luminárias consegue-se obter níveis de iluminância semelhantes ou melhores que o uso das luminárias convencionais, somado ao maior número de tempo de vida útil, pode tornar-se muito mais vantajoso.[60]

²²Um balastro é um aparelho utilizado para limitar a corrente que passa no equipamento

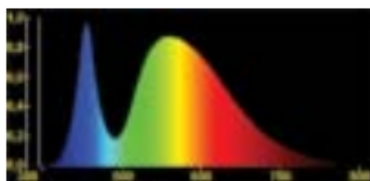


Figura 3.13: Representação do espectro luminoso das LED. Abcissa - wavelength (nm) e ordenada: relative power (%). Imagem obtida do Lighting Technical guide, Shneider Electric.

Tipo de instalação das luminárias

As luminárias podem ser colocadas de várias formas, dependendo da arquitetura do local onde se instalará. No caso do projeto de estudo e da construção que se encontra em grande maioria das instalações industriais podem ser consideradas as seguintes formas de colocação das luminárias:

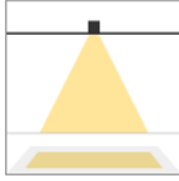
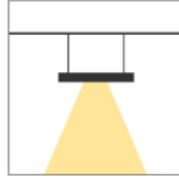
Salientes	Encastrado	Suspense
		
As luminárias são colocadas presas ao teto ou estrutura.	As luminárias são colocadas encastradas ao teto.	As luminárias são colocadas presas ao teto ou estruturas, de forma suspensa.

Figura 3.14: Tipos de instalação das luminárias. Figuras obtidas lumsearch.com

Projeto de iluminação

Depois de entendidas algumas características de iluminação e os constituintes das luminárias, agora focar-se-á na parte mais direcionada ao projeto de iluminação. Num projeto de iluminação devem ser consideradas as seguinte etapas:

- 1ª etapa: Necessidades de iluminação e Avaliação dos espaços da instalação

A primeira fase do projeto passa por avaliar as várias áreas da instalação de utilização e perceber quais as necessidades de iluminação que vai ser necessárias.

Caso não existam valores facultados pelo “dono da obra” com valores que pretendam de iluminação, pode ser utilizada a norma ISO CIE 8995[31]. Esta é uma norma internacional que estabelece valores standard com níveis médios de iluminância para diferentes espaços que podem ser utilizados pelos projetistas.

Na Tabela 3.4 estão representados os valores obtidos a partir da norma referida para os locais do projeto realizado.

Tabela 3.4: Zonas e áreas da instalação de utilização, bem como valores de iluminação segundo a norma ISO CIE 8995

Local	Áreas	Iluminação segundo norma ISO CIE 8995	Nota
Pavilhão de logística	15 mil m ² Altura 5,5m	200 a 300 lux	
Zonas Balneares	80 m ² Altura 3 m	200 lux	Na zona banhar o que teve mais influência foi a utilização de luminárias estanque.
Cantina	44 m ² Altura 3 m	200 lux	
Zona de Estar	34 m ² Altura 3 m	350 a 750 lux	Pode variar consoante o tipo de funções. Colocada iluminação a rondar os 600 lux
Escritório	34 m ² Altura 3 m	350 a 750 lux	Pode variar consoante o tipo de funções. Colocada iluminação a rondar os 600 lux
Zona de fumo	24 m ² Altura 3 m	-	-

Segundo as RTIEBT[15], secção 701, as zonas balneares, casas de banho que contenham banheiras ou chuveiros tem de atender a condições especiais consoante o volume²³ em que sejam instalados os equipamentos. No caso da zona banhar, apenas são utilizadas bacias normais, contudo para evitar eventuais falhas, decidiu-se colocar luminárias estaques.

- 2ª etapa: Avaliação da iluminação natural

Num projeto de iluminação deve ser considerada a iluminação natural que possa ser utilizada e aproveitada para incluir no plano de iluminação. Em muitos casos, a iluminação natural pode ser suficiente ou, em conjunto, com a iluminação artificial ser aproveitada para ajudar na iluminação das instalações.

No exemplo de estudo, as instalações foram projetadas para um caso em que a iluminação natural é muito reduzida e, em certos casos, nula. Assim, o projeto foi realizado para iluminar as várias áreas com recurso apenas à iluminação artificial.

- 3ª etapa: Escolha das luminárias, do tipo de colocação e sistema de alimentação das luminárias

Nesta etapa é necessário escolher as luminárias, o modo de colocação das mesmas e o seu sistema de alimentação. Tome-se como exemplo o pavilhão de logística.

O sistema de iluminação foi projeto para a utilização de luminárias a LED devido à sua elevada eficácia luminosa, tempo de vida útil (que permite reduzir o tempo de manutenção), bem como devido à variada gama existente no mercado com diferentes tipos de temperatura de cor e índice de reprodução de cor. A lâmpada deve ter uma temperatura de cor mais fria, uma vez que se destina a um local de trabalho.

Assim escolheu-se uma luminária de 100 W, com um fluxo de 14300 lm, que traduz numa alta eficácia luminosa de 143 lm/W. A elevada eficácia permite ter os níveis de iluminação pretendidos com um menor número de luminárias.

²³Os volumes caracterizam as distâncias até aos chuveiros ou bacias (secção 701.32). São 4 os volumes, que devem atender a condições especiais quando os equipamentos se instalem em determinado volume.

No modo de colocação aproveitou-se a estrutura do telhado pavilhão que possibilita instalar de forma simples as luminárias. O modo de colocação pode ser verificado na Figura 3.15.

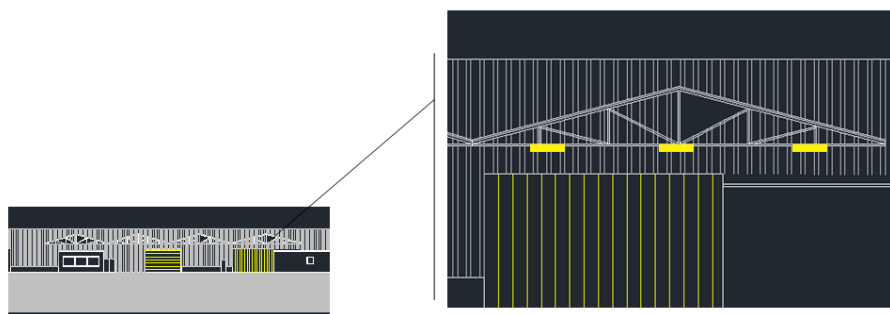


Figura 3.15: Representação em autocad do tipo de estrutura que suporta o teto e onde serão instaladas as luminárias (blocos amarelos juntos à estrutura)

A alimentação das luminárias, foi realizada através de um cabo monofásico, sempre com distribuição do condutor de proteção.

- 4ª etapa: Dimensionamento dos níveis de iluminação

Definidos os locais e o tipo de luminárias, a próxima etapa é o dimensionamento de iluminação.

Atualmente, existem vários programas destinados ao projeto de iluminação. O Dialux Evo (www.dial.de) é um software de cálculo de iluminação, sendo uma ferramenta bastante completa que permite construir o local da instalação em 3D e escolher luminárias numa base de dados extensa de vários fornecedores²⁴ (LUMsearch).

Na ferramenta deve ser construído o espaço que se pretende iluminar, onde devem ser definidas todas as medidas do local e o tipo de luminárias que se pretende utilizar. O programa permite escolher os níveis de iluminância que é necessário, colocando mais ou menos luminárias para garantir com os limites fixados. Caso existam equipamentos ou outros elementos dentro do pavilhão, esses podem ser representados para um estudo mais real.

Cumpridas com as condições do projetista, são fornecidas várias informações de iluminação, bem como todo o projeto luminotécnico (Figura 3.16)

²⁴Esta é uma vantagem desta ferramenta, uma vez que não representa uma única marca de luminárias, podendo ser feito estudo com vários tipos de marcas do mercado.

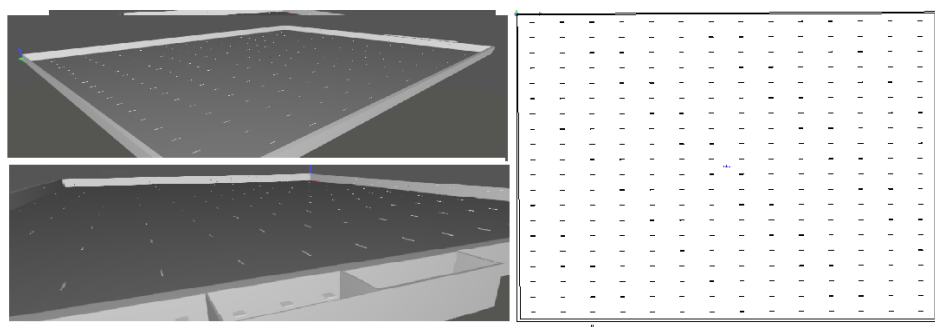


Figura 3.16: Imagens do DiaLux EVO. Imagens da esquerda em 3D e imagem da direita vista em planta

- 5ª etapa: sistema de telecomando

O sistema de telecomando pode ser realizado de diversas maneiras. A forma mais simples é através do disjuntor do quadro de energia que permite ligar e desligar. Contudo, para garantir que qualquer pessoa não tenha acesso quadros elétricos devem ser colocados interruptores ou comandos que possibilitem ligar ou desligar a luz de forma rápida e segura.

No pavilhão, cada um dos quadros alimentará $\frac{1}{4}$ do pavilhão, assim sendo será colocado um sistema de comando em cada quadro, que será colocado perto do quadro de entrada e de onde se poderá fazer a ligação das luminárias.

Para o caso da cantina e sala de estudo, podem ser utilizados interruptores comuns na entrada para ligar ou desligar a iluminação. No escritório será usado sistema de interruptor comutador de escada²⁵.

- 6ª etapa: Dimensionamento da canalização

A última etapa consiste em definir a partir de onde são alimentadas as luminárias e realizar o dimensionamento das canalizações e sistemas de proteção. Os sistemas de alimentação devem partir do quadro de energia mais perto, ou que permita uma maior facilidade para levar o cabo até ao equipamento, cumprindo com as regras de dimensionamento estabelecidas no capítulo 2.

Partindo do exemplo do projeto realizado, o pavilhão foi dividido em quatro zonas semelhantes (Figura 3.17), sendo que cada quadro elétrico seria responsável pela alimentação de cada uma das zonas. Desta forma, com a utilização de um cabo XV de 4 mm², conseguiu-se cumprir com todas as condições (exemplo na parte de dimensionamento). Se alimentação das luminárias fosse feita a partir de um dos quadros numa extremidade, para conseguir-se cumprir com as condições, teria se aumentar o nível de secção o que iria aumentar o preço de execução.

²⁵Nos comutadores de escada são usados dois interruptores que de locais diferentes fazem a ligação da alimentação da luminária. Informação obtida a partir do site da FEUP: J.N. dos Santos. Aparelhagem de comando de circuitos de iluminação, FEUP, Julho 2007



Figura 3.17: Imagem em autocad do projeto elétrico final de iluminação com a separação do pavilhão em 4 quadrantes

3.3.3 Iluminação Segurança

No planejamento de iluminação de uma instalação industrial, além do planejamento que tem de ser realizado para a chamada iluminação normal, há que ter particular atenção à iluminação de segurança. Nas RTIEBT (801.2.1.5.3 - Iluminação de segurança)[15] podem ser verificadas todas as condições que tem de ser estabelecidas consoante o número de pessoas, locais e tipo de alimentação das luminárias de segurança.

Segundo as RTIEBT, a iluminação de segurança é dividida em dois tipos: iluminação de circulação e iluminação de ambiente.

- A iluminação de circulação (ou iluminação de evacuação)

“A iluminação de circulação tem como objetivo permitir a evacuação das pessoas em segurança e possibilitar a execução das manobras respeitantes à segurança e à intervenção dos socorros.”[15]

A iluminação de segurança torna-se obrigatória em locais que possam receber um mínimo de 50 pessoas²⁶, e ainda, em corredores e caminhos de evacuação. Caso seja obrigatória utilização de iluminação de circulação, as luminárias devem ser colocadas entre elas a uma distância inferior a 15 m.

- A iluminação de ambiente (ou iluminação antipânico)

“A iluminação de ambiente tem como objetivo reduzir o risco de pânico e permitir que as pessoas se dirijam, em segurança, para os caminhos de evacuação. Esta iluminação pode estar acesa durante a presença do público.”[15]

A iluminação ambiente é sempre obrigatória em espaços onde podem circular mais do que 100 pessoas, no caso de pisos acima do solo, e 50 pessoas, para situações abaixo do subsolo. A iluminação ambiente, deverá apresentar um fluxo luminoso não inferior a 5 lm, de forma a garantir uma boa visibilidade. Para isso, deve ser garantida a seguinte condição (3.3):

$$e \leq 4H \quad (3.3)$$

²⁶Num projeto, nos documentos escritos, deve ser definido o tipo de instalação e o número de pessoas que irão frequentar as instalações. Essa descrição permitirá avaliar, segundo as RTIEBT, várias situações de projeto.

e (m) distância entre luminárias

H (m) altura de colocação dos aparelhos

Existe duas formas de alimentar os circuitos de iluminação de segurança no caso de falha de energia. Essa alimentação pode ser através de fontes centrais, como geradores ou baterias, ou através de blocos autônomos instalados nas próprias luminárias. No caso da iluminação de segurança alimentada por fontes centrais, devem ser seguidas as regras presentes na seção 801.2.1.5.3.2. Neste tipo de alimentação, tem de ser previsto um quadro de segurança onde são alimentadas as luminárias, no qual tem restrições do tipo de equipamentos que podem ser ligados a esse quadro.

No caso em estudo, a iluminação de segurança é realizada com recurso a bloco autônomos²⁷, em que as luminárias possuem uma pequena bateria que permite, em caso de falha de energia, continuar a funcionar normalmente durante um determinado tempo (deve ser prevista uma bateria que aguente no mínimo uma hora).

No projeto, a iluminação de ambiente foi realizada por um processo semelhante ao observado na iluminação normal, sendo que as luminárias de segurança podem fazer parte da iluminação artificial durante condições normais, entrando em funcionamento, em casos de emergência, através de uma bateria própria (garantindo o fluxo mínimo de 5 lm). Foi utilizada uma luminária de 49 W, com uma bateria (bloco autônomo) que permite alimentar a lâmpada durante um tempo total de 1h. Assim, é necessário distribuir um cabo de 5 condutores para alimentar a lâmpada, a bateria e o condutor de proteção. Na Figura 3.18 está representado o projeto de iluminação de segurança ambiente.

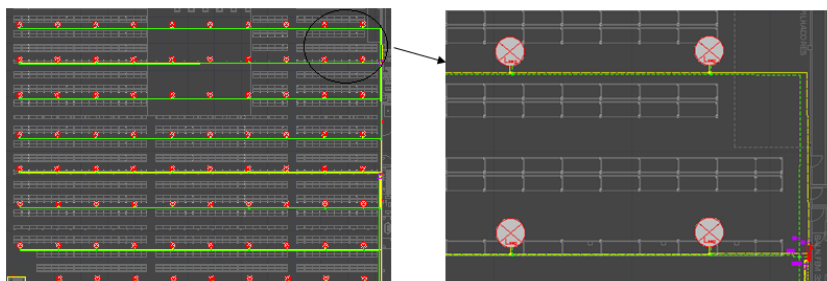


Figura 3.18: Exemplo do projeto de iluminação ambiente realizado para iluminação ambiente em autocad

No projeto, a iluminação de circulação foi realizada com luminárias semelhantes às da Figura 3.19, lado direito, e placas fotoluminescentes colocadas por baixo da iluminação ambiente. A iluminação de circulação deve ser realizada criando caminhos de evacuação que, em situações de emergência, as pessoas possam seguir para se dirigir para o exterior.

²⁷ Quando usada a iluminação de segurança através de blocos autônomos as luminárias devem ter um fluxo luminoso superior a 60 lm.

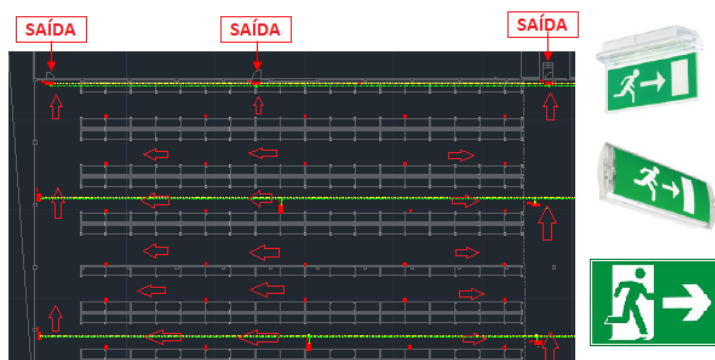


Figura 3.19: Exemplo do projeto de iluminação de circulação realizado para iluminação ambiente em autocad. Imagens retiradas do documento "Iluminação de Segurança", Cooper Safety.

Este tipo de iluminação deve englobar um sistema de telecomando que permite nos períodos de inatividade das instalações colocar o sistema em “repouso”²⁸, enquanto que nos períodos de atividades os blocos autónomos devem ser colocados em “vigilância”²⁹ e caso exista uma anomalia na alimentação, haja passagem ao estado de “funcionamento” onde possam estar a trabalhar com recurso à bateria. Na Figura 3.20, está representado o sistema de telecomando utilizado, uma vez que no projeto a alimentação da iluminação de segurança é feita por 2 quadro elétricos. No entanto, se for usado apenas um quadro, poderia utilizar-se apenas uma consola.

3.20

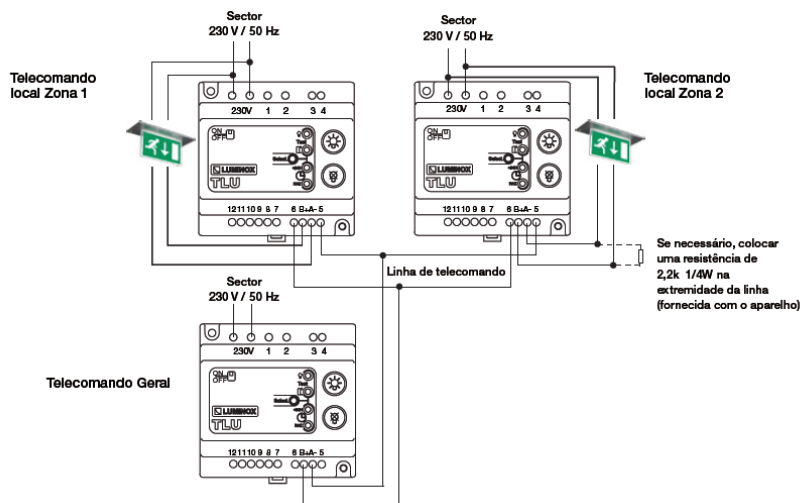


Figura 3.20: Representação esquemática da utilização do telecomando em vários quadros elétricos. Imagem retiradas do documento "Iluminação de Segurança", Cooper Safety.

²⁸“Repouso” o sistema está desligado, não estando a consumir energia

²⁹“Vigilância” as luminárias tem um mecanismo que detetando falta de energia, passam a funcionar com a bateria

3.3.4 Alimentação de tomadas e força motriz

No projeto de alimentação de equipamentos existe uma enorme variedade de soluções, que será apresentada dividida em: instalação de tomadas de uso gerais (TUG), instalação de tomadas de uso específico, que apresentam normalmente um valor de potência mais elevado e são usadas as tomadas industriais, e alimentação direta de equipamentos sem recurso a tomadas.

Tal como acontece nas habitações, é necessário a instalação de tomadas para fazer alimentação dos equipamentos usados no dia a dia, para estes casos são usadas as TUG. Contudo, para equipamentos de valores de potência significativa são instaladas tomadas diferentes, como por exemplo, as chamadas tomadas industriais. Finalmente, equipamentos como portões, plataformas, equipamentos de climatização são ligados sem recurso a tomadas, ficando ligados diretamente ao quadro elétrico com o respetivo aparelho de proteção.

Há que ter em atenção que nas “zonas onde o público tenha acesso dos estabelecimentos recebendo público, as tomadas a utilizar, quando forem de corrente estipulada não superior a 16 A, devem ser do tipo «tomadas com obturadores»³⁰. Quando forem de corrente estipulada superior a 16 A, devem ser dotadas de tampa e limitadas às estritamente necessárias às utilizações previstas”. [15]

Tomadas de uso geral

As tomadas de uso gerais utilizam as chamadas tomadas Shucko, sendo que estas podem apresentar diferentes tipos de tipologia.

Nas RTIEBT[15], não é identificada nenhuma regra que estabeleça o número de tomadas que devem ser consideradas num projeto dos vários espaços de uma IU. Assim sendo, parte do projetista e do objetivo a que se destina o espaço. Todavia, cada circuito deve apenas ter no máximo 8 pontos de utilização por circuito. Em áreas como salas, cantinas, escritórios devem ser distribuídas tomadas suficientes pelas paredes/chão destes espaços. Devem ser consideradas ligações de computadores, televisões, carregamento de equipamentos, entre outras utilizações. No caso dos pavilhões podem ser distribuídas algumas para utilização de equipamentos de baixa potência.

No projeto é exemplo a sala de reuniões (Figura 3.21). Foram distribuídas várias TUG pelo espaço que possibilita a ligação de vários equipamentos.

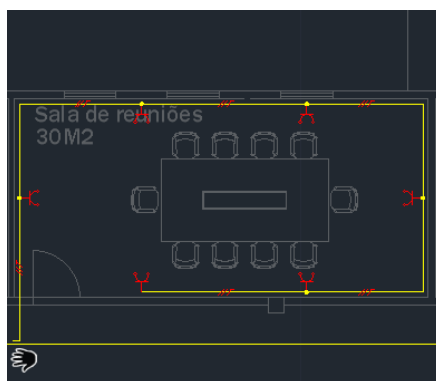


Figura 3.21: projeto de TUGs na sala de reuniões

Tomadas de uso específico e alimentação de equipamentos

³⁰Tomadas com obturadores, são tomadas que apresentam os seus alvéolos protegidos.

As tomadas de uso específico (TUE) são usadas para alimentar equipamentos de potências relevantes e/ou para aparelhos de uso específico. No caso das indústrias, podem ser utilizadas tomadas industriais (CEE), podendo ser monofásicas ou trifásicas, consoante os aparelhos a que se destinam. As tomadas industriais são identificadas pela sua cor, que representam o tipo de tensão que permitem alimentar, definidas na Tabela 3.5:

Tabela 3.5: Sistema de cores para identificação de tomadas mono ou trifásicas

Tensão (V)	Cor
200 a 250 (Monofásica)	Azul
346 a 460 (Trifásica)	Vermelho

Além dos equipamentos alimentados por tomadas, é necessário projetar circuitos que servem para alimentar aparelhos que são fixos. É o caso de portões, plataformas, equipamentos de climatização, segurança, entre outros. Assim, é preciso projetar para estes equipamentos os respetivos circuitos de alimentação. Na Figura 3.22, lado esquerdo, está representada para o projeto, a alimentação de alguns desses equipamentos.

No exemplo, aplicado na Figura 3.22 do lado direito, temos o projeto de CEE, para o carregamento das baterias dos equipamentos destinados ao transporte de materiais (empilhadores, porta paletes). Foi destinada uma zona específica, onde são instaladas as tomadas industriais destinadas ao carregamento destes equipamentos, com potências de alimentação mais elevadas.

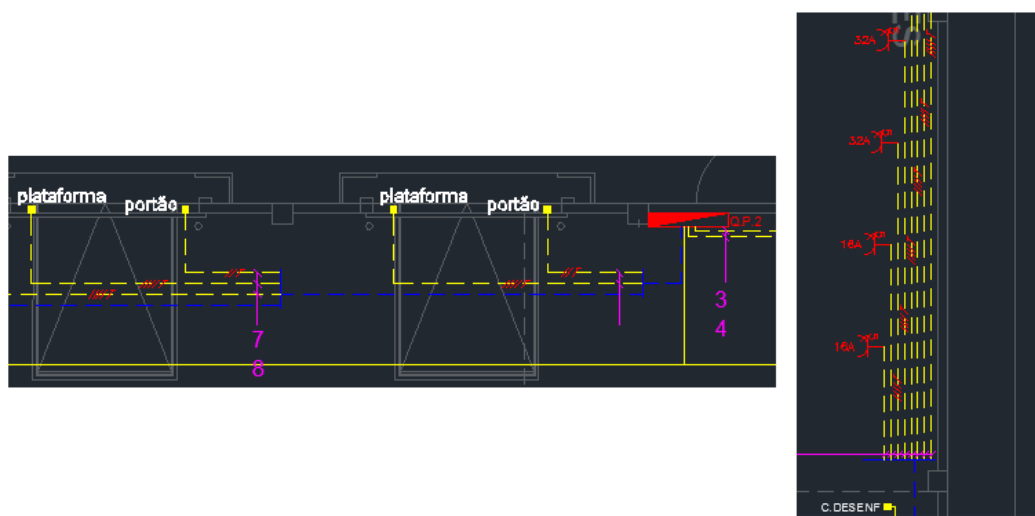


Figura 3.22: Exemplo do projeto de alimentação de equipamento. Imagem da direita, alimentarão de equipamentos fixos, e na imagem da esquerda, alimentação através de tomadas industriais

3.3.5 Modo de instalação e canalizações elétricas

Como se pode comprovar no sub-capítulo 2.2.10, existem vários métodos que podem ser utilizados na instalação dos cabos. Estes devem ser definidos antes do dimensionamento, sendo que vão afetar o valor da corrente máxima admissível nos cabos.

O método de instalação é condicionado pelo tipo de instalação, sendo normalmente feito através caminhos de cabos³¹ colocados junto aos tetos dos edifícios das indústrias. Nas zonas de sala de estar, cantinas, salas de reuniões podem ser colocados embebidos nas paredes, em calhas colocadas nas paredes ou mesmo através de teto falso.

No projeto, cabe ao projetista, idealizar a forma como se vão transportar os cabos. Para isso, pode ser usada a ferramenta Legrand CabloCAD, que é um plugin utilizado através da ferramenta Autocad. A ferramenta permite projetar os caminhos de cabos com as condições reais dos materiais.

3.3.6 Dimensionamento de canalizações e proteções elétricas

Nesta etapa, são dimensionados os cabos que fazem a ligação entre os quadros de alimentação e dos circuitos que partem dos cabos para os vários equipamentos alimentar. Estes cálculos são realizados de acordo com as fórmulas do sub-capítulo 2.2.11.

O exemplo mostrado para o dimensionamento dentro da instalação é do circuito 3 do QE. Este serve para fazer alimentação de 7 luminárias de 100 VA (fator de potência unitário), que faz parte da iluminação do pavilhão de logística. O comprimento do cabo é de 81 metros, partindo no QE e acaba na última luminária (L7).

O cabo escolhido para realizar alimentação foi o XV R3G4 mm²³², sendo um cabo de cobre com isolamento a XLPE, monofásico e com condutor de proteção. Assim sendo, a potência total:

$$S = 7 * 0,1 \text{ kVA} = 0,7 \text{ (kVA)}$$

Neste caso, uma vez que se trata de sistemas de iluminação os coeficientes de simultaneidade são iguais a 1, pois estará sempre a ser utilizado (Tabela 2.13). Com recurso à potência é obtido o valor da corrente de serviço.

A partir da equação 2.9:

$$I_b = \frac{S}{U_{\text{simples}}} = \frac{0,7 \text{ kVA}}{230 \text{ V}} = 3,04 \text{ A}$$

Os cabos serão colocados em caminhos de cabos de cabos perfurados, que equivale ao modo E dos quadros 52 H (RTIEBT)[15]. A partir do momento que temos o modo de instalação, podemos obter o valor da corrente máxima admissível na canalização para o tipo de cabo utilizado. Esse valor é (quadro 52-C11 RTIEBT):

$$I_z = 49 \text{ A}$$

São considerados fatores de correção, que permite avaliar o circuito nas piores condições. Foram considerados os seguintes fatores de correção:

- 52-D1 “Fatores de correção em função das temperaturas ambiente para canalizações instaladas”

³¹As esteiras que transportam os cabos de energia devem ser diferentes das esteiras que transportam os cabos de telecomunicação

³²Devido às distâncias elevadas, se fossem consideradas secções mais baixas, não se iria conseguir cumprir com os valores mínimos de queda de tensão.

$$F_c(52 - D1) = 0,96$$

• 52-E1 “Fatores de correção para agrupamento de cabos de diversos circuitos ou de vários cabos multicondutores instalados ao ar, lado a lado”. Uma vez que são instalados mais de 9 cabos, o valor assumir é de:

$$F_c(52 - E1) = 0,72$$

$$I'_z = I_z * F_c(52 - D1) * F_c(52 - E1) = 33,9 \text{ A}$$

Verificação da condição de aquecimento (Equação 2.11)

$$I_b \leq I'_z \Leftrightarrow 3,04\text{A} \leq 33,9\text{A} \checkmark$$

Verificação das condições de sobrecarga(Equações 2.12 e 2.13)

O aparelho de corte escolhido para realizar proteção do circuito é o disjuntor. Segundo a tabela 2.15 , um disjuntor de 6 A cumpria com as regras. Contudo, é normal utilizar como regra prática o uso de disjuntores de 10 A na iluminação³³. Da mesma tabela, o corrente convencional assume um valor de 13,5 A.

$$I_b \leq I_n \leq I'_z \Leftrightarrow 3,04\text{A} \leq 10\text{A} \leq 33,9\text{A} \checkmark$$

$$I_2 \leq 1,45 * I'_z \Leftrightarrow 14,5\text{A} \leq 49,2\text{A} \checkmark$$

Verificação da queda de tensão

A verificação da condição de queda de tensão foi verificada para o final da canalização.

O cabo utilizado XV R3G4 mm² tem uma resistência à temperatura natural de(figura A.1 anexos do capítulo 2):

$$R_{20^\circ\text{C}} = 4,61\Omega/\text{km}$$

E uma reatância de(figura A.3 anexos do capítulo 2):

$$X = 0,101 \Omega/\text{km}$$

Uma vez que é utilizado o isolamento em XPLE, pela tabela 2.7 capítulo 2, a temperatura máxima de funcionamento é de 90°C. Pela fórmula 2.3, capítulo 2 ou pela figura A.4 em anexo do mesmo capítulo, obtemos o fator de correção de 1,2765. Assim sendo:

$$R_{90^\circ\text{C}} = 5,88\Omega/\text{km}$$

³³Estas regras são comumente aceites pelos projetistas. Utilizar disjuntores de 10 A para iluminação e 16 A para tomadas de gerais.

A partir da fórmula 2.15, para o cálculo das quedas de tensões em canalizações monofásicas:

$$\Delta U_{I7}(\%) = 2 * \frac{6,32*1+0,101*\sin(\cos^{-1}(1))*\frac{81}{1000}*3,04}{230} = 1,26\%$$

Logo:

$$\Delta U_{redemontante} + \Delta U_{transf} + \Delta U_{(PT-QE)} + \Delta U_{I7} = 5,72\%$$

Como se pode comprovar este valor está dentro do limite dos 6% definidos na figura 2.28.

Verificação da condição de curto circuito

Para a temperatura máxima de curto circuito do XLPE de 250 °C:

$$R_F^{TmaxCC} = R_N^{TmaxCC} = R_{(20^{\circ}C)} * 1,9085 = 8,8 \Omega/km$$

$$R_{(F e N)}^{TmaxCC}(PT - AD1,2 : AD1,2 - AD1,2,1; AD1,2,1 - QE) = 0,24 \Omega$$

Para o cálculo do curto circuito fase neutro mínimo, obtido a partir da fórmula 2.16:

$$I_{cc_{min}}^{FN} = \frac{0,95*230}{2*(8,8)*\frac{81}{1000}+0,24} = 0,131kA$$

Calculado o valor de corrente de curto circuito mínimo, é possível obter o valor do tempo de fadiga térmica e tempo de atuação do sistema de proteção.

A partir da equação 2.17

$$t_{fadigatermica} = (k * \frac{Secção_{minima}}{I_{cc_{min}}})^2 = (143 \frac{4}{131})^2 = 19,06s$$

O tempo de atuação do aparelho de corte ($t_{Atuação \text{ do aparelho de corte}}$) é obtido a partir do abaco da corrente nominal do aparelho de corte (figura 2.25) para o valor de curto circuito mínimo, neste caso o disjuntor escolhido tem a curva B.

$$t_{Atuação \text{ do aparelho de corte}} = 0,01 \text{ s}$$

Assim, verifica-se que as condições das equações 2.18 e 2.19 se verificam:

$$0,01 \text{ s} < 19,6 \text{ s} \checkmark \text{ e } 0,01 \text{ s} < 5 \text{ s} \checkmark$$

O poder de corte, como se referiu, usou-se o calculado no quadro de onde o equipamento irá ser alimentado.

3.4 Projeto de Carregadores de Veículos elétricos

A mobilidade elétrica, devido à sua crescente evolução, os novos edifícios têm de ser preparados, com condições mínimas, para a instalação de pontos de carregamento (PC) destinados aos veículos elétricos (VE). O projeto de carregadores de VE é idealizado segundo o Guia Técnico Das Instalações Elétricas Para Alimentação de Veículos Elétricos[19], publicado pela DGE em 2019, e pelas RTIEBT[15].

O guia técnico foi criado para apoiar o projetista no dimensionamento de instalações ligadas à mobilidade elétrica, caracterizando todas as condições que devem ser tomadas para garantir o fornecimento de energia e segurança das instalações de mobilidade.

Existem 4 possíveis modos de ligação dos veículos elétricos (VE) às instalações elétricas. Nos primeiros três modos, a ligação é realizada em corrente alternada, conhecidos como ponto de carregamento normal (PCN), enquanto que o modo 4 é realizado em corrente contínua, utilizada em pontos de carregamento rápido (PCR).

- Modo 1, “Ligação do VE à instalação de alimentação em corrente alternada por meio de tomadas normalizadas de corrente estipulada não superior a 16 A e de tensão estipulada não superior a 250 V, em circuitos monofásicos, ou a 480 V, em circuitos trifásicos. O circuito de alimentação é constituído por condutores de fase, neutro e de proteção. “ O Modo 1 corresponde ao modo de carregamento de um VE realizado numa tomada normal (TUG).

- Modo 2, “Ligação do VE à instalação de alimentação em corrente alternada por meio de tomadas normalizadas de corrente estipulada não superior a 32 A e de tensão estipulada não superior a 250/480 V. O circuito de alimentação é constituído por condutores de fase, neutro e de proteção com uma função piloto³⁴, e com um sistema de proteção das pessoas contra os choques elétricos.”

- Modo 3, “Ligação do VE à instalação de alimentação em corrente alternada por meio de um sistema de alimentação de VE dedicado, onde a função piloto se estende aos aparelhos de controlo localizados no interior do sistema de alimentação de VE, que são ligados em permanência à instalação.” Este modo é composto principalmente por uma Wallbox³⁵.

- Modo 4, “Ligação do VE à instalação de alimentação em corrente contínua por meio de um carregador externo onde a função piloto se estende aos aparelhos ligados em permanência à instalação.”

3.4.1 Classificação dos locais

A classificação dos locais, referenciada no capítulo 2.2.5, tem relativa importância, facto de os equipamentos destinados à mobilidade elétrica poderem ser colocados em situações adversas, como locais no exterior ou com possibilidade de embate. Portanto, os aparelhos devem ter os índices de proteção mínimos especificados, de acordo com as RTIEBT e as normas IEC 60529 e IEC 62262. No guia técnico, também podem ser observadas algumas das classificações dos locais que devem ser tomadas em conta.

3.4.2 Número mínimo de pontos de carregamento a considerar

Segundo a portaria nº 220/2016, de 2016, e o guia técnico[19], deve ser considerado um número mínimo de pontos de carregamento por ‘n’ lugares de estacionamento. Para cada PC, a potência mínima que deve ser projetado é de 3,68 kVA, devendo ser considerados fatores de simultaneidade de valor 1 no cálculo da potência total. Estes devem ser instalados em zonas dedicadas para o efeito, não interferindo com outros serviços.

³⁴Cabo piloto é um condutor integrado no cabo de carga e que garante as condições relacionadas com a segurança e com a transmissão de dados definidos para o modo de carga utilizado.

³⁵Consiste numa “caixa” instalada na parede com uma ligação destinada exclusivamente ao carregamento de Veículos Elétrico

A regra³⁶ utilizada para o cálculo do número mínimo de lugares, em edifícios industriais direcionados ao carregamento de veículos elétricos, é a fórmula 3.4:

$$N = 0,9 + 0,1 * n \quad (3.4)$$

N número mínimo de lugares para carregamento de veículos elétricos

n número total de lugares do estacionamento

Assim, no caso do projeto idealizado, para um total de 40 locais para estacionamento, considerou-se a disponibilização de 5 lugares para o carregamento de veículos elétricos.

Num projeto, deverá sempre prever-se a instalação do número mínimo e de condições mínimas de instalação. Contudo, devido aos custos elevados de instalação, estes poderão não ser logo instalados no momento de construção dos edifícios.

3.4.3 Alimentação dos pontos de carregamento

Como estudado no capítulo 2.1.2, verifica-se que existem vários tipos de locais onde pode ser feita a instalação de PC. Consoante o tipo de local, podem ser usados certos esquemas tipos e tipos de alimentação, previstos no guia técnico[19]. Na Figura 3.23, estão representados os locais de acesso público e privado e as soluções possíveis de esquemas que podem ser utilizados.

	Acesso	Utilização	Tipo de Estacionamento	Soluções possíveis				
				(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
Tipos de locais	Acesso Público	Domínio Público	Público	-	-	fig. 6	-	-
		Domínio Privado	Centros Comerciais, hotéis, empresas, restaurantes, etc.	-	fig. 7	fig. 6 e 7	-	-
	Acesso Privativo	Uso Exclusivo	Edifícios Unifamiliares (vivendas)	fig. 9	fig. 8	fig. 8 e 9	fig. 9	fig. 8
			Edifícios Multifamiliares	fig. 10, 11 e 12	fig. 13 ^(*)	fig. 10, 11, 12 e 13 ^(*)	fig. 10 e 11	-
		Uso Partilhado	Centros Comerciais, hotéis, empresas, restaurantes, etc.	-	fig. 15 ^(*)	fig. 14, 15 ^(*)	-	fig. 15 ^(*)
			Edifícios Multifamiliares	-	fig. 17 ^(*) e 19 ^(*)	fig. 16, 17 ^(*) , 18 e 19 ^(*)	-	-

Figura 3.23: Tipos de soluções de pontos de carregamento consoante o local a instalar. Tabela do "Guia técnico das instalações elétricas para alimentação de veículos elétricos".

No guia técnico, bem como a legislação presente no capítulo 2.1.2, o tipo de instalação utilizado no projeto enquadra-se nos pontos de carregamento em local privado, para uso partilhado. Isto quer dizer, que os vários utilizadores das instalações poderão usufruir dos pontos de carregamento.

Neste caso, o projeto realizado tomou em consideração as condições que são exigidas no guia técnico, mas uma vez que as instalações se destinam à utilização de várias entidades, os pontos

³⁶Em locais onde exista mais de 400 lugares, o número pode ser limitado a 41 reservados a veículos elétricos. Em habitações multifamiliares a fórmula a usar é $N=0,8+0,2n$.

de carregamento serão ligados à rede de mobilidade elétrica, ficando a cargo de um operador de posto de carregamento (OPC) devidamente licenciado para a exploração dos mesmos.

No quadro representado na Figura 3.24, podem ser observados os escalões de potência que podem ser utilizados nos projetos dos PC.

Tensão nominal (V)	Corrente estipulada do disjuntor (A)	Potência (VA)
230 V	16	3 680
	20	4 600
	25	5 750
	32	7 360
	40	9 200
230/400 V	16	11 085
	20	13 856
	25	17 321
	32	22 170
	40	27 713
	50	34 641
	63	43 648

Figura 3.24: Quadro 2 do guia técnico, Escalões de Potência para o dimensionamento de instalações de VE. Tabela do "Guia técnico das instalações elétricas para alimentação de veículos elétricos".

No caso de estudo, foram projetados três PCN com uma potência de 3,68 kVA, modo de carregamento 2, e dois PC semirrâpidos com uma potência de 22,17 kVA, modo de carregamento 3. Há que ressaltar que os PC, apesar de colocados em locais privados, vão ser da responsabilidade de entidades exteriores que vão cobrar a energia consumida.

3.4.4 Sistema de distribuição

O sistema de distribuição utilizado em redes de distribuição de baixa tensão é, em regra, utilizado o sistema TT. Em redes de distribuição que utilizem o sistema TN poderá ser utilizado este esquema, devendo no circuito final, ser realizado o esquema TN-S. Em IU que utilizem um PT privado, poderá se optar por qualquer um dos sistemas de distribuição. No caso projetado, utilizou-se o sistema TT, com diferencial de proteção.

O valor da terra utilizados nos sistemas de distribuição deve ter um valor, medido ao longo da vida útil e em qualquer altura do ano, que não permita tensões de contato superiores a 25 V. A partir da fórmula 2.1:

$$R_T = \frac{U_L}{I_{\Delta n}} = \frac{25V}{30mA} \leq 833\Omega$$

3.4.5 Dimensionamento de canalizações

O dimensionamento das canalizações afetas às instalações de mobilidade elétrica devem utilizar cabos de secção mínima de 2,5 mm², garantindo que se cumpre com a condição de queda de tensão, com um valor máximo de 5 %.

Os equipamentos a utilizar para proteção devem ser disjuntores com a curva C ou D, capazes de suportar picos resultantes nas ligações.

Quando for utilizada a medida de proteção contra contatos indiretos por corte automático da alimentação (sistema TT), cada ponto de conexão VE deve ser protegido individualmente por meio de um dispositivo diferencial³⁷, com uma corrente diferencial-residual não superior a 30mA.

Na Figura 3.25, está representado o projeto dos pontos de carregamento da IU. Foram considerados três PCN com tomadas, com uma potência de 3,68 kVA em monofásico, e dois pontos de carregamento semirrápido com uma potência de 22,17 kVA. Estes são protegidos por disjuntores tipo C e por interruptores diferenciais (30 mA). Os primeiros 3, os PCN, ficam a cargo da exploradora da instalação, e os PC semirrápidos terão um mecanismo de autenticação sendo cobrada a energia consumida.

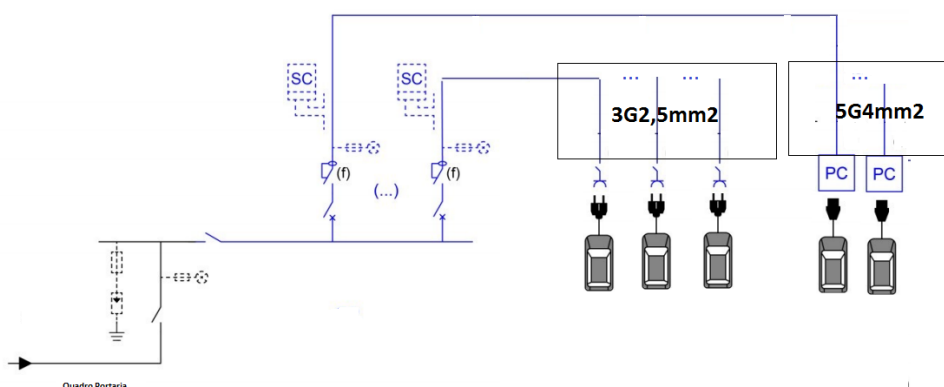


Figura 3.25: Desenho do projeto de carregadores de VE. Os equipamentos a tracejado são equipamentos de contagem, fusíveis, entre outros equipamentos que podem ser adicionados para melhor controle e proteção.

3.5 Dimensionamento de um gerador mecânico de socorro numa indústria

Um gerador mecânico^[61] utiliza a energia mecânica produzida por um motor (a diesel, gasolina)³⁸ que através de um alternador³⁹ produz energia elétrica para ser utilizada na Instalação de Utilização (IU). A utilização de geradores na indústria, prende-se com a necessidade de alimentação de energia elétrica, a determinadas cargas prioritárias, em caso de falha da rede, ou utilização de geradores como alimentação principal das cargas.

³⁷Devem ser usados dispositivos diferenciais tipo B. A instalação de equipamentos de proteção diferencial de classe B garante a segurança das pessoas e o correto funcionamento perante intensidades de corrente alternada (AC), contínua (DC), ou mista (AC/DC) até frequências de 1kHz (<http://circuitos.com>)

³⁸Os geradores a diesel são ideais para maiores potências, geralmente mais robustos e exigem menos manutenção; enquanto os geradores a gasolina são mais fáceis de operar, mais leves e ideais para potências menores^[62]

³⁹Um alternador é um equipamento que tem a função dentro do gerador de transformar a energia mecânica em energia elétrica.

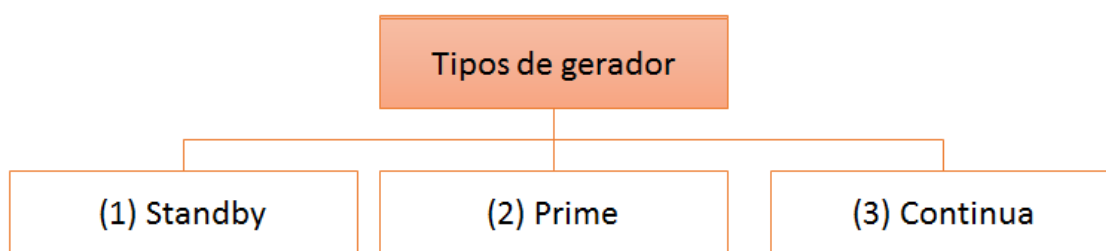


Figura 3.26: Tipo de função dos geradores: www.pramac.com

(1) Standby Os geradores de energia Stand By são utilizados em situações de emergência, como por exemplo, durante uma falha de serviço a partir da rede de serviço pública. São uma solução ideal para as indústrias que possuem uma fonte de energia contínua e confiável de energia elétrica, podendo ser usados na maioria das vezes em quedas de energia, ou em testes e manutenção.

(2) Prime Os geradores de Potência Prime, definidos como tendo um "tempo de execução ilimitado", são usados como fonte de energia primária e não apenas para Stand By. Um gerador de Potência Prime pode fornecer energia em uma situação em que não haja outra fonte de abastecimento. Estão configurados para ter potência máxima disponível em uma carga variável por um número ilimitado de horas, e geralmente incluem uma capacidade de sobrecarga de 10%

(3) Contínua Os geradores de potência contínua são semelhantes aos Prime, mas possuindo uma capacidade de carga menor. Eles podem fornecer energia contínua a uma carga constante, mas não tem a capacidade de funcionar em condições de sobrecarga ou também funcionar com cargas variáveis.

Os casos mais utilizados e que se vai incidir serão os geradores Standby (ou de socorro). Na secção 551, das RTIEBT[15], são estabelecidas condições que devem ser cumpridas pelos sistemas de geradores de BT.

3.5.1 Dimensionamento do gerador

Um bom dimensionamento da potência nominal do gerador é essencial para o seu bom funcionamento. Quando o gerador é subdimensionado, este pode produzir demasiada fumaça e consumir demasiado óleo lubrificante. Por outro lado, quando sobredimensionado pode provocar um elevado sobreaquecimento e podem acontecer paragens constantes. Como tal, o gerador deve ser dimensionado para funcionar numa faixa entre 30% a 70% da sua capacidade nominal.[63]

Em instalações já existentes, a leitura dos consumos pode ajudar no dimensionamento de um gerador, sendo este dimensionado para o pico máximo de consumo. Contudo, quando se está a realizar um projeto para se colocar em execução é necessário fazer um estudo mais pormenorizado, sabendo qual o total de potência que irá ser instalado.

No cálculo das potência há que ter em atenção aos tipos de carga da indústria, face aos picos[64] que alguns equipamentos apresentam quando entram em funcionamento. Estes valores podem ser obtidos a partir dos dados dos fornecedores dos equipamentos. Na falta de informação para o dimensionamento de geradores, podem ser considerados os seguintes valores de corrente de pico:

- Motores, elevadores, portões tem uma corrente de pico 3 a 4 vezes superior à corrente de funcionamento normal;

- Compressores tem uma corrente de pico 6 vezes superior;
- Iluminação, tomadas de uso geral pode ser considerado 1;
- Tomadas industriais vai depender dos equipamentos que lhe são ligados;

A utilização de fatores de simultaneidade também deve ser utilizada no dimensionamento. Os coeficientes que podem ser utilizados os estudados no capítulo 2. Na Tabela 3.6, estão representados os valores obtidos em regime normal e regime de pico para a instalação de logística GAR. Optou-se por multiplicar por uma margem de 30% para garantir o bom funcionamento do gerador e para precaver eventuais aumentos de cargas instaladas.

Tabela 3.6: Regime de funcionamento normal e de pico da instalação de utilização

	Regime Normal	Regime Pico
$S(kVA) / S(kVA)*130\%$	115/149	128/166

De acordo com a potência exigida na tabela 3.6 foi selecionado o grupo gerador J165K da AutoSueco – SDMO⁴⁰, com capacidade de fornecer 165 kVA em ESP⁴¹ e 150 kVA em PRP⁴².

3.5.2 Dimensionamento da canalização elétrica

O dimensionamento da canalização afeta ao gerador, segue os mesmos cálculos do capítulo 2. Contudo, na ocorrência de curto circuitos em geradores existem três períodos diferentes: sub-transitório (período inicial onde o valor da corrente de curto circuito decresce rapidamente), transitório (período seguinte, onde a diminuição da corrente de curto circuito é mais lenta) e o permanente (período onde a corrente de curto circuito apresenta o seu valor estacionário, normalmente este período não é atingido uma vez que a proteção deverá atuar antes desse período).

No estudo do curto-circuito, para definir o valor da regulação da proteção do disjuntor do alternador, geralmente utiliza-se a reatância sub-transitória de eixo direto, isto é, X''_d , sendo o período para o qual o curto circuito tem valores mais elevados. [65]

3.5.3 Inversor de rede (RESP e Gerador)

A utilização de geradores em Standby são instalados em paralelo com a rede de serviço pública (RESP). Nestes geradores, a rede tem sempre prioridade de funcionamento, entrando apenas em funcionamento em situações em que existe interrupção do fornecimento da rede pública e há necessidade de alimentação através de uma fonte alternativa.

O mecanismo que faz este controlo é o inversor de rede (Figura 3.27). O inversor de rede permite fazer a troca, manual ou automaticamente, do sistema de alimentação. Nos geradores de socorro, os inversores devem, segundo as RTIEBT, ter encravamentos elétricos, mecânicos e eletromecânicos, para impedir alimentação simultânea da RESP e do gerador⁴³.

⁴⁰Datasheet: <https://www.kohler-sdmo.com/EN/Products/PPR/Power-gen-products/J165K>

⁴¹ESP Potência de emergência. Capacidade de fornecer potência em situações de emergência

⁴²PRP Potência prime. Capacidade de fornecer potência em situações de não existência de rede, ou falhas constantes.

⁴³Alimentação simultânea pode causar curto circuitos prejudiciais.

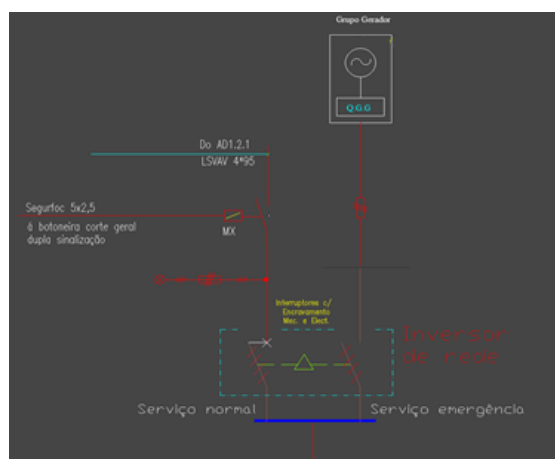


Figura 3.27: Projeto do inversor de rede para o pavilhão de logística que irá ser ligado ao QE

No projeto realizado, o gerador foi projetado de maneira a suportar alimentação de toda instalação, considerando que todas as cargas são prioritárias ao bom funcionamento. Contudo, face à dificuldade de investimento por parte das empresas, podiam ser consideradas apenas algumas cargas prioritárias, tais como: sistema de telecomunicação, sistemas de vigilância, entre outros. Assim, poderia reduzir-se o investimento em equipamento ao diminuir o valor de potência nominal do gerador.

Neste casos, deveria ser projetado um quadro de emergência que em situação normal seria alimentado pela RESP e em casos de emergência seria alimentado pelo gerador.

3.5.4 Condições técnicas

No projeto, mais concretamente na escolha do gerador, devem ser tidas em conta outras componentes, tais como:

Sistema de arrefecimento

Os geradores devem possuir sistemas de arrefecimento para evitar sobreaquecimentos no motor e no alternador. O local onde se vai instalar o gerador influencia o método de arrefecimento.

Armazenamento

Capacidade de armazenamento para suportar faltas de energia da rede. O gerador deverá ter um depósito com capacidade suficiente para aguentar um número de horas que se considere mínimo.

$$V = Ct \quad (3.5)$$

V (l) capacidade do depósito

C (l/h) consumo

t (h) autonomia do grupo

Poluição sonora e ambiental

A poluição sonora e ambiental são outros fatores muito importantes. Os geradores devem ser insonorizados quando se encontrem perto de urbanizações ou se afetar os funcionários.

Deve-se tanto quanto possível utilizar sistemas mais vantajosos para o ambiente e que consigam evitar emissões carbônicas.

3.5.5 Guia de terras aplicado aos geradores

O esquema utilizado em geradores poderá ser o esquema TT, que o neutro é ligado a uma terra de neutro, enquanto as massas são ligadas diretamente a uma terra de massas. [66]

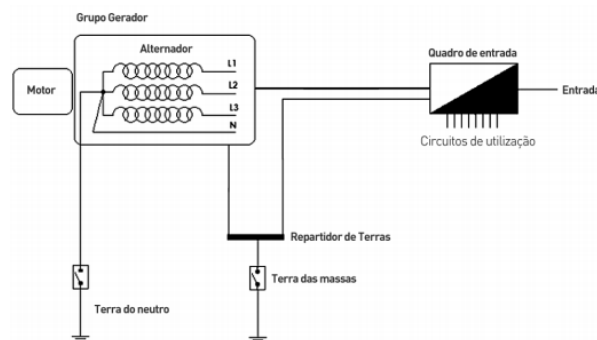


Figura 3.28: Representação das terras de neutro e massas de um gerador. Imagem obtida a partir do documento "fontes centrais constituídas por geradores acionados por motores de combustão"

Nos geradores de baixas potências ou que estejam inseridos em redes isolados, o neutro deve ser ligado diretamente à terra. Este regime permite melhorar o comportamento do gerador se existirem cargas desequilibradas.[67]

3.6 Conclusão

O capítulo 3 tem como intuito servir de guia para o desenvolvimento de um projeto elétrico de uma instalação de serviço particular alimentada em média tensão.

Foram mencionadas e esmiuçadas as várias etapas que devem ser tidas em conta para partir para a construção de um projeto elétrico. São tratadas as etapas desde a alimentação a partir da rede de serviço pública, passando pela distribuição de energia (quer a rede de distribuição de energia em baixa tensão, quer a distribuição de energia dentro das instalações) até à alimentação dos equipamentos. Ainda, foram abordados projetos como: geradores de emergência e instalação de carregadores para veículos elétricos.

Capítulo 4

Ferramenta de dimensionamento de canalizações elétricas de Baixa Tensão

Durante o projeto foi concebida uma ferramenta que permite auxiliar o processo de dimensionamento de canalizações, proteções, entre outras funções em instalações de utilização de Baixa Tensão (BT). Para tal, foi usado o programa Excel, onde são utilizadas algumas das suas funcionalidades e a linha de programação Visual Basic (VBA)¹.

A ferramenta permite realizar os cálculos do dimensionamento de BT baseados nas fórmulas e pressupostos apresentados no capítulo 2, mais concretamente:

- Cálculo da impedância da rede a montante e do transformador;
- Dimensionamento dos armários e quadros elétricos (rede de distribuição de energia em BT e rede de alimentação de energia dentro da instalação em BT), dividida em duas partes:
 - Parte 1: dimensionamento canalização e proteção;
 - Parte 2: avaliação da condição de curto-circuito e poder de corte² ;.
- Dimensionamento da rede interna. Dimensionamento da canalização que parte dos quadros até ao equipamento que é alimentado.

Neste capítulo será demonstrado o funcionamento da ferramenta, com o exemplo do dimensionamento do projeto realizado, para o qual foram demonstrados exemplos no capítulo 3.

Além das folhas que vão ser apresentadas, a ferramenta possui uma base de dados com informação de consulta que pode ser muito relevante na hora de o utilizador tomar a decisão. Essa informação pode ser consultada nas folhas de Excel ou clicando sobre os cabeçalhos, existindo hiperligações que irão mostrar essas folhas informativas.

Alguma dessa informação além de útil para o projetista, é utilizada pela ferramenta para realizar determinados cálculos ou obter informação. Podem ser vistas informações sobre:

- **Dados dos cabos**, figura 4.7. A ferramenta possui informações sobre alguns cabos, podendo ser atualizada e aumentada, sendo obrigatório colocar todas as informações que existem nas colunas da tabela de cabos.
- **Modos de instalação**. Para escolher o modo de instalação na imagem 4.6, pode utilizar a base de dados “Modos de instalação” onde estão representados os vários tipos com imagens representativas, segundo os dados das RTIEBT.

¹VisualBasic é uma linguagem de programação no Excel, que permite criar funções de apoio.

²Tal como observado nos cálculos do capítulo 2 o Poder de Corte vai ser avaliado até aos quadros finais. O poder de corte utilizado no aparelho de proteção de determinado circuito de alimentação será o do quadro onde está instalado.

• **Valores da corrente máxima de funcionamento (I_z).** Na ferramenta, podem ser visualizadas todas as tabelas de I_z que se encontram nas RTIEBT e no RSRDEEBT. Ao escolher o cabo e o modo de instalação, como se verá de seguida, o programa irá procurar o valor de I_z automaticamente. Este valor é obtido a partir da base de dados relativa aos cabos. A primeira vez que for inserido um cabo, tem de ser atualizar os valores de I_z para cada modo de instalação.

• **Fatores de simultaneidade.** São disponibilizadas algumas regras utilizadas para calcular os valores de potência de acordo com os fatores de simultaneidade.

- **Fatores de correção.** São apresentados valores de correção que devem ser aplicados a I_z
- **Informações sobre tempo de atuação de fusíveis e disjuntores**
- **Regras de seletividade**

4.1 Folha 'Página Inicial'

A ferramenta possui uma página inicial que permite inserir alguns dados sobre o projeto (Figura 4.1). Esta é uma folha destinada a colocar informação relevante do projeto. São disponibilizadas hiperligações (botões azul do lado direito) que permite saltar para as folhas que se pretende consultar.

DESMONTO

Pode saltar diretamente para a página pretendida, selecionando o botão

Informações gerais do projeto	
TRprojeto:	Francisco Carneiro
Nome do Projeto:	Projeto de infraestruturas de energia elétrica de BT
Local do projeto:	Sítio
Tipo de instalação:	Tipo B
Notas:	Tipo B por ser em MT Tipo A por ter um gerador
Notas gerais:	O projeto incluirá um gerador de socorro, uma upac e MOBI.e

[Rede Montante](#)
[Definir a rede](#)
[Rede de BT Externa \(Especificações\)](#)
[Rede de BT Externa \(CC\)](#)
[Rede de BT interna](#)

ação: Tipo B
 Tipo A
 Tipo B
 Tipo C

Figura 4.1: Extrato da ferramenta de dimensionamento, Folha "Página Inicial" para consulta de dados

4.2 Folha 'Rede Montante e Transformador'

Como descrito no Capítulo 2, o dimensionamento de proteções, mais concretamente avaliação do poder de corte dos aparelhos de proteção é obtida a partir do cálculo do curto circuito máximo trifásico. Como observado no mesmo capítulo, este cálculo utiliza a impedância da rede a montante e do valor da impedância do transformador.

Nesta folha, Figura 4.2, o utilizador necessita de fornecer três dados (campos a cinzento³).

- Potência de curto circuito obtido por consulta do operador da rede de distribuição (ORD)
- Potência no transformador. Neste caso, foi criada uma lista com os transformadores permitidos pela EDP distribuição na norma DMA-C52-125/N.[48]
- Tensão estipulada de curto circuito segundo a norma DMA-C52-125/N.[48]

³Na aplicação, todos os dados a cinzento são para preenchimento do utilizador. A maioria dos cálculos/funções por de trás da ferramenta faz uso dessas mesmas informações.

Estas informações, possibilitam o cálculo das impedâncias (em p.u.), que será utilizado mais à frente no cálculo do poder de corte.

Cálculo da impedância equivalente da rede a montante + transformador

Insira o valor de Potência de curto circuito (Valor fornecido pelo distribuidor da rede)

Scc= 350 MVA

Valor de potência do Transformador

Stranfor= 630 kVA

Ucc= 4% para p.u.->

Dados auxiliares

Sb(MT)	630 p.u.	kVA
Ub(MT)	400 p.u.	V
Ib	909,326674 p.u.	A
Zb	0,253968254 p.u.	ohm
S''q=I''q=Sm/Sb=	555,5555556 p.u.	
Zq=I''q*Un/I''q=	0,001980 p.u.	

Impedância do transformador

Xf	0,04	p.u.
----	------	------

Impedância equivalente da rede a montante

Zeq	0,00198	p.u.
-----	---------	------

Transformadores segundo a norma DMA-C52-125/N (EDP distribuição)

Tensão estipulada de curto circuito Ucc (%) norma DMA-C52-125/N (EDP distribuição)

≤ 15 kV

< 30 kV

Figura 4.2: Extrato da folha "rede a montante".

4.3 Folha 'Criar a rede de distribuição e quadros elétricos'

Na segunda folha, "Criar a rede de distribuição e quadros elétrico", é montada a rede de fornecimento de energia. Este rede pode incluir a rede distribuição, que inclui o QGBT e os armários de distribuição, e a rede interna de quadros de alimentação (quadros de entrada, quadros parciais). O esquema⁴ criado, foi realizado de acordo com o projeto estudado e com as necessidades de várias instalações de utilização industriais (podendo ser utilizado em instalações de BT de várias tipologias). Assim, podem ser realizadas várias combinações para criar uma rede de fornecimento em BT.

Na Figura 4.3, mostra-se o exemplo da rede do projeto de dissertação, que está montado como exemplo no esquema.

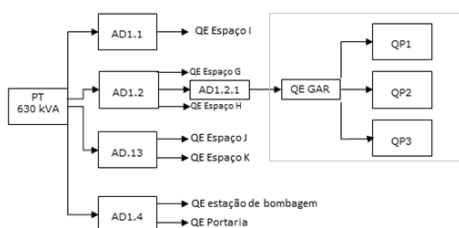


Figura 4.3: rede de armários e quadros do projeto (exemplificado como modelo na ferramenta

Para definir a rede na ferramenta, Figura 4.4, nos objetos⁵ é colocado a 0, que indicará que o objeto está desativado que passará a preto, ou a 1, que indicará que está ativo e ficará a vermelho (apenas poderá colocar essas duas opções). Antes de ativar um objeto deve certificar-se que o quadro a montante está ligado, para que exista uma ligação de energia.

⁴O esquema é referente ao desenho criado na Figura 4.4, onde podem ser criadas várias redes de fornecimento de energia, tal como o exemplo mostrado sobre o projeto da instalação de logística.

⁵Os "objetos" são cada um dos retângulos dentro do boneco. Estes podem representar armários ou quadros elétricos.

O nome dentro de cada um dos objetos poderá ser modificado, sendo o identificador nas folhas relativas ao dimensionamento. No lado direito da Figura 4.4 estão as opções de ligar e desligar com o seu significado.

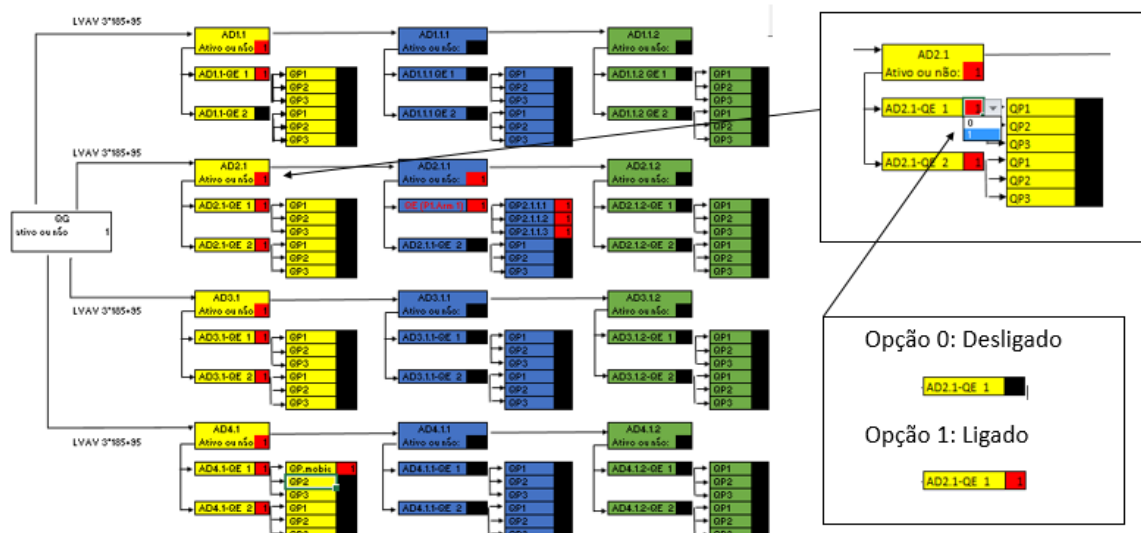


Figura 4.4: Boneco que possibilita criar várias combinações de redes com armários e quadros. Do lado direito são apresentadas ampliações que mostra o modo como se pode “ligar” ou “desligar” o objeto

Depois de criada a rede, foi programado um botão em VBA, que permite gerar as folhas de dimensionamento onde apenas são apresentadas as linhas referentes às ligação entre os vários objetos que foram ativos.

Ao clicar no botão a ferramenta vai avaliar quais os objetos que estão ativos, mantendo as linhas que correspondem à derivação entre esses objetos. No caso de um quadro estar ligado, sem que exista um quadro a montante ativo, para o qual exista uma derivação, a linha manter-se-á, mas não são apresentadas informações nas folhas seguintes.

4.4 Folha 'Rede de distribuição e quadros elétricos'

Criada a rede na folha “Criar a rede de distribuição e quadros elétricos”, ao clicar no botão, apenas aparecem as linhas respetivas a cada uma das derivações pretendidas. O que irá ser mostrado é uma folha do género da Figura 4.6, apenas com os nomes na coluna origem e destino, que foram atribuídos na secção anterior (toda a outra informação foi colocada posteriormente para realizar o dimensionamento do projeto). A função desta folha será realizar o dimensionamento das canalizações entre os armários e quadros ou entre quadros (da rede criada no boneco). O funcionamento da folha, seguirá o funcionamento do fluxograma da Figura 4.5.

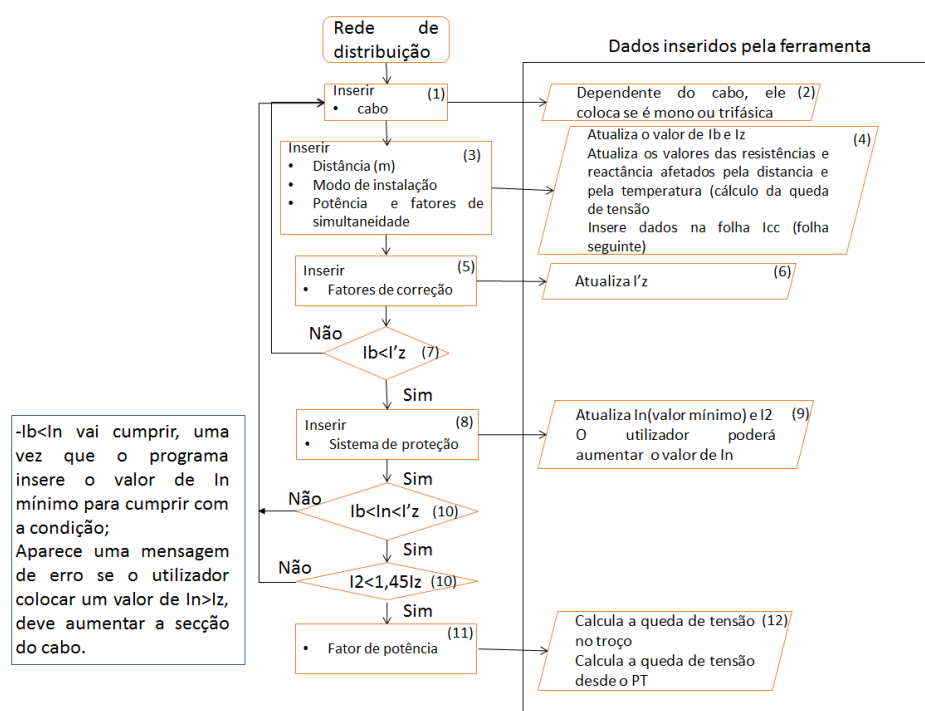


Figura 4.5: Diagrama de funcionamento da Folha rede de distribuição e quadros elétricos

Os números que vão sendo apresentados no texto em seguida fazem referência aos números presentes do diagrama.

Os dados a inserir pelo utilizador, para realizar o dimensionamento, são as informações que estão com um fundo cinzento, na Figura 4.6, que são:

- Qual o cabo que pretende utilizar (1);
- Distância (em metros) (3);
- Modo de instalação (3);
- Potência Máxima Admissível (kVA) e fatores de simultaneidade (predefinidos com o valor 1). Não deverá ser 0 ou nulo (3);
- Fatores de correção (predefinidos com o valor 1). Não deverá ser 0 ou nulo (5).

O programa possui listas, baseadas nas bases de dados, que permite facilitar a escolha de quem está a realizar o dimensionamento. Essas informações podem ser consultadas nas várias folhas do Excel, ou clicando sobre os cabeçalhos, permitindo consultar dados relevantes sobre cada uma das informações que o utilizador necessita de inserir.

Inseridas as informações, a ferramenta irá adicionar e calcular dados como:

- Tensão nominal (U_n) que irá depender do cabo escolhido. No caso de se usar um cabo de 5 condutores, mas para alimentação monofásica deve alterar este valor de 400 para 230 V (2);
- Valor de potência afetada pelos fatores de simultaneidade (4);
- Valor de corrente de serviço (I_b) (4);
- Corrente máxima admissível (I_z) (4);

- Corrente máxima admissível afetada pelos fatores de correção ($I'z$) (6).

Informações da instalação															
Origem	Destino	Cabo	L (m)	Modo de instalação	Un (V)	S (KVA)	Fs ou Ku	S (KVA)	Ib (A)	Iz (A)	Fatores de correção				Iz' (A)
											Quadro RTIEB	FC1	Quadro RTIEB	FC2	
QG	AD1.1	LVAV 3*185+95	94,86	s diretamente enterrados no solo	400	65	1	65	94	355	0,8	1	1	284	
QG	AD2.1	LVAV 3*185+95	201,7	s diretamente enterrados no solo	400	139	0,78668	109,626	159	355	0,8	1	1	284	
QG	AD3.1	LVAV 3*185+95	67,06	s diretamente enterrados no solo	400	95	1	95	138	355	0,8	1	1	284	
QG	AD4.1	LVAV 3*185+95	139,32	s diretamente enterrados no solo	400	115,39	0,85355	98,4915	143	355	0,8	1	1	284	
AD1.1	AD1.1-QE 1	LSVAV 4*35	25	D	400	65	1	65	94	114	1	1	1	114	
AD2.1	AD2.1-QE 1	LSVAV 4*35	12	D	400	17,25	1	17,25	25	114	1	1	1	114	
AD2.1	AD2.1-QE 2	LSVAV 4*35	12	D	400	17,25	1	17,25	25	114	1	1	1	114	
AD2.1	AD2.1.1	LVAV 3*185+95	96	D	400	104,532	0,78668	82,4418	119	285	0,8	1	1	228	
AD2.1.1	QE (P1 Arm 1)	LSVAV 4*95	21	D	400	104,532	1	104,532	151	197	1	1	1	197	
QE (P1 Arm 1)	QP2.1.1.1	H1XV-R3x1,5+50+XG2,5	40	B	400	24,331	0,6	14,5986	21	175	1	1	1	175	
QE (P1 Arm 1)	QP2.1.1.2	H1XV-R3x1,5+50+XG2,5	60	B	400	31,161	0,6	18,6966	27	175	1	1	1	175	
QE (P1 Arm 1)	QP2.1.1.3	H1XV-R3x1,5+50+XG2,5	180	B	400	9,4	0,8	7,52	11	175	1	1	1	175	
AD3.1	AD3.1-QE 1	LSVAV 4*35	32	D	400	45	1	45	65	114	1	1	1	114	
AD3.1	AD3.1-QE 2	LSVAV 4*35	22	D	400	50	1	50	72	114	1	1	1	114	
AD4.1	AD4.1-QE 1	LSVAV 4*95	41	D	400	65,39	1	65,39	95	197	1	1	1	197	
AD4.1	AD4.1-QE 2	LSVAV 4*35	35	D	400	50	1	50	72	114	1	1	1	114	
AD4.1-QE 1	QP mobile	LSVAV 4*95	20	D	400	55,04	1	55,04	80	197	1	1	1	197	

LVAV 3*185+95	94,86	cabos diretamente enterrados no solo	..1	94	355
LSVAV 2*16	A	52-D1			
LSVAV 4*16	B	52-D2			
LSVAV 4*35	C	52-E1			
LSVAV 4*95	E	52-E2			
LVAV 3*185+95	F	52-E3			
H1XV R2G1,5	G	52-E4			
H1XV R3G1,5	A2	52-E5			
H1XV R3G2,5	B2	52-E6			

Figura 4.6: Extrato da folha “Rede de Distribuição com informações sobre as canalizações da rede de distribuição. Ampliações das listas com dados predefinidos que otimizam o tempo do utilizador. Nos cabeçalhos existem hiperligações que permitem ao utilizador saltar para as folhas informativas.

A base de dados relativa aos cabos é formatada segundo a Figura 4.7, com os dados necessário para a ferramenta funcionar. Ao atualizar a base de cabos têm de ser colocadas todas as informações que são mostradas, sendo que a ferramenta faz uso destes mesmo dados. Na figura os dados dos cabos já inseridos são parte dos dados que foram usados no projeto.

DADOS DOS CABOS										Nota: quando usar o tipo de cabo abaixo, copie o método de utilização dos cabos				
	constituição dos cabos									método de utilização dos cabos				
tipo de cabo	constituição	fase(mm²)	~/3~	mono/multiconduto	20(ohm/km)	(ohm/km)	neutro(mm²)	20(ohm/km)	X (ohm/km)	A	B	C	D	
LSVAV 2*16	Al	PVC	16	mono	multi	1,91	0,0817	16	1,91	0,0817	48	60	66	88
LSVAV 4*16	Al	PVC	16	trif	multi	1,91	0,0817	16	1,91	0,0817	43	53	59	74
LSVAV 4*35	Al	PVC	35	trif	multi	0,868	0,0783	35	0,868	0,0783	70	86	90	114
LSVAV 4*95	Al	PVC	95	trif	multi	0,32	0,0762	95	0,32	0,0762	129	161	170	197
LVAV 3*185+95	Al	PVC	185	trif	multi	0,164	0,0742	95	0,32	0,0762	194	-	259	285
H1XV R2G1,5	cobre	XLPE	1,5	mono	multi	12,1	0,118	1,5	12,1	0,118	19,0	23	24	37
H1XV R3G1,5	cobre	XLPE	1,5	mono	multi	12,1	0,118	1,5	12,1	0,118	19,0	23	24	37
H1XV R3G2,5	cobre	XLPE	2,5	mono	multi	7,41	0,109	2,5	7,41	0,109	26	31	33	48
H1XV R3G4	cobre	XLPE	4	mono	multi	4,61	0,101	4	4,61	0,101	35	42	45	63
H1XV R3G6	cobre	XLPE	6	mono	multi	3,08	0,0955	6	3,08	0,0955	45	54	58	80
H1XV R5G1,5	cobre	XLPE	1,5	trif	multi	12,1	0,118	1,5	12,1	0,118	17,0	20,0	22	31
H1XV R5G2,5	cobre	XLPE	2,5	trif	multi	7,41	0,109	2,5	7,41	0,109	23	28	30	41

Figura 4.7: Base de dados relativa aos cabos com as informações utilizadas pela ferramenta

Verificação da condição de aquecimento (7)

A primeira condição a ser avaliada é a condição de aquecimento. Como é verificado pela Figura 4.8, se o cabo cumprir a condição aparecerá uma mensagem a dizer “Verifica”, caso o valor da corrente de serviço seja inferior ao corrente máxima admissível pelo cabo, a ferramenta vai alertar que é necessário aumentar a secção.

condição de Aquecimento
$I_b < I'z$
Verifica
Verifica
Verifica
Verifica
Aumente a secção do cabo

Figura 4.8: Avaliação da condição de aquecimento

Verificação da condição de sobrecarga (8)(9)(10)

Nesta parte da folha é avaliada a condição de sobrecarga (10). A primeira fase é definir o tipo de aparelho de proteção que poderá optar pelo uso de fusíveis ou disjuntores (Figura 4.9, canto superior direito) (8). Definido o tipo de aparelho, a ferramenta irá apresentar o valor mínimo do valor da corrente nominal (I_n) superior ao valor da corrente de serviço, que o utilizador pode aumentar de acordo os valores predefinidos ⁶ (Figura 4.9, canto inferior direito).

condição de sobrecarga				
Proteção	I_n	$I_b < I_n < I_2$	I_2	$I_2 < 1,45 I_n$
Fusíveis	250	ok	400	ok
Fusíveis	315	ok	504	ok
Fusíveis	250	ok	400	ok
Fusíveis	250	ok	400	ok
Fusíveis	100	ok	160	ok
Fusíveis	100	ok	160	ok
Fusíveis	100	ok	160	ok
Fusíveis	200	ok	320	ok
Fusíveis	160	ok	256	ok
Disjuntores	80	ok	108	ok
Disjuntores	80	ok	108	ok
Disjuntores	80	ok	108	ok

1	319,5	Verifica	Fusíveis
Fusíveis			
Disjuntores			

síveis	250
S	100
S	125
S	160
S	200
S	250
S	315
S	400
S	500

Figura 4.9: Avaliação da condição de sobre carga. Do lado direito tem uma ampliação das listas dos aparelhos de proteção e das correntes nominais que podem ser atribuídas de acordo com dados padrão

O valor mínimo (I_n) é atribuído pela ferramenta (9), que irá ler a base de dados relativa aos aparelhos de proteção, até encontrar o valor mínimo da corrente nominal superior à corrente de serviço. A corrente convencional (I_2) é diretamente atribuída consoante o aparelho e valor de corrente nominal.

Nota: O utilizador não deve colocar um aparelho com uma corrente nominal inferior ao facultado pela ferramenta, não cumprindo com a condição de sobrecarga. A ferramenta mostrará uma mensagem de alerta, indicando para subir o valor da corrente nominal.

Aparecerá também uma mensagem de alerta nos casos em que o valor de I_n é superior ao de $I'z$ ou $I_2 > 1,45 I'z$, que indicará para aumentar a secção do condutor.

⁶Os valores utilizados são valores standard utilizados por todos os fornecedores.

Queda de Tensão (11)(12))

Nesta parte da folha são calculados os dados das quedas de tensão nos cabos. É possível verificar o valor de queda de tensão para o troço a dimensionar, bem como a queda de tensão acumulada desde o PT até ao final do troço (12).

O valor do fator de potência ($\cos\Phi$)(11) aparecerá predefinido com o valor 1 e deverá ser o utilizador alterar para o valor correto, de acordo com a sua instalação.

Nas folhas apresentadas ao utilizadores existe vários dados que se apresentam ocultos, como é o caso da Figura 4.10. Do lado direito, podemos ver os dados das resistências e reactâncias dos cabos que são utilizados nos cálculos. Estes dados podem consultados pelo utilizador retirando o modo oculto das colunas em questão.

Queda de tensão			Tubo PEAD
cab	u(%)	$\Sigma u(\%)$	Caminho de Cabos
0,9	0,8%	0,81%	PEAD 160
0,9	2,9%	2,90%	PEAD 160
0,9	0,8%	0,83%	PEAD 160
0,9	2,6%	2,58%	PEAD 160
0,9	1,0%	1,73%	PEAD 63

Sf (mm2)	Rf(20°C)*km	Xf(20°C)*km	Rf((Tmax_func)*km PVC= 70 °C XLPE= 90°C	Rf(Tmax_CC)*km -PVC= 160°C -XLPE= 250°C
185	0,016	0,007	0,019	0,024
185	0,033	0,015	0,039	0,051
185	0,011	0,005	0,013	0,017
185	0,033	0,015	0,039	0,050

Figura 4.10: Verificação da queda de tensão por troço e total. Ainda é fornecido uma informação adicional que é o cálculo do tubo de proteção

A ferramenta apresenta uma informação, que poderá ser utilizada pelo utilizador, que é o dimensionamento de tubo de proteção. Neste caso, através do diâmetro dos cabos, ele calcula o valor do tubo de acordo a norma DMA-C68-010/N [55] publicada pela EDP distribuição.

4.5 Folha 'Icc'

Nesta folha, Figura 4.12, é avaliada a condição de curto circuito e escolhido o poder de corte que os equipamentos deverão ter em cada um dos armários/quadros. Estas condições são avaliadas pelas formulação e regras apresentadas no capítulo 2. Nesta folha estará oculta toda a informação de resistência e reactâncias (1) que permitem realizar os cálculos dos curtos circuitos, que poderá ser consultada abrindo as zonas ocultas. A folha "Icc" funcionará de acordo com o fluxograma seguinte (4.11):

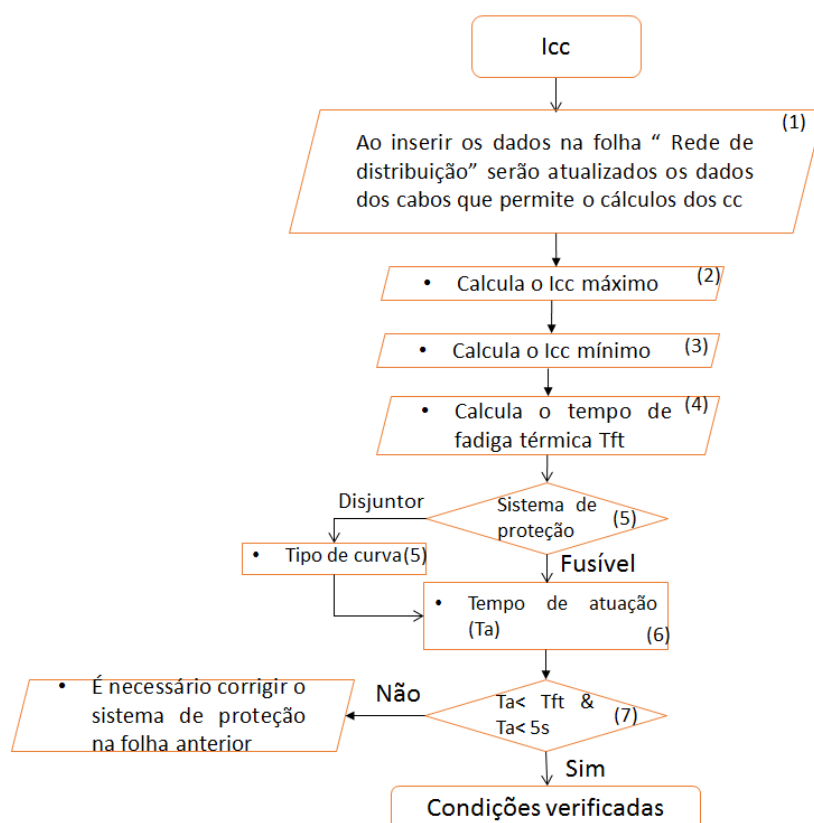


Figura 4.11: Diagrama de funcionamento da folha Icc

A ferramenta apresenta o valor do curto circuito máximo, que deve ser considerado para o equipamento colocado na coluna “Destino” (2). O valor do curto circuito máximo em kVA, será o valor utilizado para definir o poder de corte dos aparelhos de proteção das canalizações. Na última coluna o utilizador pode escolher o poder de corte para o quadro em questão. Esse deve ser igual ou superior ao valor do curto circuito máximo em kVA. A lista possui valores standard de valores de poder de corte.

A ferramenta irá realizar o cálculo do curto circuito mínimo (3), o valor por troço é verificado para o equipamento da coluna “Origem”, para o qual avalia o tempo de fadiga térmica (4), o tempo de atuação⁷ (6) e verifica das condições de curto circuito (7). No caso de serem usados disjuntores como aparelho de proteção (5), é necessário definir a curva do disjuntor (zona a cinzento na Figura 4.12). Se forem utilizados fusíveis, os cálculos são feitos automaticamente.

Se as condições de curto circuito não forem verificadas deve ser verificada a corrente estipulado do equipamento de proteção, de maneira que este cumpra com as regras enunciadas no capítulo 2.

⁷Tempo de atuação: Foram criadas tabelas a partir dos abacos dos aparelhos de proteção, que a ferramenta consoante o valor de corrente de curto circuito mínimo vai avaliar qual o tempo de atuação que este demora atuar

Origem	Destino	CC máx Iccmax Poder de corte pu	CC min Iccmin VA	Tempo de fadiga térmica Tft s	se disjuntor tipo de curva	Tempo de atuação Ta s	T<Tft Ta<Ts	Poder de corte kVA
rede montante transformador		23,82	21,66					
QG	AD1.1	10,78	3,80	3 106,4	5,402		0,04	Verifica 15
QG	AD2.1	6,07	5,52	1 461,0	24,423		1	Verifica 10
QG	AD3.1	13,28	12,08	4 394,2	2,700		0,02	Verifica 15
QG	AD4.1	6,11	5,56	1 474,0	23,993		0,4	Verifica 10
AD1.1	AD1.1-QE 1	6,03	5,48	1 536,9	2,775		0,02	Verifica 10
AD2.1	AD2.1-QE 1	4,38	4,53	1 204,0	4,881		0,04	Verifica 10
AD2.1	AD2.1-QE 2	4,38	4,53	1 204,0	4,881		0,04	Verifica 10
AD2.1	AD2.1.1	4,32	3,33	989,8	53,203		0,8	Verifica 10
AD2.1.1	QE (P1.Arm 1)	3,89	3,54	905,4	63,591		0,4	Verifica 10
QE (P1.Arm 1)	QP2.1.1.1	3,16	2,88	727,3	36,641	Curva C	0,01	Verifica 10
QE (P1.Arm 1)	QP2.1.1.2	2,89	2,63	662,2	116,583	Curva C	0,01	Verifica 10
QE (P1.Arm 1)	QP2.1.1.3	1,89	1,72	430,8	275,491	Curva C	0,015	Verifica 10

Figura 4.12: Avaliação da condição de curto circuito e cálculo do poder de corte

4.6 Folha 'Rede BT interna'

Definida toda a rede de armários e/ou quadros de alimentação de energia, com o dimensionamento de canalizações e proteções que verifiquem as condições, o próximo passo é o dimensionamento da alimentação dos circuitos de alimentação de equipamentos. O fluxograma de inserção de dados, bem como a forma de funcionamento da folha da Figura 4.13 são muito semelhantes com as diferenças que vão apresentadas de seguida. As diferenças nesta folha são:

- Em primeiro é obrigatório definir o quadro de origem. Este deve usar exatamente o mesmo nome que na Folha “Rede de distribuição e quadros elétricos” e “Icc” o que permitirá que a ferramenta faça ligação com os troços de distribuição e utilize os dados que fazem parte da distribuição até ao quadro que é enunciado.

Estes dados vão ser importantes para o cálculo da queda tensão total e do curto circuito mínimo.

Informações da instalação														
Origem	Destino	Cabo	L (m)	Modo de instalação	Un (V)	S (KVA)	Ib (A)	Iz (A)	Fatores de correção					
									Quadro RTIEBT	FC1	Quadro RTIEBT	FC2	Quadro RTIEBT	FC3
QE (P1.Arm 1)	Il. Balneario FEM	HTXVR3G2,5	11,9	B	230	0,228	1,0	31	52-D1	1	52-E1	0,7	1	21,4
QE (P1.Arm 1)	Il. Balneario Masc	HTXVR3G2,5	28,37	B	230	0,25	1,1	31	52-D1	1	52-E1	0,7	1	21,4
QE (P1.Arm 1)	Il. Linha 1	HTXVR3G4	81	B	230	0,7	3,0	42	52-D1	1	52-E1	0,7	1	29,0
QE (P1.Arm 1)	Il. Linha 2	HTXVR3G4	76	E	230	0,7	3,0	49	52-D1	1	52-E1	0,7	1	33,9

➔ Ir buscar a referência do quadro da folha anterior

Figura 4.13: Primeiro extrato da folha da rede de baixa tensão interna. Informação sobre as canalizações

- Como já referido, o Poder de Corte apenas vai ser calculado para os armários ou quadros. Nesta folha não será realizado este cálculo, sendo que o poder de corte utilizado pelos equipamentos de proteção é o do armário ou quadro.

Definido o quadro, como referido na primeira recomendação, e depois de definidas as informações de: cabos, modos de instalação, as potências, aparelho de proteção, corrente nominal e fator de potência, a ferramenta avalia as condições de aquecimento, sobrecarga, calcula a queda de tensão (que devem cumprir com valores presentes na tabela da Figura 2.28) e avalia as condições

de curto circuito. Na Figura 4.14, uma vez que, são usados disjuntores, mais uma vez é necessário definir a curva do disjuntor.

Condição de aquecimento	condição de sobrecarga					Queda de tensão			Condição de CC				
$I_b < I_z$	Proteção	I_n	$I_n < I_{sc}$	I_2	$I_2 < 1,45 I_n$	$\frac{I_{sc}}{I_n}$	$u(\%)$	$\sum u(\%)$	I_{ccmin} kA	t_{ft}	se disjuntor Curva	T_a	$T_a < T_{ft}$ $T_a < 5s$
Verifica	Disjuntores	10	ok	13,5	ok	1	0,096%	4,55%	0,378	0,8941	Curva B	0,01	Verifica
Verifica	Disjuntores	10	ok	13,5	ok	1	0,254%	4,71%	0,209	2,9164	Curva B	0,01	Verifica
Verifica	Disjuntores	10	ok	13,5	ok	1	1,261%	5,72%	0,131	19,036	Curva B	0,01	Verifica

Figura 4.14: Avaliação das condições de aquecimento, sobrecarga, quedas de tensão e curto circuito

4.7 Conclusão

No capítulo 4 foi descrita uma ferramenta que permite otimizar o desenvolvimento de um projeto elétrico de uma instalação de serviço particular em baixa tensão.

A ferramenta vai permitir ao projetista fazer todos os cálculos, possuindo várias vantagens:

- Bases de dados com informações de equipamentos, regras ou indicações. O utilizador poderá ir atualizando estes dados conforme a necessidade (exemplo: cabos de energia). Noutros casos, o utilizador poderá consultar alguma informação, como: fatores de simultaneidade, fatores correção, informação sobre aparelhos de proteção, entre outros dados importantes.

- Cálculos de forma mais rápida e mais assertivos. Além dos cálculos, a ferramenta conforme o utilizador vai inserindo os dados, vai atualizando determinada informação que está dependente da anterior, poupando ao utilizador tempo com consulta de tabelas/informação (exemplo: ao escolher o cabo de alimentação a ferramenta irá atualizar os dados de corrente de serviço e corrente máxima no cabo).

- Alertas com informação que os dados podem não estar corretos ou que as condições não são verificáveis e como deve proceder. Estes alertas permitem ao utilizador verificar determinados erros que com o cálculo manual poderiam passar despercebidos.

Capítulo 5

Unidade de Produção para Autoconsumo, Dimensionamento e Otimização

A Unidade de Produção para Autoconsumo (UPAC) é “uma ou mais unidades de produção para autoconsumo, que tem como fonte primária a energia renovável associada a uma ou várias IU, destinada primordialmente à satisfação de necessidades próprias de abastecimento de energia elétrica”. [24]

Neste capítulo será descrito um projeto de uma UPAC que utiliza como energia renovável a energia solar, conhecida como energia fotovoltaica. A unidade de produção será ligada à rede elétrica de serviço público (rede on-grid), o que permite consumir energia da rede quando necessário e inserir na rede os excedentes de produção. Serão criadas: i) uma ferramenta de apoio de otimização que utiliza como base o solver, e ii) uma ferramenta para o dimensionamento da canalização que interliga os equipamentos afetos ao sistema fotovoltaico.

A utilização de UPAC, com recurso à energia solar, tem imensas vantagens não só a nível monetário, como permitirá a diminuição da pegada carbónica produzida pela indústria [68].

5.1 Funcionamento dos sistemas fotovoltaicos

Nos sistemas Fotovoltaicos (FV), a conversão da energia solar em energia elétrica, é realizada através de um processo denominado efeito fotovoltaico, sendo utilizadas células fotovoltaicas para esse efeito.

As células FV são constituídas por duas ou mais camadas de material semicondutor, que geralmente usam o silício¹ como elemento principal[69]. Para que este processo possa ocorrer é necessário criar uma diferença de potencial entre as camadas (Figura 5.1), através da formação de cargas positivas e negativas. Para isso, é utilizado um método chamado "dopagem": o silício é dopado com outros elementos criando uma camada com carga negativa (normalmente usado o elemento fósforo) e uma camada com carga positiva (utilizado o elemento boro).[70]

Quando os raios solares atingem as células, é criado um campo elétrico entre as camadas de semicondutor, resultando num fluxo de eletrões, que dá origem à corrente elétrica. Quanto maior a intensidade da radiação, maior vai ser o fluxo de eletrões criado, ou seja, maior será a corrente elétrica.

¹O silício é elemento químico. É um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre com 28 % de ocupação. O silício é usado em cerca de 90 % dos painéis em mercado.

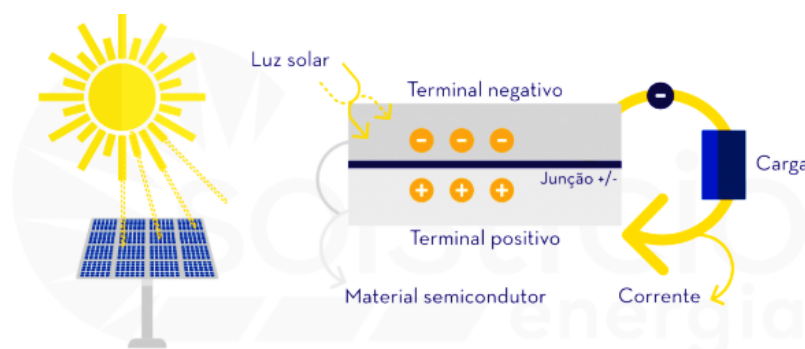


Figura 5.1: Representação do processo fotovoltaico, imagem retirada de [https://www. solsticioenergia.com/2017/08/17/como-fun ciona-celula-fotovoltaica/](https://www.solsticioenergia.com/2017/08/17/como-funciona-celula-fotovoltaica/)

Como a produção de uma única célula apresenta uma potência reduzida, para aumentar a potência do sistema são usados conjuntos de células ligadas entre si, formando um módulo fotovoltaico.

Os módulos FV vão transformar a energia solar em energia elétrica de corrente contínua através das várias células. Os sistemas fotovoltaicos são constituídos por inversores, que permitem que a corrente contínua (DC) seja convertida em corrente alternada (AC), utilizada pela larga maioria nos equipamentos de consumo.

Os sistemas FV, constituídos por arranjos de módulos, podem ser integrados em sistemas on-grid ou em sistemas autónomos (off-grid), que utilizam baterias e reguladores que permitem controlar os processos de alimentação de energia.

Tecnologias - Células fotovoltaicas

Como se pode constatar, a célula é o elemento que tem a capacidade de produzir energia elétrica a partir da energia solar. O material comumente mais utilizado é o silício, podendo variar a forma como este é produzido.

No mercado atual, existem três tipos de gerações de células fotovoltaicas, que variam consoante o tipo de material, modo de construção e mesmo a sua eficiência [71]:

- **1ª geração:** Na 1ª geração as células são constituídas por silício monocristalino e policristalino, podendo apresentar rendimentos entre 11 % a 23%. As células monocristalinas são células com um custo mais elevado, face aos métodos de fabrico mais complexos e da maior quantidade de energia no processo, uma vez que se utiliza materiais com um maior grau de pureza. Contudo, estas células apresentam uma eficiência superior, com rendimentos de 16 a 23 %. As células policristalinas apresentam um rendimento inferior (11 a 18%) facto de utilizar matérias com um menor grau de pureza. Por outro lado, o custo de produção é também inferior.

- **2ª geração:** A 2ª geração é constituída por silício amorfo. Em relação às células de 1ª geração apresentam um custo e uma eficiência inferior (8% a 13%). Além da fraca eficiência, esta também tem uma degradação mais rápida. Contudo, novos métodos têm vindo a ser testados, tentando aumentar a eficiência, com um custo de produção mais baixo (com uso por exemplo de telureto de cádmio).

- **3ª geração:** Esta geração apresenta-se como a mais promissora e que nos últimos anos teve maior alvo de estudo. A sua constituição forma-se a partir de compostos orgânicos, polímeros e moléculas que usam o hidrogénio e carbono como constituintes. O grande estudo nesta geração parte do facto do baixíssimo custo de produção. Estas células são muito finas e flexíveis, podendo

ser produzidas em grande escala de forma rápida e simples. [72] Hoje, começa a surgir uma 4ª geração de células fotovoltaicas baseadas a partir de materiais híbridos "inorgânicos em orgânicos", que conseguem oferecer uma eficiência de conversão de energia maior que as de 3ª geração, mantendo as características de baixo custo e flexibilidade.[73]

Num projeto, a escolha do tipo geração e do tipo de material utilizado irá variar consoante diferentes variáveis. O tipo de instalação, se existe muito ou pouco espaço, as condições meteorológicas no local, o investimento que se pretende realizar poderá ser decisivo na escolha do painel. Atualmente, a 1ª geração é a mais utilizada por ser uma tecnologia mais madura e eficiente a nível de mercado.

5.2 Projeto de uma unidade fotovoltaica: segundo o Decreto-Lei nº 162/2019

Neste capítulo são avaliadas as etapas a executar num projeto fotovoltaico por demonstração de um projeto realizado para a IU de logística. No projeto são construídas duas ferramentas de apoio e foi utilizada a ferramenta Helioscope² como apoio ao cálculo da produção dos painéis no local de estudo.

5.2.1 Otimização da produção de um sistema fotovoltaico

Nesta fase será avaliado um método para otimizar a produção num projeto fotovoltaico. Será utilizada uma ferramenta que vai indicar consoante determinadas condições o número ideal de painéis e depois irá avaliar financeiramente o sistema projetado.

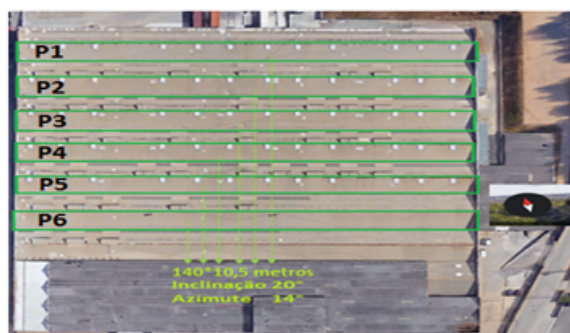
Descrição do local de instalação fotovoltaica

A primeira etapa numa projeto fotovoltaico (FV) passa por avaliar o local onde será instalada a unidade fotovoltaica. Através das plantas ou de visita ao local devem ser considerados os espaços possíveis de instalação e excluídas as zonas com objetos que possam afetar o funcionamento dos painéis, como por exemplo: locais afetados por sombras. Além das sombras, quando a instalação é feita na cobertura dos edifícios, é muito importante uma avaliação física para verificar a viabilidade de instalação. Com esta avaliação pretende-se fazer uma estimativa da área útil de instalação.

No projeto, a instalação do FV será realizada na parte superior da instalação industrial de logística, nas zonas assinaladas a verde na Figura 5.2. Todas as outras zonas foram descartadas devido a possíveis sombras durante grande parte do dia ou devido à incapacidade das estruturas dos tetos de aguentar com o peso dos painéis.

São assim 6 espaços possíveis para a instalação de painéis. Ainda assim, verificou-se que nestes locais devido a muros colocados nas laterais, existe sombra em certas partes do dia, pelo que se utilizou apenas as zonas mais centrais, totalizando uma área de cerca de aproximadamente 2000 m² úteis.

²O Helioscope, tal como o PVsyst (mais utilizado na área fotovoltaica), PVgis ou SketchUp (com o plugin Skelion) são ferramentas que permitem calcular a produção fotovoltaica utilizando valores de irradiância solar nos locais de estudo de acordo com valores obtidos pelas Estações Meteorológicas mais próximas.



Espaço	Área total (m ²)	Área útil (m ²)	Nr total de painéis/área
P1	140*10,5=1470	70*4,5=315	94
P2	1470	315	94
P3	1470	315	94
P4	1470	315	94
P5	1470	315	94
P6	1470	315	94

Figura 5.2: Local onde será realizado o projeto fotovoltaico. Locais assinalados a verde são as zonas onde podem ser instalados os painéis. Imagem retirada do Google Earth. Lado direito: verificação das áreas disponíveis para instalação de painéis, bem como o número máximo de painéis

Orientação e inclinação ótima dos painéis

Em Portugal, a trajetória do sol é realizada de Este para Oeste, sendo feita com o sol a movimentar-se pela parte mais a Sul (Figura 5.3, lado esquerdo)[74]. Assim sendo, uma boa otimização dos painéis fixos, passa por colocá-los orientados a sul, conseguindo captar uma boa quantidade dos raios solares que chegam à terra.

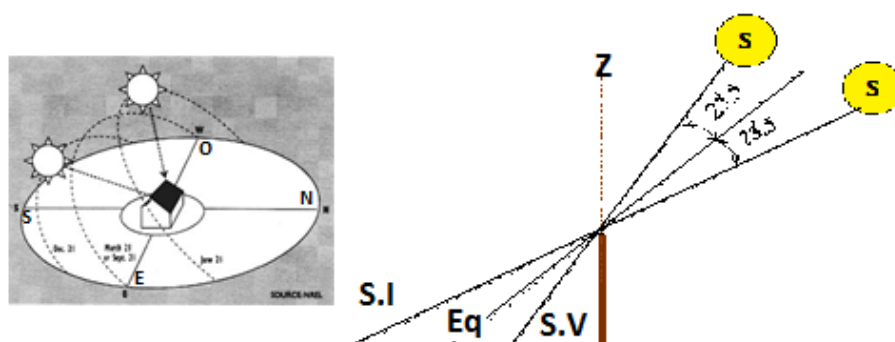


Figura 5.3: Lado esquerdo: trajetória do sol em Portugal. Lado direito: Posição do sol nas épocas de verão e inverno. SI solstício de inverno e SV solstício de verão. Imagens obtidas a partir do documento "Movimento Anual do Sol e as Estações do Ano"

Quanto à inclinação que os painéis devem apresentar é usual utilizar uma fórmula que é dependente da latitude³ a que são instalados, e de como e quando se pretende ter um melhor aproveitamento da energia solar.⁴

• Sistemas ligados à rede: -10 graus que a latitude no local. Maior aproveitamento da produção no verão, quando existe maior radiação. (Figura 5.3 do lado direito, vemos que o sol no verão está mais alto)

³Latitude e longitude, ou coordenadas geográficas, são descrições da localização de um determinado lugar na Terra. Latitude é o ângulo entre o plano do equador à superfície de referência. A latitude mede-se para norte e para sul do equador, entre 90° sul, no Pólo Sul e 90° norte, no Pólo Norte.

⁴Informação obtida a partir do site da FEUP: C.Monteiro. Energia solar e fotovoltaica - Irradiação solar

- Sistemas isolados da rede: + 20 graus que latitude no local. Melhor aproveitamento da produção no inverno, devido à maior horizontalidade dos raios solares.

Em Portugal continental o valor ótimo de inclinação é aproximadamente 35°. [75]

Recorrendo à utilização do software online PVGIS⁵, é possível realizar um estudo para verificar o ótimo da inclinação e azimute⁶ dos painéis no local em estudo. Veja-se o exemplo do projeto para uma latitude de: 41,062° e para uma potência instalada de 150 kW (neste ponto apenas interessará definir a inclinação e o azimute, a potência é apenas uma constante).

Na Tabela 5.1, está o estudo para algumas inclinações e direções que se consideraram mais importantes. Por exemplo os pontos de funcionamento considerados como ótimos, mas também com as inclinações e direções do local em estudo.

Tabela 5.1: Estudo na ferramenta PVGIS para encontrar a melhor inclinação e azimute

Inclinação (°)	Azimute (°)	Produção (kWh)
20 (inclinação do telhado)	14 (direção do telhado)	218948,9
20 (inclinação do telhado)	0 (orientado a sul)	219063,2
35 (inclinação ótima)	0 (orientado a sul)	226087,2
35 (inclinação ótima)	14 (direção do telhado)	225816,3
31 (inclinação ótima -Sistemas ligados à rede)	14 (direção do telhado)	225134,6

Na tabela verificou-se que apesar de produções semelhantes, existe alguma diferença com o uso do valores ótimos. No projeto realizado optou-se por colocar os painéis com uma inclinação de 35 °, mas manter a direção dos telhados, azimute de 14°. A diferença de produção não se mostra significativa, o que permite optar-se pela facilidade de instalação e estética do edifício.

Caraterísticas do Painéis Fotovoltaicos

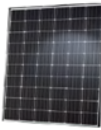
O painel é um dos componentes principais de uma unidade fotovoltaica, sendo o equipamento que possui as células fotovoltaicas para a produção de energia elétrica. No projeto fotovoltaico foi utilizado o painel da marca Hanwha, modelo Q. PEAK-G4.1.

Na Figura 5.4, estão representadas algumas caraterísticas físicas. É importante num projeto ter em atenção às caraterísticas físicas do painel para ter noção das áreas que estes ocupam e saber se as estruturas do telhado resistem ao peso do sistema fotovoltaico.

Podem ser observadas outras caraterísticas importantes como o cabo que interliga os vários painéis, o tipo de células que são utilizadas na composição do painel, bem como o grau de proteção do painel.

⁵A ferramenta PVGIS permite fazer uma avaliação da produção dos painéis em determinado local do planeta. Apesar de não ser a ferramenta mais capacitada para o efeito, permite fazer uma boa avaliação inicial, como um estudo da melhor orientação dos painéis (maior facilidade, por ser online). A ferramenta tem uma funcionalidade que para o local escolhido mostra a inclinação e azimute ideais.

⁶Azimute é uma medida de abertura angular do sistema de coordenadas horizontal. Representará a direção dos painéis em relação ao sul.



Format	1670mm × 1000mm × 32mm (including frame)
Weight	18.8kg
Front Cover	3.2mm thermally pre-stressed glass with anti-reflection technology
Back Cover	Composite film
Frame	Black anodised aluminium
Cell	6 × 10 monocrystalline Q. ANTUM solar cells
Junction box	66-77 mm × 115-90mm × 15-19mm Protection class IP67, with bypass diodes
Cable	4 mm ² Solar cable; (+) 1000 mm, (-) 1000 mm
Connector	Multi-Contact MC4 or MC4 intermateable, IP68

Figura 5.4: Características físicas apresentada pelo painel. Imagem do Datasheet do painel: Hanwha, Q. PEAK-G4.1

Na Tabela 5.2 são apresentadas as características elétricas para diferentes condições de testes. As características elétricas são essenciais no dimensionamento de produção de energia, como no dimensionamento das canalizações elétricas.

A eficiência do painel é um aspeto muito importante: em projetos que se pretende apresentar um valor de investimento competitivo e bons resultados, deve-se ser feito um estudo para escolher painéis com uma boa relação eficiência/preço.

Tabela 5.2: Características elétricas do painel nas condições STC e NOCT. Dados do Datasheet do painel: Hanwha, Q. PEAK-G4.1

Características do módulo	Hanwha Q. PEAK-G4.1 300		
	STC	NOCT	Un.
Potência máxima (P_{máx})	300	222	W
Tensão circuito aberto (V_{oc})	39,76	37,19	V
Corrente de CC (I_{sc})	9,77	7,88	A
Tensão na P_{máx} (V_{pmax})	32,41	30,52	V
Corrente na P_{máx} (I_{pmax})	9,25	7,27	A
Eficiência do módulo	18	18	%
Tensão máxima	1000V DC	1000 DC	V
Dimensões do painel	1,67 * 1	1,67 * 1	m

Outras informações em relação ao painel são apresentadas na Figura 5.5. No lado esquerdo da Figura 5.5, é representado o decréscimo da eficiência ao longo dos anos, que será essencial para avaliar o investimento de instalação de uma unidade fotovoltaica. Os painéis têm um tempo de vida útil que ronda os 25 anos, perdendo alguma da sua eficiência com o decorrer dos anos.

No lado direito (Figura 5.5), está representado o crescimento da eficiência dos painéis conforme existe aumento da irradiância que os atinge.

⁶NOCT: Temperatura nominal da célula operacional: Irradiância de 800 W/m e temperatura das células de 45 °C
STC: Condições de teste standard. Irradiância de 1000 W/m e temperatura das células de 25 °C

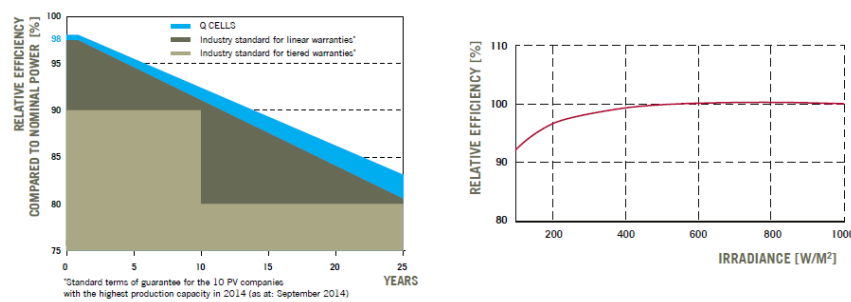


Figura 5.5: A eficiência do painel é de 98% no final do primeiro ano com um decréscimo de 0,6% (lado esquerdo) (Abcissa em anos e ordenadas eficiência em %). Lado direito: Eficiência (%) aumentando com o aumento da irradiância. Imagens do Datasheet do painel: Hanwha, Q. PEAK-G4.1

Um bom dimensionamento, deverá colocar os sistemas a funcionar à eficiência máxima dos equipamentos, de maneira a retirar o máximo partido dos mesmos. Na Figura 5.6, podemos observar o ponto de funcionamento máximo de um painel (potência máxima obtida para os pontos $V_{m\acute{a}x}$ e $I_{m\acute{a}x}$ da Tabela 5.2). A eficiência dos painéis também pode ser avaliada pelo seu Fator de Forma (FF) obtido pela equação presente na Figura 5.6.

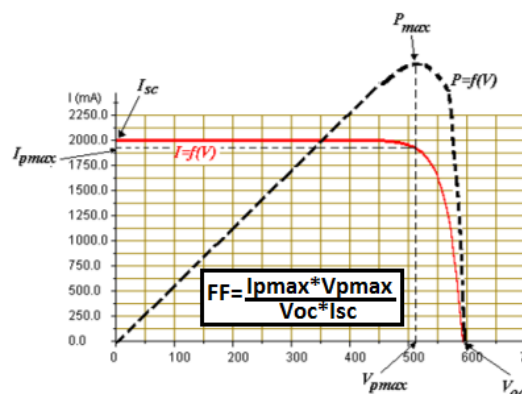


Figura 5.6: Curva caraterística elétrica com o ponto de funcionamento máximo do painel. Energia Solar e Fotovoltaica - A célula FV,C.Monteiro

Efeito da temperatura nas células fotovoltaicas

O aumento da temperatura ambiente é prejudicial ao funcionamento as células fotovoltaicas, provocando o aumento da temperatura interna e diminuição da eficiência. [76, 77]

- O aumento da temperatura da célula provoca a diminuição da tensão, implicando um aumento ligeiro da corrente.
- O aumento da temperatura é mais significativo na diminuição da tensão, do que no aumento da corrente, provocando um abaixamento da potência produzida.

O aumento da tensão variar de acordo com a fórmula 5.1:

$$V_{OC}(T_C) = V_{OC}(25^\circ\text{C}) - \beta(T_C - 25^\circ\text{C}) \quad (5.1)$$

β (V/°C), Coeficiente obtido nas características do painel também pode aparecer em %/°C

V_{OC} (V) Tensão de circuito aberto

T_C (°C) Temperatura da célula⁷

A corrente vai variar segundo a fórmula 5.2:

$$I_{SC}(T_C) = I_{SC}(25^\circ\text{C}) + \alpha(T_C - 25^\circ\text{C}) \quad (5.2)$$

α (A/°C) Coeficiente obtido nas características do painel, também pode aparecer em %/°C

I_{SC} (A) corrente de Curto circuito

Sombreamento dos painéis

O efeito de sombreamento deve ser sujeito a um estudo pormenorizado nos projetos de unidades FV. Como já referenciado, num projeto deve evitar-se colocar painéis em locais onde existe sombra, muito devido à não produção de energia, como podendo por em causa o sistema.

- Sombreamento de módulos em série faz com que haja um decréscimo da tensão do sistema
- Sombreamento de módulos em paralelo faz com que haja um decréscimo da corrente do sistema

Nestes casos, as células que estão sombreadas passam a comportar-se como cargas, influenciando negativamente o sistema e podendo mesmo danificar-se. Para que os painéis não sofram avarias, são instalados díodos de passo, que apresentam uma resistência de valor inferior à do painel, fazendo que quando um painel sofra sombreamento e se comporte como uma carga, a corrente passe pela resistência do díodo, não danificando o painel. Nas características do painel utilizado, figura 5.4, pode-se ver que este possui uma proteção através de díodos de passo.

Outra forma de evitar sombreamentos é definir espaçamento entre painéis, garantindo que estes não se afetem mutuamente.⁸ A fórmula 5.3⁹ representa o espaço que deve ser previsto entre painéis.

$$d = \frac{b * \sin(180 - B - y)}{\sin(y)} \quad (5.3)$$

d (m) espaçamento entre painéis

b (m) largura do painel

B (°) inclinação do painel

y (°) valor mínimo de altura solar que estamos dispostos a tolerar no sombreamento

⁷ A temperatura da célula pode ser obtida por $T_c(^{\circ}\text{C}) = T_{\text{ambiente}}(^{\circ}\text{C}) * \frac{G_{\text{NOCT}}(\text{W}/\text{m}^2)}{G_{\text{STC}}(\text{W}/\text{m}^2)} * (T_{\text{NOCT}}(^{\circ}\text{C}) - T_{\text{STC}}(^{\circ}\text{C}))$, G é a irradiância solar

⁸ Informação obtida a partir do site da FEUP: C.Monteiro. Energia solar e fotovoltaica - Dimensionamento de sistemas FV

⁹ Variáveis na figura A.12 dos anexos referentes ao capítulo 5.

Pode utilizar-se a simplificação da fórmula (5.3), para:

- Minimizar as perdas por sombreamento: $d=3,5 \cdot \text{altura do painel (h)}$
- Otimizar a área a utilizar: $d=2,25 \cdot \text{largura do painel (b)}$

Caraterísticas do Inversores

O inversor é outro equipamento muito importante numa unidade de produção fotovoltaica, tendo a função de transformar a energia produzida em DC em energia AC, usada pela grande maioria dos equipamentos. As strings¹⁰ de painéis são ligados às entradas dos MPPT¹¹ dos inversores onde podem ser colocadas em paralelo¹². A junção de módulos em série e paralelo serve para colocar os sistemas a funcionar perto da sua eficiência máxima, conseguindo conjugar os valores de corrente e tensão que produzem. O inversor utilizado é da marca SMA o modelo Sunny Tripower de 25 kW.

Do gráfico, Figura 5.7 lado direito, são obtidas algumas informações relevantes para o projeto. Em primeiro, o valor de tensão no qual o inversor trabalha na eficiência máxima, no caso apresentado para uma tensão de 600 V. Ao mesmo tempo, não poderá projetar-se um inversor a funcionar fora dos limites de tensões (mínimo de 390 V e máximo de 800V), não convertendo energia fora desses limites.

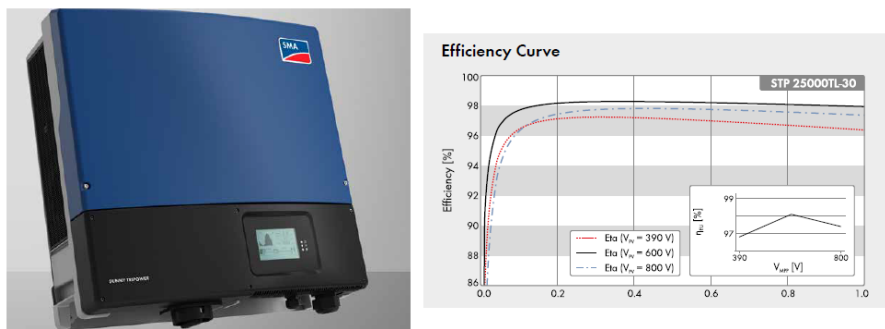


Figura 5.7: Inversor Sunny Tripower. Do lado direito está representada a curva de eficiência do painel em relação à potência a que está a funcionar. No canto inferior direito temos as tensões mínima, máxima e ótima. Imagem do Datasheet do inversor: SMA, Sunny Tripower 25kW

Em segundo, verifica-se que o inversor trabalha mais eficientemente quando se encontra a funcionar perto da sua potência nominal. Desta forma, é necessário dimensionar os aparelhos para atuar sempre pertos das condições onde o seu funcionamento é mais eficiente. Os inversores, permitem trabalhar até 120% da sua potência nominal.

Na Tabela 5.3, estão representadas algumas das caraterísticas elétricas do inversor.

¹⁰Conjunto de painéis em série o que permite uma corrente sempre igual, mas tensões mais elevadas.

¹¹MPPT (Maximum Power Point Tracking). Tal como indica o nome, tem a função de encontrar o ponto ótimo de funcionamento consoante os valores de corrente e tensão que lhe chegam na entrada.

¹²Colocação de strings ou painéis em paralelo permite aumentar a corrente do sistema

Tabela 5.3: Caraterísticas elétricas do Inversor. Dados do Datasheet do inversor: SMA, Sunny Tripower 25kW

Inversor Sunny Tripower	Caraterísticas principais
P_{máx.} DC	25000 W
Tensão MPP / Tensão nominal	390 a 800/ 600 V
Corrente máxima no MPPT	33 A
Número de MPPT/ strings por MPPT	2 / A:3 e B:3

Das caraterísticas apresentadas, deve ter-se em atenção a que a corrente do MPPT não seja ultrapassada com o prejuízo de este se danificar. Contudo, neste caso, verifica-se que o inversor contém 3 entradas para strings em cada MPPT, e sendo a corrente máxima do painel 9,25 A, mesmo colocando 3 strings em paralelo, nunca irá ser ultrapassado o valor de 33 A. Para uma maior garantia de proteção, podem ser utilizados fusíveis de proteção.

Num projeto considerar vários inversores de potências mais pequenos pode tornar-se mais vantajoso face aos inversores serem o componente que mais avaria. Os pequenos inversores permitem encontrar alternativas de substituição e reconfiguração com mais facilidade, com a desvantagem de um maior investimento inicial.

Otimização e ferramenta para o dimensionamento fotovoltaico

Um projeto de uma UPAC deve ter como objetivo a produção para o autoconsumo na própria instalação (ou instalações, no caso do autoconsumo coletivo ou das comunidades de energia renovável (CER)) devido ao preço relativamente baixo a que é vendida a energia injetada na rede¹³.

No entanto, existem vários tipos de otimização que um projetista pode ter em conta na hora de realizar um projeto numa instalação¹⁴, tais como¹⁵:

- Baseado nas áreas de cobertura da instalação ou nas áreas disponíveis para fazer instalação dos sistemas fotovoltaicos;
- Baseado na potência total do sistema a instalar;
- Baseado em energia necessária para o consumo;
- Minimizar o tempo de retorno do investimento;
- Conjugação dos fatores anteriores

A otimização de um projeto fotovoltaico que se vai apresentar foi realizada para uma Instalação de Logística onde os pavilhões têm um funcionamento apenas durante a semana, com um horário das 7h às 19h30. Ao fim de semana e os excedentes de energia serão vendidos a uma empresa “parceira” que se encontra nas imediações da instalação. Será realizado um contrato segundo o Decreto Lei nº 162/2019. O contrato vai permitir que a energia vendida tenha um valor relativamente mais elevado do que se fosse diretamente injetado na RESP. Ao mesmo tempo a

¹³ Apesar de com o Decreto Lei nº 162/2019, atualmente a energia pode ser injetada em outras instalações com contratos de autoconsumo coletivo ou CER.

¹⁴ Esta decisão pode partir do próprio projetista (empresa de projetos fotovoltaicos) ou devido às especificações dadas pelo cliente

¹⁵ Informação obtida a partir do site da FEUP: C.Monteiro. Energia solar e fotovoltaica - Dimensionamento de sistemas FV

empresa que irá consumir esses excedentes, irá beneficiar, pagando um valor mais baixo do que o pago pelo consumo da rede.

A otimização do projeto segue as etapas do diagrama da Figura 5.8, onde as primeiras etapas são a definição dos locais de instalação e escolha das orientações e material, já visualizado nos subcapítulos anteriores.

Durante o projeto foi criada uma ferramenta em Excel para ajudar na otimização do projeto fotovoltaico, que será apresentada consoante o desenvolvimento do texto. A ferramenta tem duas funções específicas que se são utilizadas em fases diferentes. Na 1ª fase vai ser utilizado um método para obter o valor ótimo de painéis a instalar, sendo que na 2ª fase é utilizada para realizar o estudo financeiro para o caso ótimo.

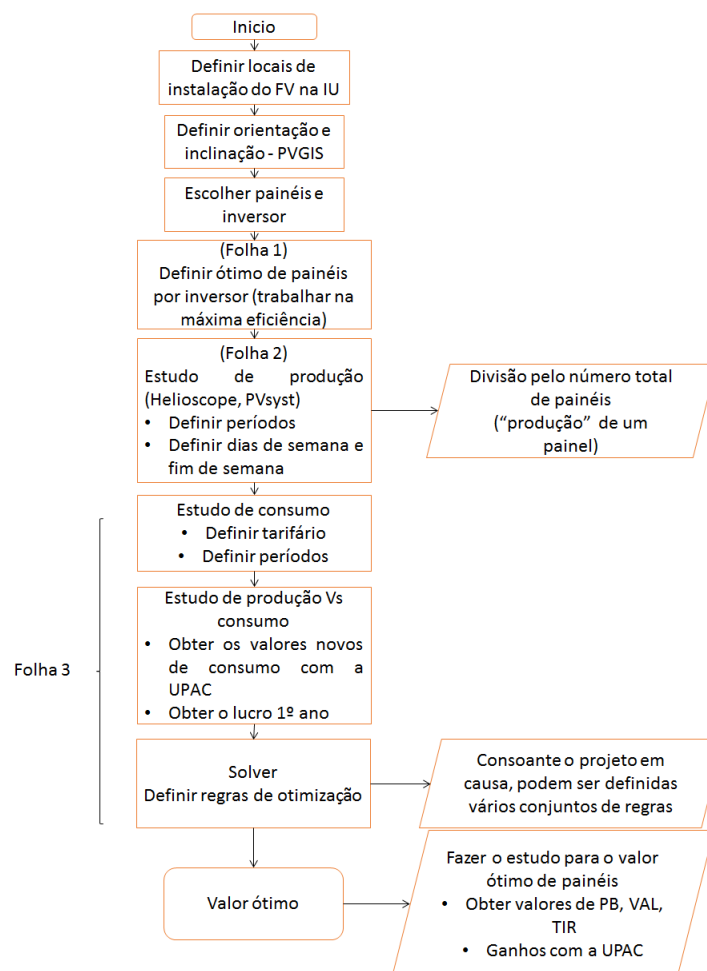


Figura 5.8: Funcionamento da folha de otimização no dimensionamento

Folha 1: Otimização de painéis por inversor

Na primeira folha, irá ser avaliado o número ótimo de painéis a instalar num inversor¹⁶. Segundo a matéria apresentada, os equipamentos devem funcionar em determinados pontos para garantir uma máxima eficiência. O inversor trabalha na sua eficiência máxima quando a tensão que chega de uma string ao MPPT é de 600 V, ou seja, o número de painéis a utilizar deve ser:

$$\text{Número de painéis para 600 V} = \frac{U(\text{ótimo})}{U(\text{painel})} = \frac{600V}{30,52V} = 19,65 \approx 18 \text{ a } 21 \text{ painéis} \quad (5.4)$$

O valor de $U(\text{painel})$ é obtido a partir dos dados do painel na tabela 5.2.

Sabendo que uma string deve ter em torno de 18 a 21 painéis para funcionar perto da tensão nominal, é feita uma avaliação do número de strings a instalar em paralelo de forma a que o inversor funcione perto da sua potência nominal (25 kW). Na Figura 5.9, está um excerto dos dados da folha 1, com as melhores soluções para o funcionamento dos painéis e inversor.

Nr. de painéis por string	Potência do painel (kW)	Potência por strings (kW)	Nr de strings	Potência no inversor (kW)	Tensão por strings (V)
19	0,3	19*0,3=5,7	4	5,7*4=22,8	30,52*19=580
20	0,3	6,0	4	24	610
21	0,3	6,3	4	25,2	641

Figura 5.9: Excerto da tabela para verificação dos valores ótimos

Pelo estudo realizado no subcapítulo dos painéis e inversores, a melhor opção seria a utilização de 4 strings (2 em cada MPPT) de 20 painéis. Assim, ter-se-ia uma tensão bem próxima dos 600 V e uma potência de aproximadamente 25 kW. É ainda possível verificar que nas três hipóteses o conjunto de painéis pode ser instalado em cada um dos espaços definidos na tabela da figura 5.2.

Folha 2: Estudo de produção de Energia Fotovoltaica

O estudo de produção de energia fotovoltaica (FV) foi dividida em duas etapas. Em primeiro, é realizado o projeto na ferramenta Helioscope para obtenção dos dados de produção de energia e, depois uma 2ª etapa onde são inseridos os dados de produção na ferramenta.

1ª etapa: construção do conjunto painéis e inversor no Helioscope e obter os dados de produção fotovoltaica

Definida a combinação ótima do número painéis por inversor, será realizado o estudo da produção de energia FV com recurso à ferramenta Helioscope. A ferramenta possui uma base de dados com várias marcas de equipamentos FV, que permite desenhar o circuito de painéis e inversores no local de estudo (através duma imagem de satélite), simulando as orientações dos painéis, inclinações, sombras, como permite desenhar os circuitos de cabos para simular as perdas do sistema.

¹⁶Na ferramenta devem ser colocadas as informações pedidas dos inversores e painéis. Ela depois apresenta este pequeno estudo para escolher o ótimo de painéis por string e colocar em paralelo. Deve ter em atenção ao número de entradas MPPT.

Desenhado todo o sistema FV a ferramenta vai simular, na localização escolhida, a produção dos painéis, no caso de estudo os 80 painéis (4 strings de 20 painéis) e 1 inversor. A ferramenta fornece uma panóplia de dados em Excel, como: informações pré-definidas, produção totais e produções hora a hora para um ano, bem como dados de irradiação e os dados em DC e AC.

Para o estudo que segue serão necessários os dados da potência produzida em corrente alternada (AC) pelo sistema, para fazer uma comparação entre os dados de consumo da instalação e os dados de produção fotovoltaica.

2ª etapa: Inserir dados na ferramenta de otimização. Produção total dividida pelo número de painéis para obter uma produção “média”¹⁷ de um painel

A produção total, hora a hora, obtida no Helioscope, será colocada no local pré-definido na ferramenta dividida pelo número total de painéis, isto para obter um valor aproximado de produção de um único painel.

Os dados obtidos têm de ser trabalhados de forma a poderem ser comparados com os dados de consumo. No caso de estudo apenas se conseguiu adquirir os dados de consumo mensal divididos pelos períodos horários para um ano.

A ferramenta tem colunas pré-definidas, para um ano, dos dias em períodos de Verão e Inverno e nos períodos de Cheia (CH), Super Vazio (SV), Vazio Normal (VN) e Ponta (PO). Existe ainda uma divisão para os dias de semana e fim de semana. Estas divisões poderão ser utilizadas para dividir os dados por categorias ou calcular o custo da energia. As colunas foram construídas segundo a figura A.17, anexos referentes ao capítulo 5.

Folha 3: Otimização de painéis e inversores / Cálculo financeiro do caso otimizado

Na folha 3 será resolvido um sistema para obter o valor ótimo de painéis. A mesma folha será utilizada para obter os valores técnico-financeiros com o sistema otimizado.

Estudo de consumos da instalação de utilização

No estudo dos consumos da instalação de utilização (IU), o ideal será fazer uma análise anual dos dados para os períodos mais curtos possíveis, por exemplo hora a hora. Desta forma, podem ser comparados os dados de produção e consumo hora a hora, que tornará o estudo mais confiável. Contudo, apenas se conseguiu obter os dados de consumo mensalmente¹⁸ nos quatro períodos de consumo em MT, em que os dados foram organizados na tabela da Figura 5.10.

¹⁷Esta não é valor exato, uma vez que a produção, depende da ligação dos painéis e dos inversores, mas dá uma aproximação da produção de um painel para um caso ótimo de exploração do painel e do inversor escolhido.

¹⁸A ferramenta idealizada está preparada para fazer o estudo financeiro com a divisão de dados de consumo mensal

Estudo dos consumos						
2019						
	SV cons(h/w)	VN cons(h/w)	PO cons(h/w)	CH cons(h/w)	Total cons(h/w)	pago (€)
jan	2386,67	4826,87	3413,08	20334,22	36360,84	5 481,00
fev	2111,47	4226,35	7403,18	15357,73	29101,33	4 326,24
mar	2266,59	4342,78	6483,78	12631,62	25784,76	3 888,44
abr	2324,63	4561,63	2347,64	16636,67	25330,57	3 831,63
mai	2026	4344	2388	16313	25677	3 846,00
jun	2180,52	5054	2053	13436,18	22783,7	3 214,57
jul	2648,85	5330,01	2775,13	18354,33	29168,33	4 315,66
ago	2236,56	3635,58	2161,26	11067,38	19161,38	2 810,37
set	2163,51	4627,38	2362,4	16506,03	25659,32	3 856,78
out	2217,55	4262,73	3085,16	17272,57	26838,01	4 007,37
nov	2130,43	4553,12	7841,28	16139	30663,83	4 773,12
dez	1334,33	4243,14	5840,54	12581,36	24666,03	3 703,46
EnergiaTotal consumido (anual)					322,40	MWh
Total pago (anual)					47487,24	€
custo por kWh					0,147	€/kWh

Tarifário		
SV (energia+rede)	0,0643	€/kWh
VN (energia+rede)	0,0654	€/kWh
PO (energia+rede)	0,1133	€/kWh
CH (energia+rede)	0,1002	€/kWh
Potência Contratada	293,2848	€/mês
Outros	250	€/mês
Média	0,147	€/kWh

Figura 5.10: Estudo de consumos mensal para os 4 períodos

A partir dos consumos por períodos e através do tarifário da IU (figura 5.10, lado direito) a ferramenta calcula o valor do consumo em cada mês.

Estudo de produção pós instalação da unidade fotovoltaica

Na folha 2, como se observou, na ferramenta estão criadas colunas que identificam a que períodos os dados de produção são referentes.

Nesta secção da folha 3 esses dados vão servir para organizar os dados por meses, pelos vários períodos e com a opção de escolher se pretendemos separar os dados do fim de semana (no projeto foi necessário, visto que os armazéns não estão em funcionamento, injetando quase toda a energia na RESP). Esta divisão, é realizada na Figura 5.11, na parte superior (Dados de produção semana e Dados de produção fim de semana).

Em seguida, na tabela do "Consumo atual", são comparados os dados de consumo da IU menos os dados de produção durante a semana, ou seja, é feita uma previsão do consumo pós-instalação da UPAC e verificado os custos à posteriori.

Exercício 2

Produção Período de funcionamento (kWh)

SV VN PO CH

Dados de produção
semana (kWh)

sv	2386,67	4826,87	3413,08	20334,22
vn	2111,47	4226,35	7403,18	15357,73
po	2266,59	4342,78	6483,78	12631,62
ch	2324,63	4561,63	2347,64	16636,67
sv	2026,00	4344,00	2388,00	16313,00
vn	2180,52	5054,00	2053,00	13436,18
po	2648,85	5330,01	2775,13	18354,33
ch	2236,56	3635,58	2161,26	11067,38
sv	2163,51	4627,38	2362,40	16506,03
vn	2217,55	4262,73	3085,16	17272,57
po	2130,43	4553,12	7841,28	16139,00
ch	1334,33	4243,14	5840,54	12581,36
anual	23224,00	42224,00	23224,00	134361,80

Consumo - Produção no período de funcionamento (kWh)

sv	2386,67	4826,87	3413,08	20334,22
vn	2111,47	4226,35	7403,18	15357,73
po	2266,59	4342,78	6483,78	12631,62
ch	2324,63	4561,63	2347,64	16636,67
sv	2026,00	4344,00	2388,00	16313,00
vn	2180,52	5054,00	2053,00	13436,18
po	2648,85	5330,01	2775,13	18354,33
ch	2236,56	3635,58	2161,26	11067,38
sv	2163,51	4627,38	2362,40	16506,03
vn	2217,55	4262,73	3085,16	17272,57
po	2130,43	4553,12	7841,28	16139,00
ch	1334,33	4243,14	5840,54	12581,36
anual	23224,00	42224,00	23224,00	134361,80

Consumo
atual (kWh)

Nota: os valores negativos são apóios na rede, logo:
Energia injetada na rede, em período de funcionamento:

Custo mensal médio de energia (€/kWh)

0,09541

Custo
atual (€)

1,2

Atual
(€/iva)

1,44

2

c/iva)

2,88

2,88

2,88

2,88

2,88

2,88

2,88

Produção Período de f.d.s (kWh)

SV VN PO CH

Dados de produção
f.d.s (kWh)

sv	2386,67	4826,87	3413,08	20334,22
vn	2111,47	4226,35	7403,18	15357,73
po	2266,59	4342,78	6483,78	12631,62
ch	2324,63	4561,63	2347,64	16636,67
sv	2026,00	4344,00	2388,00	16313,00
vn	2180,52	5054,00	2053,00	13436,18
po	2648,85	5330,01	2775,13	18354,33
ch	2236,56	3635,58	2161,26	11067,38
sv	2163,51	4627,38	2362,40	16506,03
vn	2217,55	4262,73	3085,16	17272,57
po	2130,43	4553,12	7841,28	16139,00
ch	1334,33	4243,14	5840,54	12581,36
anual	23224,00	42224,00	23224,00	134361,80

Energia total produzida - pordao	232,24	MWh
Energia total consumida da UPAC	154,29	MWh
Energia total injetada na RESP	77,95	MWh

Total a pagar com UPAC	23 300,21	€
Lucro 1º ano (€)	21 606,581	€

Custo total a pagar	23 300,21	€
Lucro 1º ano (€)	21 606,581	€

Total recebido à rede	2000,01	€
-----------------------	---------	---

- Energia produzida (MWh)
- Energia consumida (MWh)
- Energia injetada na rede (MWh)

Figura 5.11: Estudo de produção da UPAC e dos consumo pós instalação da UPAC

O lucro relativo ao 1º ano é obtido pela soma: dos ganhos com a energia não consumida da RESP¹⁹ mais a energia que é vendida à RESP²⁰. Porém, nos termos do novo Decreto Lei nº 162/2019[24], ao abrigo do Autoconsumo Coletivo, optou-se por criar um acordo com uma das

¹⁹ Será um lucro de aproximadamente 0,14 cent/kWh (Preço médio pago pela IU alimentada em MT)

²⁰ A venda do excesso de energia injetada na RESP, tem um preço de aproximadamente 0,0449 cent/kWh para instalações alimentadas em MT (2019)

empresas que funciona nas imediações do local de projeto. Facto de a empresa trabalhar 7 dias por semana, será realizado um acordo para a injeção do excesso de produção, em que a energia será vendida a um preço mais baixo do que preço médio pago no tarifário da instalação. Assim beneficiará a instalação em projeto que vai vender a um preço mais elevado e a empresa parceira que compra a um preço mais baixo

Avaliação do número ótimo de painéis /Avaliação financeira do projeto

A avaliação do número ótimo de painéis é feita com recurso a três variáveis financeiras que facultam informação sobre quanto tempo o projeto demora a retornar o investimento, e se este é ou não viável. Neste processo além da diminuição na conta da eletricidade e do custo do investimento, são consideradas algumas alterações ao longo dos anos como: a perda de eficiência do painel ao ano, a inflação da energia e custos anuais de operação e manutenção (Figura 5.12)²¹.

	504	504	6		
	Investimento			perda anual de eficiência do painel (%)	0,6%
		un	total	inflação da energia (%)	2,50%
Custo painéis		160,01	80 640,01	custo anual de reparação	1000,001
custo inversor		3 000,01	18 000,01	Taxa de remuneração	10%
custo total com margem			162 756,01		

Figura 5.12: Inserção dos dados de investimento e variáveis como perda de ineficiência ou inflação do custo

As variáveis financeiras[78] que vão permitir avaliar o projeto são:

Payback

O Payback (PB) corresponde ao período no qual os resultados líquidos acumulados da operação do empreendimento equivalem ao investimento. Ou seja, é o tempo decorrido entre o investimento inicial e o momento no qual o lucro líquido acumulado se iguala ao valor desse investimento. O PB é obtido a partir da fórmula 5.5:

$$PB = \frac{\text{Investimento}}{\text{média (lucro anual)}} \quad (5.5)$$

PB (anos) Payback

média (lucro anual) (e) É feita uma média do lucro dos 25 anos

Investimento (€) Investimento total no projeto fotovoltaico

Valor atual líquido

O Valor Atual Líquido (VAL) transporta todos os fluxos de caixa anuais para uma data presente. Na Figura 5.13, vemos numa barra de tempo os investimentos (negativo) e os lucros (positivo) ao longo dos anos. O VAL permite, consoante uma taxa mínima de atividade (TMA)²²

²¹Na ferramenta, haverá uma parte onde são definidos pelo utilizador os dados dos custos do painel, inversor e as outras variáveis.

²²A TMA é uma taxa proposta pelo cliente que indica a taxa mínima que um projeto deve ter para ser rentável para ele. No projeto foi considerada uma TMA de 10 %. Também pode ser chamada de Taxa de Remuneração, figura 5.12

, transportar todos os investimentos e lucros para o ano 0, para se poder comparar os valores de investimento e ganhos.

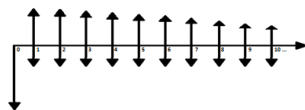


Figura 5.13: Exemplo de investimentos (negativo) e lucros (positivo) de um projeto ao longo dos anos..

O VAL é obtido a partir da fórmula 5.6:

$$VAL = \sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1 + TMA)^i} - \text{Investimento Inicial} \quad (5.6)$$

VAL (€) Valor atual líquido

i (anos) período de cada investimento

n período final do investimento

FC (€) fluxo de caixa ano i

TMA (%) Taxa mínima de atratividade

Taxa interna de retorno

Este método calcula uma taxa de juro equivalente à remuneração do capital obtida. Não é mais do que a taxa de rentabilidade que, no final dos n anos, iguala o VAL a zero.

$$\sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1 + TIR)^i} - \text{Investimento Inicial} = 0 \quad (5.7)$$

TIR (%) Taxa interna de retorno

Segundo estas variáveis, um projeto é ou não viável se:

Tabela 5.4: Viabilidade de um projeto segundo o TIR e VAL

TIR > TMA	VAL > 0	Investimento é viável
TIR < TMA	VAL < 0	Investimento não é viável

• Otimização do número ótimo de painéis

A ferramenta utiliza o Solver²³ do Excel, para encontrar uma solução ótima do número de painéis e inversores em função de determinados inputs. Como se constatou, pode existir várias

²³“O Solver é um suplemento do Excel que pode utilizar para realizar análise de hipóteses. Com o Solver, pode encontrar um valor otimizado (máximo ou mínimo) para uma fórmula numa célula, chamada de célula de objetivo, sujeita a restrições ou limites, nos valores de outras células de fórmula numa folha de cálculo.”

maneiras de otimizar um projeto fotovoltaico. No projeto desenvolvido pretendeu minimizar-se o Payback, garantindo um investimento viável, segundo a tabela 5.4. Ainda, pretendeu-se que o máximo de área útil fosse utilizada.

O Solver vai encontrar a melhor solução de painéis, multiplicando o número de painéis pela produção de um painel e de maneira a cumprir com as condições impostas, fazendo uma comparação entre a produção e os consumos.

Assim sendo, para a obtenção do número ótimo de equipamentos, formulou-se o seguinte sistema:

Minimizar:

Payback

Sujeito:²⁴:

Condição 1: Área utilizada $\leq$ Área total disponível

Condição 2: Área utilizada $\geq$ Área mínima considerada admissível (1200 m²)

Condição 3: VAL > 0 €

Condição 4: TIR > 10 %

Solução obtida:

504 painéis

• **Avaliação financeira da solução ótima**

A solução obtida com o solver foi de 504 painéis. No início foi verificado que a melhor solução seria utilizar 4 strings de 20 painéis, mas na figura 5.9, a utilização de 4 strings de 21 painéis poderia ser uma boa solução. Então foram testados dois sistemas, onde:

- 6 conjuntos (com 6 inversores) de 4 strings de 20 painéis = 480 painéis
- 6 conjuntos (com 6 inversores) de 4 strings de 21 painéis = 504 painéis²⁵

Foram projetados os dois sistemas no Helioscope, colocando-se os dados de produção na ferramenta de otimização (folha 2), sem dividir pelo total de painéis. As soluções obtidas para os dois sistemas foram:

Tabela 5.5: Resultados para os sistemas testados

Número de painéis	480	504
Potência instalada (kW)	144	151,2
Payback (anos)	6,54	6,52
TIR (%)	13,8	13,85
VAL (€)	58 139,0	56984,2

Nos dois casos obteve-se valores bastante semelhantes, sendo que para o segundo sistema testado, de 504 painéis, o Payback é mais curto.

²⁴As variáveis na ferramenta vão depender umas das outras, o que faz com que o aumento dos número de painéis vá aumentar o investimento, mas também vá aumentar a produção. Assim, o Solver vai tentar encontrar a melhor solução que respeite as restrições impostas.

²⁵Relatório do Helioscope da solução de 504 painéis nas figuras A.13, A.14, A.15 e A.16 dos anexos referente ao capítulo 5

Concluindo o estudo, a ferramenta fornece algumas informações importantes, para apresentar na proposta ao cliente.

Na Tabela 5.6, lado esquerdo, estão os dados da energia. Nesta tabela pode ser visto o valor total de energia produzida, a previsão da energia que irá ser consumida diretamente nas instalações e o excesso de produção que será injetado em outra empresa.

Na Tabela 5.6, direita, estão os dados relativos aos ganhos com a instalação da UPAC, com os valores pagos depois da instalação da UPAC e o lucro total do primeiro ano.

São disponibilizados alguns gráficos com os dados do consumo antes e depois da instalação da UPAC (Figura A.18, anexos do capítulo 5) e os dados da produção de energia ao fim de semana (Figura A.19, anexos do capítulo 5). Para o estudo final, são apresentados dados financeiros, que mostram a evolução ao longo dos anos do investimento e do retorno desse mesmo investimento (Figura A.20 e A.21, anexos do capítulo 5).

Tabela 5.6: Lado esquerdo: Energia produzida, Energia consumida na instalação e energia vendida à rede e do Lado direito: Custos antes e depois da UPAC e lucro 1º ano, com o Custo da energia vendida a custar 0,085 €/kWh

Energia total produzida	229,58 MWh	Total a pagar com UPAC(€)	27 196,30
Energia total consumida da UPAC	152,8 MWh	Total a pagar antes -Total pago depois da UPAC	20 291,00
Energia total injetada na RESP (semana+f.d.s)	76,79 MWh	Total vendido à rede(€)	6 526,73
		Lucro 1º ano (€)	26 817,71

5.2.2 Dimensionamento de canalizações e Ferramenta de dimensionamento

Definido todo o sistema de produção fotovoltaico (FV), a última parte do projeto é o dimensionamento das canalizações elétricas e sistemas de proteção dos equipamentos que transportam a energia desde as strings de painéis até ao quadro onde é ligada a UPAC.

O dimensionamento de uma instalação FV segue os mesmos princípios e fórmulas que foram observadas nos capítulos 2 e 3. Foi concebida uma ferramenta de dimensionamento, que partiu da ferramenta descrita no capítulo 4, com algumas alterações no que dizem respeito aos sistemas FV. O processo de dimensionamento é exatamente igual ao abordado no capítulo 4, com as exceções:

- “Boneco” que representa os armários e quadros

A primeira diferença encontra-se no “boneco” representativo de armários e quadros (Figura 5.14). No projeto fotovoltaico foram criados vários espaços para armários de distribuição e colocação dos inversores relativos aos painéis.

Uma vez que o quadro onde será ligada a UPAC, em instalações desta dimensão podem estar muito longe, seria inviável ligar os inversores diretamente ao quadro. Para isso, são considerados armários de distribuição onde ligam os inversores e de onde sairá um cabo de maior secção para o quadro. Nestes armários serão colocadas as proteções dos equipamentos. O sistema FV é constituído por 6 subsistemas, que são ligados 3 a 3 a um armário de energia, que depois levará um cabo até ao QGBT.

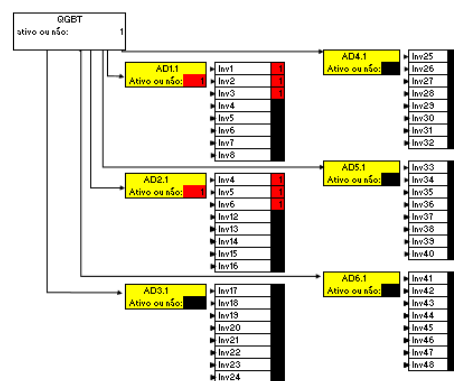


Figura 5.14: "Boneco" de inversores e armários de distribuição da rede de fotovoltaico

As folhas que vão derivar do boneco, conhecidas como “Rede de distribuição” e “Icc” no capítulo 4, no dimensionamento do fotovoltaico vão ser executada de forma exatamente igual.

- Dimensionamento dos painéis até ao inversor (Rede DC)

No dimensionamento DC, antes do inversor, como se verificou no subcapítulo onde são caracterizados os painéis, pode-se observar a influência da temperatura sobre as células fotovoltaicas. No dimensionamento considera-se uma situação extrema, com os painéis a funcionar a um tensão mais elevada (um aumento de temperatura, 50°C) e uma corrente mais elevada (temperaturas baixas (-5°C)). O utilizador deverá colocar os dados a cinza na Figura 5.15 relativos aos painéis.

Informação painel e inversor - Dados STC	
Maximum Power (Pmax)	300 W
Open Circuit Voltage (Voc)	39,76 V
Short Circuit Current (Isc)	9,77 A
Voltage at Maximum Power (Vmp)	32,41 V
Current at Maximum Power (Imp)	9,26 A
Module Efficiency (%)	18 %
Maximum Ratings	
Maximum System Voltage	1000V dc V
Tensão de funcionamento normal	600 V
Tensão de funcionamento normal	600
Noct	45 °C
β	-0,28 [V/°C]
α	0,04 [A/°C]
Tc(25°C)	50 °C
Tc(50°C)	75 °C
Tc(-5°C)	20 °C
Isc [A]_(25°C)	9,77 A
Isc [A]_(50°C)	10,77 A
Isc [A]_(-5°C)	8,57 A
Voc [V]_(25°C)	39,76
Voc [V]_(50°C)	32,76
Voc [V]_(-5°C)	48,16

Figura 5.15: Informação sobre painéis a colocar na ferramenta na folha DC

Como no capítulo 4, na folha “Rede BT interna”(nesta ferramenta denominada "Rede DC") é necessário inserir o nome na coluna de origem o local de onde é feita a alimentação, que neste caso, será o inversor que irá receber a string(Figura 5.16). Ao atualizar o valor do número de painéis e depois de completado os dados da Figura 5.15 (onde são inseridos os dados do painel) são atualizados os dados da tensão, corrente e potência. Em seguida o processo é o mesmo apresentado no capítulo 4, com a diferença na colocação da distância entre os painéis e o inversor. Como o

sistema é DC, é necessário informar as distâncias do polo positivo e negativo. Todas as etapas restantes de dimensionamento seguem os pressupostos do capítulo 4.

		informação da instalação									
Origem	Destina	Qt de paineis	U STC (V)	I _b (A)	P (kW)	cos 	Cabo	L		Modo de instalação	Iz
								+ m	- m		
Inv1	Str1	21	1264,2	12,386	15,7	1	XV 2"4	40,07	40,07	Ao ar	40
Inv1	Str2	21	1264,2	12,386	15,7	1	XV 2"4	40,07	40,07	Ao ar	40
Inv1	Str3	21	1264,2	12,386	15,7	1	XV 2"4	40,07	40,07	Ao ar	40
Inv1	Str4	21	1264,2	12,386	15,7	1	XV 2"4	40,07	40,07	Ao ar	40

Figura 5.16: Rede de dimensionamento DC

Na ferramenta é possível dimensionar o sistema de proteção²⁶ entre os painéis e o inversor, porém o inversor tem, normalmente, a capacidade de aguentar até cerca de 3 a 4 vezes a corrente da string, pelo que está protegido contra correntes de retorno. Em sistemas que se pretende garantir a máxima proteção pode ser utilizado o sistema de proteção calculado nesta folha.

5.2.3 Desenho técnico do sistema fotovoltaico

A representação e desenho técnico pode ser realizada em várias ferramentas. O Helioscope permite “desenhar” os painéis e inversores, porém não é uma ferramenta muito rigorosa a nível de desenho.

A ferramenta utilizada para o efeito foi o SketchUp que permite criar modelos 3D das instalações. Em conexão com o SketchUp pode ser usado um plugin chamado Skelion. O Skelion é uma ferramenta dentro do SketchUp orientada aos sistemas fotovoltaicos. Além de colocar diretamente os painéis, tem a capacidade de dar uma estimativa da produção dos painéis. Esta ferramenta pode servir para o desenho o projeto, mas também poderá servir como auxílio para avaliar as áreas e a quantidade de painéis que podem ser instalados (Figura 5.17).



Figura 5.17: Projeto da instalação da UPAC fotovoltaica de Sketchup

Os desenhos mais técnicos poderão ser realizados na ferramenta Autocad, tais como: canalizações, desenhos dos armários e orientações para a entidade instaladoras (Figura 5.18).

²⁶São usado fusíveis para a proteção entre os painéis e o inversor.

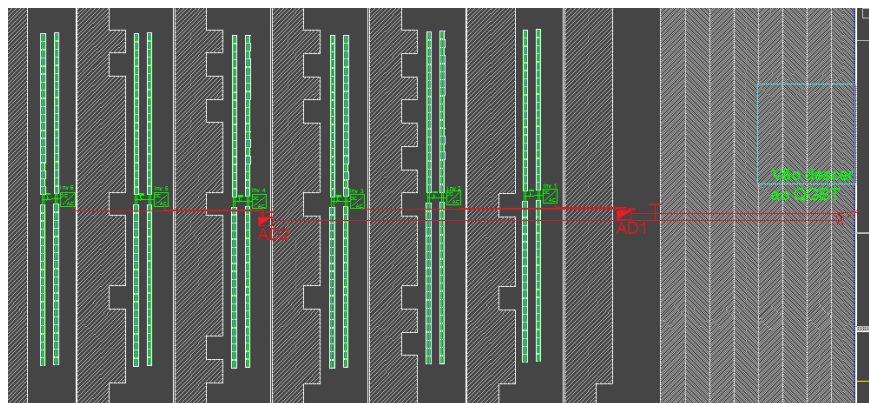


Figura 5.18: Projeto da instalação da UPAC fotovoltaica de Sketchup

5.2.4 Sistema de contagem elétrica em sistemas Fotovoltaicos

Num sistema de UPAC, ligado à RESP para poder consumir quando a UPAC não produz energia suficiente e injetar os excedentes, o sistema de contagem deve seguir a configuração da Figura 5.19. Nos sistemas de FV que estejam inseridos em modelos de Autoconsumo Coletivo ou Comunidades de Energia Renovável será realizada tele-contagem.

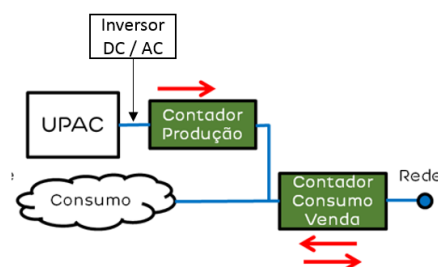


Figura 5.19: Contagem de energia de sistemas ligados à RESP. Imagem do Manual de ligação à rede de serviço público.

5.2.5 Solução para aumentar a eficiência de continuidade de serviço de uma instalação de utilização

Atualmente, as instalações que possuem produção fotovoltaica (FV) on-grid e utilização de geradores de emergência (por exemplo: a diesel), no momento em que existe um problema na rede de serviço pública (RESP), em que esta saia de serviço, a produção FV é também desligada para evitar repercussões no sistema. Com recurso a um inversor de rede, é detetado que não existe energia na rede e a alimentação da instalação passa a realizar-se através do gerador de emergência.

O que se pretende implementar é uma solução que consiga colocar o sistema FV em paralelo com o gerador, enquanto a RESP não volte ao serviço.[79] Assim, aumentar a eficácia do sistema e garantir um menor custo de alimentação em situação de emergência.

Esta solução já se tornou viável com o uso de PLC²⁷/inversor, solução criada pela Dep Sea Electronics (www.deepseaelectronics.com/). Na Figura 5.20, os aparelhos, tem a capacidade de ser programados para fazer o controle e o sincronismo da UPAC com a RESP e da UPAC com o gerador, e ” em caso de falha da concessionária, os geradores entram em operação e, quando alcançam sua estabilidade, a fonte híbrida²⁸ sincroniza com os geradores e entra em paralelo.”[80].

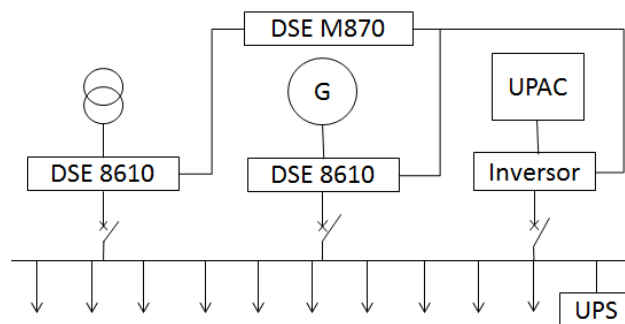


Figura 5.20: Diagrama de funcionamento do sistema. Imagem realizada a partir do documento Eccoengenharia “Como os geradores diesel funcionam em sistemas híbridos?”, Janeiro 2019

Restrições consideradas no sistema:

- Gerador não funciona com menos 30% da potência nominal, para evitar problemas por subdimensionamento
- O produção pelo sistema FV ou está ON ou OFF, neste estudo não foi considerado desligamento parcial do sistema, ou o abaixamento de produção.

Segundo as restrições apresentadas, o sistema irá funcionar segundo o seguinte diagrama da Figura 5.21.

²⁷O PLC (controlador lógico programável), também conhecido como autômato programável é destinado ao controle de processos industriais. No caso dos PLC apresentados, são destinados ao controle e sincronização da alimentação e das cargas.

²⁸Uma fonte híbrida é um sistema que utiliza mais que uma fonte para gerar energia na instalação.

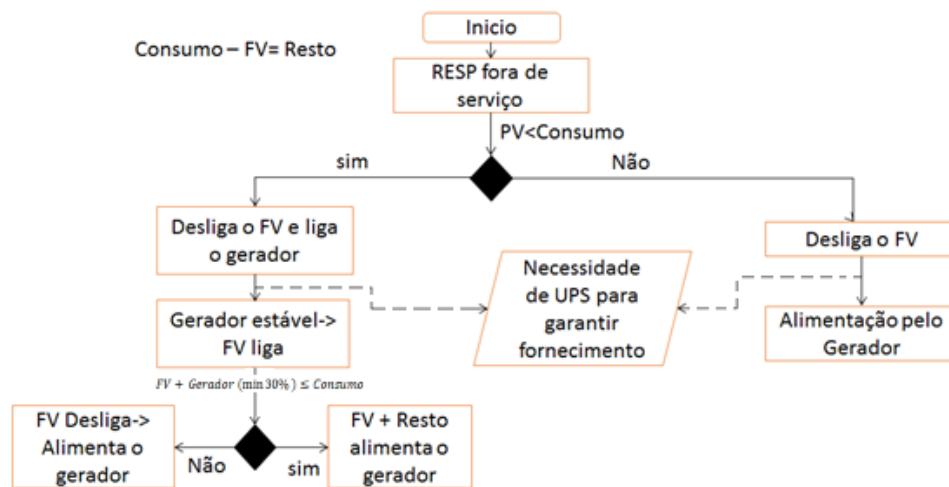


Figura 5.21: Diagrama de funcionamento

No caso de a RESP sair fora de serviço, o sistema FV é também desligado para evitar eventuais defeitos. Se o consumo for superior à produção FV, vai entrar em ação o gerador até estar funcionar de forma estável e possa ser sincronizado o sistema FV. O gerador vai fornecer os 30% mais a diferença entre o consumo e a produção FV. Estando em sincronismo, é necessário avaliar se a produção FV mais o gerador, que terá de funcionar com um mínimo de 30 %, não ultrapassam o consumo da instalação (equação 5,8).

$$FV + Gerador(min30\%) \leq Consumo \quad (5.8)$$

Cumprida esta regra, o gerador e o FV vão funcionar de forma sincronizada até ao restabelecimento de energia. Em contrapartida, no caso de haver demasiada produção FV, terá de voltar a ser desligada e apenas será realizada alimentação através do gerador, isto devido a não existir onde injetar o excesso de energia.

No caso de a produção de energia do sistema FV ser à partida superior ao consumo, terá de ser desligado e alimentação será feita com recurso ao gerador.

No diagrama da Figura 5.21 podemos verificar uma condição que utiliza tracejado. No caso de serem usadas cargas com necessidade extrema de alimentação, é necessário a utilização de UPS²⁹. A UPS servirá para manter alimentação de energia nos momentos de troca da RESP para alimentação do gerador ou do gerador mais o FV.

5.3 Conclusão

Neste capítulo foram avaliados alguns conceitos que permitem a construção de um projeto de uma instalação fotovoltaica.

Para a construção do projeto são avaliadas várias etapas que devem ser tidas em conta, para isso é utilizado um exemplo de um projeto criado para uma instalação de logística. Foram abordadas duas ferramentas que foram concebidas ao longo do projeto. As ferramentas vão permitir ajudar

²⁹UPS Fonte de alimentação ininterrupta. Em casos de desligamento da RESP, tem capacidade de alimentar as cargas por certo período até entrada do gerador

na otimização e fazer alguns cálculos necessários para avaliar este tipo de projeto, bem como fazer os cálculos relativos às canalizações do sistema fotovoltaico.

É explicado o método de de otimização que foi criado e como proceder para obter o valor ideal de potência a instalar consoante determinadas regras.

Para finalizar, é apresentada uma solução que permite em momentos de falha de energia da concessionária, conseguir alimentar a instalação a partir do sistema fotovoltaico e com recurso ao gerador de emergência.

Capítulo 6

Conclusões e Trabalho Futuro

Neste capítulo serão realizadas as conclusões da dissertação e objetivos para trabalho futuro da dissertação realizada.

6.1 Conclusões do trabalho final

O documento, tal como traçado nos objetivos, apresenta-se como um guia onde podem ser adquiridos alguns conhecimentos base para a realização de um projeto. O projeto é realizado de acordo com a legislação portuguesa, para uma instalação elétrica de uma unidade industrial alimentada em MT.

A construção da ferramenta para o dimensionamento das instalações de baixa tensão, permite realizar os cálculos de dimensionamento e as informações organizadas por secções, dicas ou alertas permitem fazer uma consulta rápida ao material necessário e relevante para o dimensionamento.

Em relação às unidades de produção para autoconsumo foram apresentados os passos para o planeamento e projeto com otimização de unidade fotovoltaica (FV). As etapas necessárias ao projeto, bem como as ferramentas de otimização e dimensionamento de instalações FV permitem ao leitor poder partir para um projeto de fotovoltaico com as bases de como fazer e com ferramentas auxiliares que lhe permitam uma maior exatidão de resultados.

6.2 Possíveis Desenvolvimentos

Ao nível de projeto, execução e exploração de instalações de utilização

A dissertação, realizada no âmbito de projeto de instalações elétricas, teve a necessidade de entender as etapas que compõe a elaboração de um projeto de instalações de utilização de serviço particular, mais concretamente de uma instalação industrial alimentada em média tensão. Foram avaliados vários tipos de subprojecto e suas as etapas, legislações e regulamentos necessários à realização.

Como tal, e como observado no diagrama presente na figura 2.1 do capítulo 2, a fase de projeto será uma das fases a realizar, sendo depois necessário passar do “papel para o terreno”. No futuro, o trabalho do projetista poderá passar pelo acompanhamento dos trabalhos de execução, garantindo que tudo é cumprido como projetado e estudando eventuais necessidades de alteração.

Cumprida a fase de execução, seguir-se-á o acompanhamento da exploração e criação de medidas de eficiência. Verificar-se-á possíveis falhas que seja necessário corrigir. Algumas das necessidades que poderão ter de ser verificadas são:

- Necessidade de baterias de condensadores para corrigir fator de potência
- Correção de harmónicos
- Medidas e verificação dos sistemas de terra

Estas são medidas que devem ser tomadas para que não seja influenciado negativamente os equipamentos ao nível da qualidade de energia e diminuir eventuais custos de consumo ou produção de energia reativa.

Como observado ao longo do projeto, a constante revisão da legislação, de alteração do material utilizado, devido a melhorias ou aumento da eficiência, leva a que seja necessária uma atualização da dissertação corrigindo os processos que são utilizados atualmente (descritos ao longo do documento).

Ferramentas de dimensionamento e otimização

Ao nível das ferramentas criadas para o dimensionamento da IU e otimização de unidades fotovoltaicas será necessário uma constante atualização e melhoria dos sistemas utilizados.

Nas ferramentas de dimensionamento de instalações de BT e de sistemas FV:

- Melhorar o sistema de criação da rede, para o utilizador poder definir o seu sistema criando ou apagando blocos. Possivelmente, será necessário o recurso a outra ferramenta;
- Conceber uma função para calcular a secção ideal do cabo;
- Criar uma função que represente a curva de atuação dos aparelhos de corte, em vez do uso tabelas.

Quanto à ferramenta de otimização:

- Melhorar a forma de interagir e colocação de dados;
- No estudo de caso, os dados obtidos foram dados de consumo mensal, pelo que a ferramenta está preparada para trabalhar com dados mensais. Esta poderá sofrer algumas alterações para fazer estudos de hora a hora ou de 15 em 15 minutos para tornar mais eficiente o processo de otimização.

Estudo e possibilidade de integração numa comunidade de energia renovável

Como referido na legislação relativa às UPAC, em 2019, surge com o Decreto-Lei nº 162/2019, dois novos conceitos: Autoconsumo coletivo e Comunidade de Energia Renovável (CER).

Nos passos para a construção de um projeto de autoconsumo fotovoltaico, na venda dos excessos de energia, foi referido utilização do autoconsumo coletivo. O que se pretendia era criar uma parceria com uma empresa vizinha, de acordo com os termos da nova legislação, para a colocação do excesso da energia produzida (principalmente ao fim de semana), em vez da venda direta à RESP. A empresa vizinha beneficiaria de um custo por quilowatt mais barato e a empresa para o qual é feito o projeto iria beneficiar podendo vender a um preço um bocado mais elevado do que aquele que recebe quando essa energia excedente é diretamente injetada na RESP.

Com a necessidade de reduzir os custos associados ao consumo de energia e, do panorama atual, onde é urgente reduzir as emissões carbónicas e passar a haver um consumo de energia mais limpa, as empresas poderão ter um papel fundamental e os conceitos de autoconsumo coletivo e CER poderão ser importantes.

Uma das formas de implementação das CER poderá passar pelas indústrias, mais concretamente pelas zonas industriais. Facto da necessidade de aumentar a eficiência das indústrias e, consequentemente, a redução dos elevados custos relativos ao consumo de energia, uma alternativa pode ser a produção para autoconsumo e a integração de um modelo de CER. As indústrias possuem a vantagem de terem grandes áreas das coberturas dos armazéns, onde poderão ser instalados painéis fotovoltaicos, com a garantia dos seus excessos serem partilhados entre as várias empresas em redor.

A integração desta empresa dentro de uma CER, com outras empresas ou comunidades na área circundante, poderá trazer benefícios a nível monetário, facto de o payback de um investimento solar rondar os 3 a 7 anos, além de contribuir para a redução da pegada carbónica do setor industrial.

Referências

- [1] A. Bergek S. Jacobsson. Transforming the energy sector: the evolution of technological systems in renewable energy technology industrial and corporate change, volume 13, issue 5, pages 815–849, <https://doi.org/10.1093/icc/dth032>, janeiro 2020, outubro 2004.
- [2] Assembleia da República. Primeira alteração, por apreciação parlamentar, ao Decreto -Lei n.º 96/2017, de 10 de agosto, que estabelece o regime das instalações elétricas particulares, 2018.
- [3] Ministério da Economia. Decreto-lei nº 96/2017 de 10 de agosto, estabelece o regime das instalações elétricas particulares, 2017.
- [4] A. Silva. Projeto e dimensionamento de instalações elétricas de baixa tensão. Relatório técnico, UAISE, julho 2015.
- [5] Pordata. Preços da electricidade para utilizadores domésticos e industriais (euro/ecu), 2017. Disponível em <https://www.pordata.pt/Portugal/Consumo+de+energia>, última visita Dezembro 2019.
- [6] R.P. Braga. Energia solar fotovoltaica: Fundamentos e aplicações, 67 f. monografia (Curso de energia elétrica) - Universidade federal do Rio de Janeiro, novembro 2008.
- [7] T. Seamans. What is the average payback period of a solar pv installation? Relatório técnico, Centric Bussiness Solutions. <https://www.centricbusinesssolutions.com/us/blogpost/what-average-payback-period-solar-pv-installation>, Última visita Janeiro 2020.
- [8] Pordata. Consumo de energia eléctrica: total e por tipo de consumo, 2017. Disponível em <https://www.pordata.pt/Portugal/Consumo+de+energia>, Última visita dezembro 2019.
- [9] REN. Estatísticas mensais: Consumo e potência, dezembro 2019. Disponível em <http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/InformacaoExploracao/Paginas/EstatisticaMensal.aspx>, Última visita dezembro 2019.
- [10] Assembleia da Republica. Estabelece os requisitos de acesso e exercício da atividade das entidades e profissionais responsáveis pelas instalações elétricas,, 2015.
- [11] EDP Distribuição. Manual de Ligações à rede elétrica de serviço público , month=outubro, year = 2018.
- [12] Ministério da Economia Secretaria de Estado da Indústria Direcção-Geral dos Serviços Eléctricos. Aprova o regulamento de segurança de subestações e postos de transformação e de seccionamento, março 1960.

- [13] Ministério da Indústria e Energia. Aprova o regulamento de segurança de linhas eléctricas de alta tensão, fevereiro 1992.
- [14] Ministério da Indústria e Energia. Estabelece disposições relativas ao estabelecimento e à exploração das redes de distribuição de energia eléctrica em baixa tensão, dezembro 1984.
- [15] Direção Geral de Geologia e Energia. RTIEBT - Regras Técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão, 1ª edição anotada, 2006.
- [16] Dinheiro Vivo. Portugal campeão na venda de carros eléctricos, abril 2005. <https://www.dinheirovivo.pt/economia/portugal-e-campeao-na-venda-de-carros-eletricos>], Última visita dezembro 2019.
- [17] Ministério do Ambiente Ordenamento do Território e Energia. Procede à terceira alteração ao decreto-lei n.º 39/2010, junho 2014.
- [18] Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. Aprova o regulamento da mobilidade eléctrica, outubro 2019.
- [19] Direção Geral de Energia e Geologia. Guia técnico das instalações eléctricas para a alimentação de veículos eléctricos, março 2015.
- [20] APREN. Balanço da produção de eletricidade de portugal continental (janeiro a dezembro de 2019), dezembro 2019. <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao>, Última visita dezembro 2019.
- [21] STANSOLAR. A evolução dos painéis solares, outubro 2019. <https://www.santansolar.com/aprender/a-evolucao-de-paineis-solares/>, Última visita janeiro 2020.
- [22] Ministério do Ambiente Ordenamento do Território e Energia. Cria os regimes jurídicos aplicáveis à produção de eletricidade destinada ao autoconsumo e ao da venda à RESP a partir de recursos renováveis, outubro 2014.
- [23] DGEG. Decreto lei nº 153/2017: Respostas a perguntas frequentes, fevereiro 2019. <http://www.dgeg.gov.pt/?cn=636364478673AAAAAAAAAAAAA>, Última visita dezembro 2019.
- [24] Presidência do Conselho de Ministros. Aprova o regime jurídico aplicável ao autoconsumo de energia renovável, outubro 2019.
- [25] Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia. Promoção da utilização de energia de fontes renováveis, dezembro 2018.
- [26] DGEG. Missão DGEG. <http://www.dgeg.gov.pt/>, Última visita janeiro 2020.
- [27] ERSE. Missão ERSE. <https://www.erse.pt/inicio/>, Última visita janeiro 2020.
- [28] ENSE. Missão ENSE. <http://www.ense-epe.pt/quem-somos/missao/>, Última visita janeiro 2020.
- [29] Ministério da Economia da Inovação e do Desenvolvimento. Anexo II: Aprova o regulamento da rede de distribuição, julho 2010.

- [30] EDP Distribuição S.A.:Direção de Tecnologia e Inovação. Documentos normativos, Edição 5, 2019.
- [31] Comissão Eletrotécnica Internacional. Iso 8995 :lighting of indoor work places, maio 2002.
- [32] Comissão Eletrotécnica Internacional. 3º edição: Degrees of protection provided by enclosures (IP code), 2013.
- [33] Comissão Eletrotécnica Internacional. Degrees of protection provided by enclosures for electrical equipment against external mechanical impacts (IK code), 2002.
- [34] S.A Hager Sistemas Eléctricos Modulares. Esquemas de ligação à terra em baixa tensão. <https://www.hager.pt/esq.-ligacao-a-terra/esq.-ligacao-a-terra/102087.htm>, Última visita janeiro 2020.
- [35] M. Mariano. Sistemas de terra e protecção contra descargas atmosféricas, IPS, fevereiro 2011.
- [36] Infocertiel. Cabos e condutores, parte II, dezembro 2002. <https://faimelctrico.blogs.sapo.pt/18461.html>, Última visita Novembro 2019.
- [37] Cabelte. Cabos ignífugos, 2005. http://svrweb.cabelte.pt/pt-pt/produtos_servicos/cabos_energia, Última visita dezembro 2019.
- [38] Indusmelec. Esquemas e diagramas, Caderno 4, agosto 2013. <http://www.indusmelec.pt/Produtos/produtos.html>, Última visita dezembro 2019.
- [39] L. G. Silva. Alocação otimizada de dispositivos de proteção em sistema de distribuição de energia elétrica. Relatório técnico, UNESP, agosto 2002.
- [40] J. V. C. Matias. Electrotecnia básica: Aparelhos de protecção, Voltimum, maio 2016.
- [41] C. Coelho. Instalações elétricas: Elementos de apoio às aulas práticas, FEUP, dezembro 2006.
- [42] E. Takafashi. Curva dos disjuntores: Principais características, LinkedIn, janeiro 2018. <https://www.linkedin.com/pulse/curva-dos-disjuntores-principais-caracteristicas/>, Última visita dezembro 2019.
- [43] A. Texeira. Conceção de instalações elétricas: Conceção de instalações elétricas de baixa tensão.
- [44] S.A Hager Sistemas Eléctricos Modulares. Princípio da selectividade. <http://www.hager.pt/documentacao-downloads/8.htm>, Última visita janeiro 2020.
- [45] EDP Distribuição. Norma: Ligação de clientes em baixa tensão, julho 2018.
- [46] S. Kucuk. Steps for industrial plant electrical system design. Em *2017 10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, páginas 1435–1439, novembro 2017.
- [47] L. S. Martins. Apontamentos para projetos de instalação elétricas II. Relatório técnico, ISTS, março 2005.

- [48] EDP Distribuição. Norma: Transformadores de potência, outubro 2014.
- [49] Schneider. Distribuição média tensão equipamentos pré-fabricados gama SM6 24kV, 2004. https://download.schneider-electric.com/files?p_File_Name=SM6_24-Catalogo.pdf.pdf, Última visita dezembro 2019.
- [50] EDP Distribuição. Norma:quadro geral de baixa tensão R630, março 2009.
- [51] EDP Distribuição. Guia técnico de terras, maio 2010.
- [52] EDP Distribuição. Norma: Acessórios para cabos mt isolados, março 2001.
- [53] EDP Distribuição. Norma: Materiais para derivações e entrada em BT: Armários de distribuição, maio 2007.
- [54] EDP Distribuição. Norma: Materiais para redes – aparelhagem bt: Fusíveis de bt, setembro 2015.
- [55] EDP Distribuição. Norma: Materiais para proteção mecânica da rede: Tubos corrugados para redes subterrâneas, abril 2002.
- [56] Schneider Electric. Segurança em quadros elétricos e as novas regras técnicas.
- [57] L. S. Martins. Apontamentos para projetos de instalação elétricas I. Relatório técnico, ISTS, outubro 2004.
- [58] Certiel. Newsletter trimestral da certiel, julho 2009. <http://www.youblisher.com/p/50380-Boletim-Setembro-2009>, Última visita novembro 2019.
- [59] D. Ferauche. Iluminação: Tipos de lâmpadas e luminárias, SENAC, setembro 2015.
- [60] D. Jenkins e B. Morse. Application considerations for led light fixtures in process industry production environments. Em *2016 IEEE-IAS/PCA Cement Industry Technical Conference*, páginas 1–6, maio 2016. doi:10.1109/CITCON.2016.7742657.
- [61] Cummins: Power Generation. A engenharia de aplicações: Manual de aplicações para grupos geradores arrefecidos a água, janeiro 2011.
- [62] Pramac. Geradores estacionários. https://www.pramac.com/pt_PT/aboutstationarygenerators, Última visita janeiro 2020.
- [63] Galpão. Como dimensionar um gerador de energia?, março 2018. <https://galpaocentrooeste.com.br/blog/como-dimensionar-gerador-energia-confira-aqui/>, Última visita janeiro 2020.
- [64] Leone. Dicas: Como dimensionar geradores de energia. https://www.leone.equipamentos.com.br/noticia_detalhe.asp?idJetinfo=11641, Última visita janeiro 2020.
- [65] Dr. R. Benedito. Elementos de sistemas elétricos de potência -3.2.6 máquinas trifásicas e cargas em sistemas trifásicos.
- [66] Certielmais. Fontes centrais constituídas por geradores accionados por motores de combustão, junho 2009.

- [67] M. Bolotinha. Regimes de neutro em instalações de muito alta, média e baixa tensão, 2018. <https://www.voltimum.pt/artigos/artigos-tecnicos/regimes-de-neutro-em>, Última visita janeiro 2020.
- [68] M. Hosenuzzaman. Energia em tempo de descarbonização: uma revisão com foco em consumidores fotovoltaicos, 2017.
- [69] M. Domingos O. Quelhas J. Villela, F. Razpozo. Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation: Cells and modules technology, 2005.
- [70] PortalSolar. Como funciona o painel solar fotovoltaico, dezembro 2019. <https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico.html>, Última visita dezembro 2019.
- [71] J.Guedes. Autoconsumo (UPAC) e contratos de desempenho energético, outubro 2016.
- [72] F. Ely e J. W. Swart. Energia solar fotovoltaica de terceira geração, Espaço IEEE, outubro 2014.
- [73] R. Alonso. Painéis fotovoltaico IV - Tecnologia e Otimização, julho 2017.
- [74] CiênciaViva. Latitude e longitude. http://www.cienciaviva.pt/equinocio/lat_long/cap4.asp, Última visita Dezembro 2019.
- [75] Pedro Reis. Qual a inclinação que um painel solar deve ter?, PortalEnergia, agosto 2018. <https://www.portal-energia.com/qual-inclinacao-painel-solar/>, Última visita Dezembro 2019.
- [76] Jesus Manoel M.A. Tarricone Georgia Gnoatto-Estor Michels, Roger N e Edward Kavanagh. O comportamento da temperatura na eficiência de painéis fotovoltaicos em diferentes níveis de incidência da radiação solar associado a temperatura, julho 2011.
- [77] D. M. Salles, D. P. da Silva, C. A. Matias, E. G. Domingues, L. S. Pinto, J. Milograna, e W. P. Calixto. Behavior of temperature in photovoltaic panels installed on surfaces with different albedo indexes. Em *2017 18th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)*, páginas 1–5, Maio 2017. doi:10.1109/EPE.2017.7967346.
- [78] R João V.Viegas S.Rebelo. Métodos de avaliação da decisão de investimento,ESGHT, março 2007.
- [79] Y. Mizuno, T. Baba, Y. Tanaka, F. Kurokawa, M. Tanaka, I. Colak, e N. Matsui. Estimation of optimum capacity of battery by combined use of a renewable energy system and distributed emergency generators in a large hospital. Em *2017 IEEE 6th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, páginas 515–518, novembro 2017. doi:10.1109/ICRERA.2017.8191113.
- [80] Eccoengenharia. Como os geradores diesel funcionam em sistemas híbridos?, Janeiro 2019. <https://blog.eccoengenharia.com.br/como-os-geradores-diesel-funcionam-em-sistemas-hibridos/>, Última visita janeiro 2020.

Anexo A

Anexos

Depois das conclusões e antes das referências bibliográficas, apresenta-se neste anexo numerado o texto usado para preencher a dissertação.

A.1 Anexos Capítulo 2

cobre $R_{20^{\circ}\text{C}} (\Omega/\text{km})$						
Secção (mm ²)	cabos rígidos		cabos flexíveis	Secção (mm ²)	cabos rígidos	
	alma maciça	alma multifilar			alma maciça	alma multifilar
0,5	36	36	39	35	0,524	0,524
0,75	24,5	24,5	26	50	0,387	0,387
1	18,1	18,1	19,5	70	0,268	0,268
1,5	12,1	12,1	13,3	95	0,193	0,193
2,5	7,41	7,41	7,98	120	0,153	0,153
4	4,61	4,61	4,95	150	0,124	0,124
6	3,08	3,08	3,3	185	---	0,0991
10	1,83	1,83	1,91	240	---	0,0754
16	1,15	1,15	1,21	300	---	0,0601
25	0,727	0,727	0,78			

Figura A.1: Valores de resistências por secção à temperatura ambiente para condutores de cobre. “TABELAS, REGRAS E DADOS DIVERSOS”, J.Neves dos Santos.

Alumínio $R_{20^{\circ}\text{C}} (\Omega/\text{km})$					
Secção (mm ²)	cabos rígidos		Secção (mm ²)	cabos rígidos	
	alma maciça	alma multifilar		alma maciça	alma multifilar
1,5	18,1	---	50	0,641	0,641
2,5	12,1	---	70	0,443	0,443
4	7,41	7,41	95	0,32	0,32
6	4,61	4,61	120	0,253	0,253
10	3,08	3,08	150	0,206	0,206
16	1,91	1,91	185	0,164	0,164
25	1,2	1,2	240	0,125	0,125
35	0,868	0,868	300	0,1	0,1

Figura A.2: Valores de resistências por secção à temperatura ambiente para condutores de alumínio. TABELAS, REGRAS E DADOS DIVERSOS”, J.Neves dos Santos.

Reatância X (Ω/km)					
Secção (mm ²)	Mono	2/3 condutores	Secção (mm ²)	Mono	2/3 condutores
1,5	0,168	0,118	50	0,101	0,0779
2,5	0,156	0,109	70	0,0965	0,0751
4	0,143	0,101	95	0,0975	0,0762
6	0,135	0,0955	120	0,0939	0,074
10	0,119	0,0861	150	0,0928	0,0745
16	0,112	0,0817	185	0,0908	0,0742
25	0,106	0,0813	240	0,0902	0,0752
35	0,101	0,0783	300	0,0895	0,075

Figura A.3: Valores de reactância por secção. TABELAS, REGRAS E DADOS DIVERSOS”, J.Neves dos Santos.

Temperatura de Referência θ_1 [°C]	Temperatura Final θ_2 [°C]	Coeficiente de Correção da Resistência K_θ $K_\theta = 1 + \alpha (\theta_2 - \theta_1)$	
		Condutores de Alumínio $\alpha = 0,00380$	Condutores de Cobre $\alpha = 0,00395$
20	30	1,038	1,0395
	70	1,190	1,1975
	85	1,247	1,2568
	90	1,266	1,2765
	140	1,456	1,4740
	160	1,532	1,5530
	250	1,874	1,9085

Figura A.4: Coeficientes de correção da resistência, quadro 6 “TABELAS, REGRAS E DADOS DIVERSOS”, J.Neves dos Santos

A.2 Anexos Capítulo 3

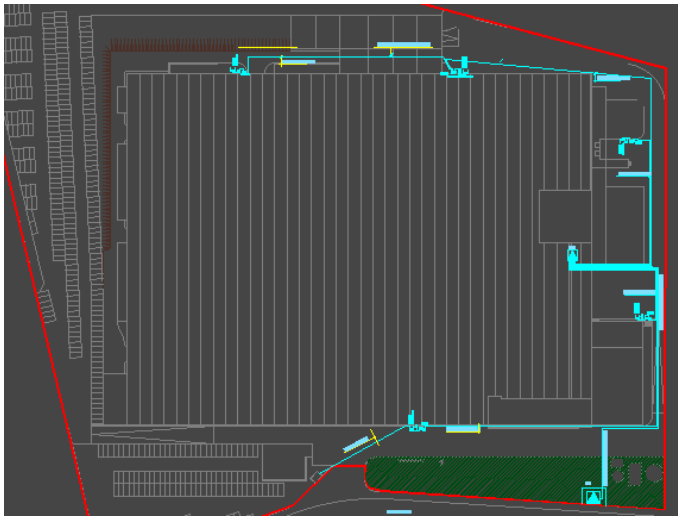


Figura A.5: Rede de distribuição da instalação de logística

Calibres de Fusíveis de Facas gG / 500 V (Normalizados) Correntes (Fabricante Hager / Rev. 2016)						
Tamanho →	NH000	NH0	NH1	NH2	NH3	NH4
Calibre						
2						
4						
6						
10						
16						
20						
25						
32						
35						
40						
50						
63						
80						
100						
125						
160						
200						
224						
250						
315						
355						
400						
500						
630						
800						
1000						
1250						

Figura A.6: Tamanho dos fusives NH para armários de distribuição

Avaliação dos locais

No geral, a parte ambiente das instalações é considerada como normal, não existindo grande influência perante componentes externos.

Designação	Código	Classificação	Características dos Equipamentos
A – Temperatura Ambiente	AA4	-5 a 40 8C	Normal
B – Condições Climáticas	AB4	Temperado	Normal
C – Altitude	AC1	Baixa	Normal
D – Presença de água	AD1	Desprezável	IP X0
E – Presença de corpos Sólidos estranhos	AE1	Desprezável	IP 2X
F – Presença de substâncias Corrosivas ou poluentes	AF1	Desprezável	Normal
G – Ações Mecânicas	AG1	Fracas	IK 02
H – Vibrações	AH1	Fracas	
K – Presença de flora ou Bolores	AK1	Desprezável	Normal
L – Presença de Fauna	AL1	Desprezável	Normal
M – Influências Eletroimán, electroestáticas ou ionizantes	AM1	Desprezáveis	Normal
N – Radiações solares	AN1	Fracas	
P – Efeitos sísmicos	AP1	Desprezáveis	Normal
Q – Descargas atmosféricas, nível cerâmico (N)	AQ1	Desprezável	Normal
R – Movimentos do ar	AR1	Fracos	
S – Vento	AS1	Fraco	

Figura A.7: Avaliação dos ambiente internos da instalação

A tabela anterior refere-se ao contexto geral da instalação, contudo há que ter em atenção a certos locais, que é o caso das instalações de vestiário:

Instalações Sanitárias

Designação	Código	Classificação	Características dos Equipamentos
D – Presença de água	AD2	Gotas de água	IP X1

Figura A.8: Avaliação dos ambiente internos da instalação sanitária

Quanto às Utilizações

Quanto à utilização, teremos de uma forma geral locais com as seguintes classificações:

Designação	Código	Classificação	Características dos Equipamentos
A – Competência das Pessoas	BA5	Qualificado	Contra contactos diretos
B – Resistência eléctrica do corpo humano	BB1	Normal	Normal
C – Contactos das pessoas com o potencial da terra	BC2	Reduzidos	Classe 0, I, II, III
D – Evacuação das pessoas em caso de emergência	BD1	Normal	Normal
E – Natureza dos produtos tratados ou armazenados	BE1	Riscos de Incêndio	Equipamentos que retardem a propagação de chama

Figura A.9: Avaliação quanto à utilização da instalação

São exceções, os seguintes locais:

Instalações Sanitárias e Área Técnica

Designação	Código	Classificação	Características dos Equipamentos
B – Resistência elétrica do corpo humano	BB2	Baixa	Medidas de proteção apropriadas

Figura A.10: Avaliação quanto à utilização da instalação sanitárias

Construção do Edifício

Quanto à sua construção, o edifício possuirá as seguintes classificações:

Designação	Código	Classificação	Características dos Equipamentos
A – Materiais de Construção	CA1	Não combustíveis	Riscos desprezáveis
B – Estrutura do edifício	CB1	Riscos desprezáveis	

Figura A.11: Avaliação quanto à construção do edifício da instalação

A.3 Anexos Capítulo 5

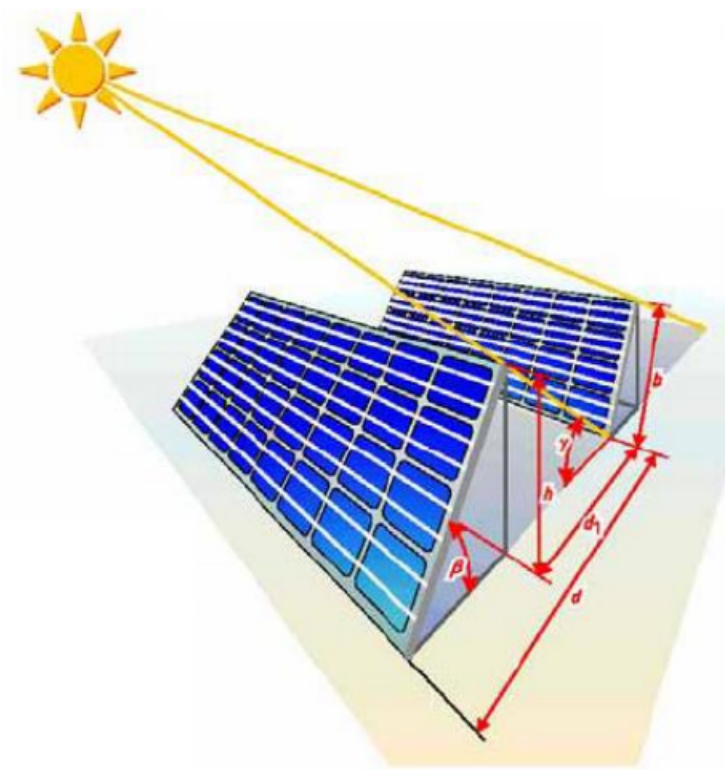


Figura A.12: Relatório Helioscope 1

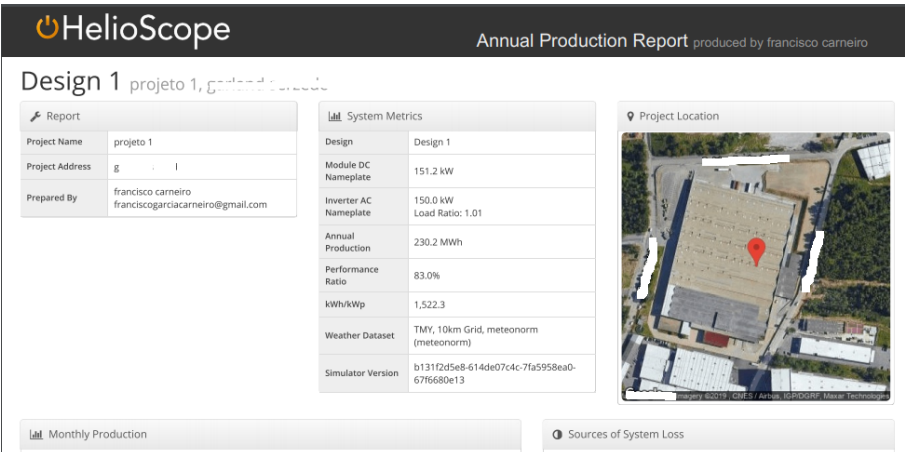


Figura A.13: Relatório Helioscope 1

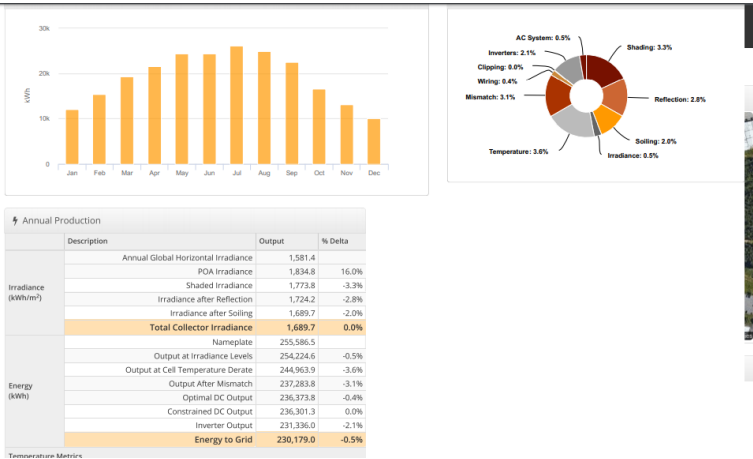


Figura A.14: Relatório Helioscope 2

Components			Wiring Zones			
Component	Name	Count	Description	Combiner Poles	String Size	Stringing Strategy
Inverters	Sunny Tripower 25000TL-30 (SMA)	6 (150.0 kW)	zona 1	4	20-21	Along Racking
Strings	4 mm2 (Copper)	24 (915.3 m)	Wiring Zone 2	4	20-21	Along Racking
Module	Hanwha, Q.PEAK-G4-1 300 (300W)	504 (151.2 kW)	Wiring Zone 3	4	20-21	Along Racking
			Wiring Zone 4	4	20-21	Along Racking
			Wiring Zone 5	4	20-21	Along Racking
			Wiring Zone 6	4	20-21	Along Racking

Field Segments								
Description	Racking	Orientation	Tilt	Azimuth	Intrarow Spacing	Frame Size	Frames	Modules
1	Fixed Tilt	Landscape (Horizontal)	35°	194°	1.2 m	1x1	84	84
2	Fixed Tilt	Landscape (Horizontal)	35°	194°	1.2 m	1x1	84	84
3	Fixed Tilt	Landscape (Horizontal)	35°	194°	1.2 m	1x1	84	84
4	Fixed Tilt	Landscape (Horizontal)	35°	194°	1.2 m	1x1	84	84
5	Fixed Tilt	Landscape (Horizontal)	35°	194°	1.2 m	1x1	84	84
6	Fixed Tilt	Landscape (Horizontal)	35°	194°	1.2 m	1x1	84	84

Figura A.15: Relatório Helioscope 3

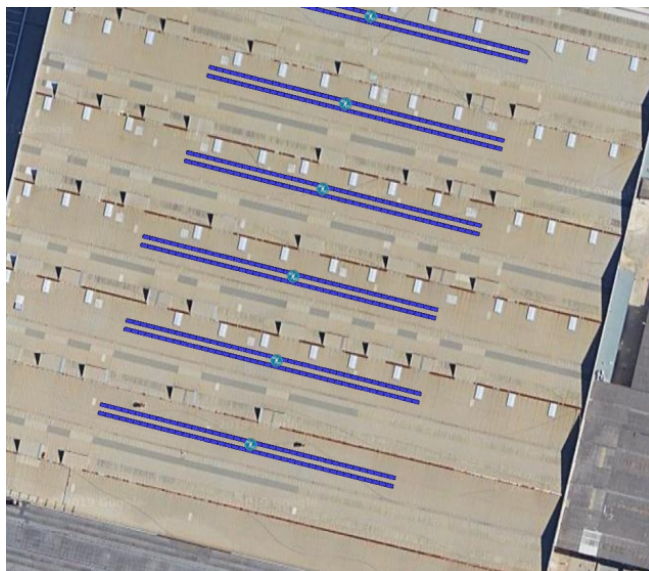


Figura A.16: Relatório Helioscope 4

Ciclo semanal opcional para os clientes em MT

Hora legal de Inverno	Hora legal de Verão
Segunda-feira a sexta-feira	Segunda-feira a sexta-feira
Ponta: 17.00/22.00 h	Ponta: 14.00/17.00 h
Cheias: 00.00/00.30 h 07.30/17.00 h 22.00/24.00 h	Cheias: 00.00/00.30 h 07.30/14.00 h 17.00/24.00 h
Super vazio: 02.00/06.00 h	Super vazio: 02.00/06.00 h
Vazio normal: 00.30/02.00 h 06.00/07.30 h	Vazio normal: 00.30/02.00 h 06.00/07.30 h
Sábado	Sábado
Cheias: 10.30/12.30 h 17.30/22.30 h	Cheias: 10.00/13.30 h 19.30/23.00 h
Super vazio: 03.00/07.00 h	Super vazio: 03.30/07.30 h
Vazio normal: 00.00/03.00 h 07.00/10.30 h 12.30/17.30 h 22.30/24.00 h	Vazio normal: 00.00/03.30 h 07.30/10.00 h 13.30/19.30 h 23.00/24.00 h
Domingo	Domingo
Super vazio: 04.00/08.00 h	Super vazio: 04.00/08.00 h
Vazio normal: 00.00/04.00 h 08.00/24.00 h	Vazio normal: 00.00/04.00 h 08.00/24.00 h

Figura A.17: Ciclo semana opcional para clientes MT. Período de inverno: janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro. Período de verão os outros seis meses. [ERSE (Dez 2014), TARIFAS DE VENDA A CLIENTES FINAIS DO SEP EM MT E BTE]

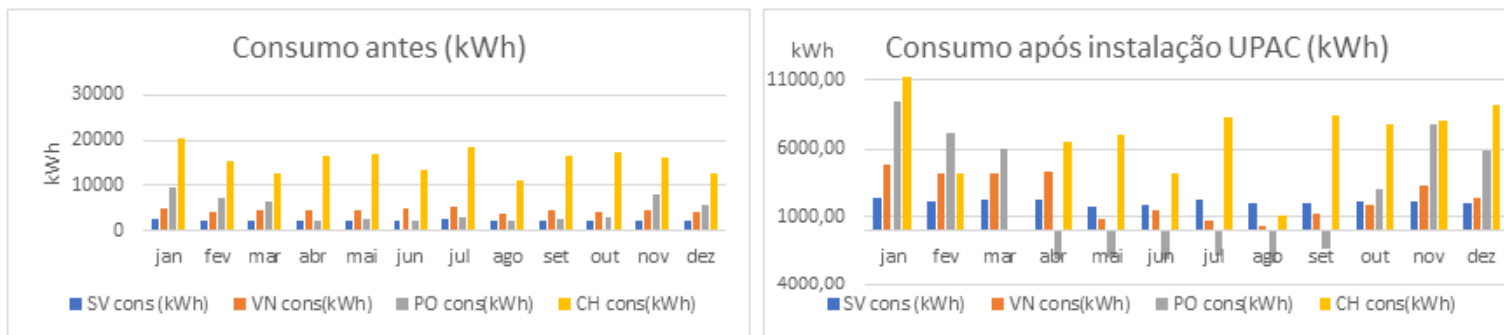


Figura A.18: Dados do consumo antes e depois da instalação da UPAC

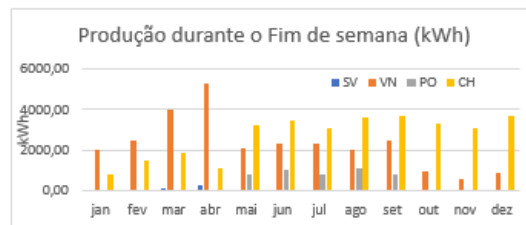


Figura A.19: Dados de consumo ao fim de semana. Energia que será diretamente injetada na rede



Figura A.20: Variação dos ganhos do cliente. Pode ser observado o ano em que se passa a ter lucro (payback)

Eficiência do painel	ano x	lucro anual	lucro no anos x	Custo de reparações anuais	TIR	VAL
98%	1	26 338,41	26 338,41	1500,01	13,85%	56 984,21
97,4%	2	26 773,51	53 711,91	1500,01		
96,8%	3	26 608,51	80 320,41	1500,01		
96,2%	4	26 443,61	106 764,01	1500,01		
95,6%	5	26 278,71	133 042,71	1500,01		
95,0%	6	26 113,71	159 156,41	1500,01		
94,4%	7	25 948,81	185 105,21	1500,01		
93,8%	8	25 783,91	210 889,11	1500,01		
93,2%	9	25 619,01	236 508,11	1500,01		
92,6%	10	25 454,01	261 962,11	1500,01		
92,0%	11	25 289,11	287 251,21	1500,01		
91,4%	12	25 124,21	312 375,41	1500,01		
90,8%	13	24 959,21	337 334,61	1500,01		
90,2%	14	24 794,31	362 128,91	1500,01		
89,6%	15	24 629,41	386 758,31	1500,01		
89,0%	16	24 464,51	411 222,81	1500,01		
88,4%	17	24 299,51	435 522,31	1500,01		
87,8%	18	24 134,61	459 656,91	1500,01		
87,2%	19	23 969,71	483 626,61	1500,01		
86,6%	20	23 804,71	507 431,31	1500,01		
86,0%	21	23 639,81	531 071,11	1500,01		
85,4%	22	23 474,91	554 546,01	1500,01		
84,8%	23	23 310,01	577 856,01	1500,01		
84,2%	24	23 145,01	601 001,01	1500,01		
83,6%	25	22 980,11	623 981,11	1500,01		

Figura A.21: Vários dados financeiros do projeto fotovoltaico para 25 anos