



Departamento  
de Engenharia Eletrotécnica

---

# **Dimensionamento da Rede de Baixa Tensão e Estudo da Iluminação Pública de um Loteamento Industrial**

Trabalho de Projeto apresentado para a obtenção do grau de  
Mestre em Engenharia Eletrotécnica – Área de Especialização  
em Sistemas de Energia

Autor

**Frederico Olavo da Silva Henriques Seabra**

Orientador

**Professora Doutora Cristina Isabel Ferreira Figueiras Faustino Agreira**  
Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE COIMBRA

**Coimbra, março, 2018**





Departamento  
de Engenharia Eletrotécnica

---

# **Dimensionamento da Rede de Baixa Tensão e Estudo da Iluminação Pública de um Loteamento Industrial**

Trabalho de Projeto apresentado para a obtenção do grau de  
Mestre em Engenharia Eletrotécnica – Área de Especialização  
em Sistemas de Energia

**Autor**

**Frederico Olavo da Silva Henriques Seabra**

**Orientador**

**Professora Doutora Cristina Isabel Ferreira Figueiras Faustino Agreira**

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE COIMBRA

**Coimbra, março, 2018**



## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, um agradecimento às entidades IPC/ISEC, as quais me permitiram realizar todo o percurso académico, em especial ao corpo docente do Departamento de Engenharia Eletrotécnica.

Agradeço à minha orientadora, Professora Doutora Cristina Isabel Ferreira Figueiras Faustino Agreira, toda a orientação científica, atenção e disponibilidade prestadas durante todo o período de realização do projeto final de mestrado. Uma palavra de agradecimento ao Engenheiro Tavares de Pina, uma vez que, inicialmente, foi quem propôs e orientou este trabalho.

Agradecer ao Engenheiro John Gabriel Pereira de Almeida, especialista em iluminação da CEILUX – Centro de Excelência e Iluminação – que esclareceu algumas questões relativamente ao software DIALux evo, contribuindo, assim, para um melhor conhecimento do mesmo.

O meu sincero e especial obrigado aos meus amigos e colegas: Artur Kinal, Diogo Costa, João Vaz, Nosolino Vera Cruz, Rafael Pratas, Renato Figueira e Vasco Silva. A todos eles, o meu enorme bem-haja por toda a amizade e todos os bons momentos que se proporcionaram ao longo desta caminhada.

Como não poderia esquecer, expresso a minha eterna gratidão aos meus pais por todo o apoio, sacrifícios e entrega demonstrados ao longo de todo o meu percurso académico, pois sem eles nada disto teria sido possível. O meu sincero agradecimento, igualmente, a todos os meus restantes familiares mais próximos pela força e compreensão que me deram ao longo de todo este tempo.

Por fim, manifesto a minha gratidão para com todos aqueles que aqui não mencionei e que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a minha formação a todos os níveis durante todo o meu percurso em Coimbra.



## RESUMO

A energia elétrica é um bem fulcral para toda a sociedade, pois sem esta, a esmagadora maioria das tarefas realizadas no dia-a-dia não seria possível de efetuar. Assim, a distribuição de energia elétrica consiste num processo singular que permite que cada um satisfaça as suas diferentes necessidades, sendo esta, também, a alavanca base para alcançar os mais diversos avanços tecnológicos dos nossos dias. Deste modo, uma das consequências com maior impacto na sociedade, por parte da distribuição da energia elétrica, é a iluminação pública, em relação à qual, ao longo dos anos se tem verificado uma acentuada evolução relativamente às variadas luminárias existentes, muito por culpa do impacto da tecnologia LED. Progressivamente, esta vem sendo uma aposta cada vez maior nos mais variados setores, pois o modelo LED é muito mais económico e eficiente, comparativamente com outras tecnologias existentes.

Neste sentido, foi realizado um projeto referente a um loteamento industrial, o qual foi repartido em duas partes distintas: a primeira parte, que diz respeito ao estudo da rede elétrica de distribuição em baixa tensão (BT) do loteamento, e a segunda, destinada ao estudo luminotécnico do mesmo. Na primeira parte, procedeu-se ao estudo e implementação dos elementos necessários para a elaboração das redes de distribuição de energia elétrica, de forma a serem devidamente alimentados os diversos lotes existentes. Por sua vez, procedeu-se ao dimensionamento de todas as proteções referentes às redes BT. Relativamente ao estudo luminotécnico, estudaram-se as principais características da iluminação pública, e, com base neste estudo, foi possível analisar os diferentes critérios de seleção de luminárias, por forma a determinar a melhor disposição das mesmas ao longo da via pública. Posteriormente, selecionaram-se vários modelos de luminárias LED, com diferentes características, por forma a concluir qual a opção ideal a implementar no projeto. À semelhança do que sucedeu na primeira parte, foi, também, efetuado o dimensionamento das proteções relativas aos circuitos de iluminação.

Em suma, este projeto tem como principal objetivo destacar a importância da implementação de redes de distribuição em baixa tensão e da iluminação pública, com a instalação de luminárias do tipo LED. Ao longo deste trabalho, demonstrou-se, também, a necessidade contínua da proteção das instalações, de forma a serem evitados ao máximo os diversos tipos de acidentes e avarias que são inerentes a este tipo de infraestruturas.

**Palavras-chave:** Baixa Tensão; Distribuição de Energia Elétrica; Iluminação Pública; LED; Proteção das Instalações.



## **ABSTRACT**

Electricity is a key element for all of society, because without it, the overwhelming majority of the day-to-day tasks would not be possible. Thus, the power distribution consists of a unique process that allows each one to meet their different needs, and this is also the base lever to reach the most diverse technological advances. Thereby, one of the consequences with the greatest impact on society by the power distribution is street lighting, in relation to which, over the years, there has been a marked evolution in relation to the various existing luminaires, as a result of the impact of LED technology. Progressively, this technology has been an increasing bet in the most varied sectors, because the LED model is much more economical and efficient compared to other existing technologies.

Thereafter, a project was carried out concerning an industrial subdivision, which was divided into two distinct parts: the first part, which concerns the study of the power distribution grid in low voltage (LV) of the subdivision, and the second, destined to the lighting study thereof. In the first part, the necessary elements for the elaboration of the power distribution grids were studied and implemented, in order to be properly supplied the many existing lots. In turn, all the protections related to the LV grids were dimensioned. With regard to the lighting study, the main characteristics of street lighting were studied and, based on it, it was possible to analyze the different criteria for selection of luminaires, in order to determine the best arrangement of them along the thoroughfare. Subsequently, several models of LED luminaires were selected, with different characteristics, in order to conclude the ideal option to be implemented in the project. As in the first part, the protection of the lighting circuits was also dimensioned.

In summary, this project has as main objective to highlight the importance of the implementation of power distribution grids in low voltage and of street lighting, by installing LED luminaires. Throughout this work, it has been also demonstrated the continuous need of the protection of the facilities, so as to avoid as much as possible the various types of accidents and damages that are inherent in this type of infrastructure.

**Keywords:** Low Voltage; Power Distribution; Street Lighting; LED; Protection of the Facilities



## ÍNDICE

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>iii</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	<b>xvii</b>
<b>ABREVIATURAS</b> .....	<b>xix</b>
<b>SIMBOLOGIA</b> .....	<b>xxi</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Objetivos e Metodologia .....	2
1.3. Estrutura do Projeto .....	2
<b>2. CARACTERÍSTICAS DAS REDES SUBTERRÂNEAS DE BAIXA TENSÃO</b> .....	<b>5</b>
2.1. Introdução .....	5
2.2. Posto de Transformação – PT .....	5
2.2.1 Constituição de um PT .....	6
2.3. Postos de Transformação em Cabine .....	10
2.3.1. Postos de Transformação de Cabine Alta (PTCA) .....	10
2.3.2. Postos de Transformação de Cabine Baixa (PTCB) .....	12
2.4. Armários de Distribuição .....	12
2.4.1. Constituição de um Armário de Distribuição .....	13
2.4.2. Características dos Armários do Tipo X e Z .....	14
2.5. Características das Redes Elétricas Subterrâneas .....	15
2.5.1. Localização das Canalizações Enterradas .....	15
2.5.2. Tipos e secções mínimas dos condutores .....	16
2.5.3. Condições de Implementação dos Condutores .....	17
2.5.4. Variantes de Instalação de Redes Elétricas Subterrâneas .....	18
2.6. Ligação de Clientes em Baixa Tensão .....	20
2.6.1. Fronteira entre a Rede BT e a Instalação do Cliente .....	20
2.6.2. Materiais e Equipamentos .....	21
2.6.3. Fusíveis e Respetivas Bases .....	22
2.6.4. Caixas de Contagem .....	23

2.7. Conclusão.....	24
<b>3. DIMENSIONAMENTO DAS REDES DE BAIXA TENSÃO E RESULTADOS OBTIDOS NO CASO DE ESTUDO .....</b>	<b>25</b>
3.1. Introdução .....	25
3.2. Cálculo das Correntes de uma Rede Elétrica .....	26
3.3. Obtenção das Secções Normalizadas e Verificação do Critério de Aquecimento .....	27
3.3.1. Cálculo da Secção Normalizada do Primeiro Troço .....	27
3.3.2. Cálculo da Secção Normalizada dos Restantes Troços .....	27
3.3.3. Cálculo das Secções do Tipo Derivação .....	28
3.3.4. Verificação do Critério de Aquecimento .....	28
3.4. Verificação do Critério da Queda de Tensão .....	29
3.5. Proteção Contra Curto-circuitos .....	30
3.5.1. Comprimentos Máximos Protegidos Contra Curto-circuitos.....	31
3.6. Seletividade de Proteções.....	31
3.7. Resultados Obtidos do Dimensionamento das Redes BT do Caso de Estudo .....	32
3.7.1. Diagramas das Redes BT Presentes no Loteamento Industrial .....	32
3.7.2. Tabelas dos Resultados Obtidos das Redes BT .....	40
3.8. Conclusão.....	45
<b>4. ILUMINAÇÃO PÚBLICA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....</b>	<b>47</b>
4.1. Introdução .....	47
4.2. A Importância da Iluminação Pública e da Eficiência Energética que lhe está Associada.....	47
4.3. Programas para a Sustentabilidade Energética.....	48
4.4. Legislação em Vigor Associada à Iluminação Pública – EN13201.....	49
4.4.1. EN 13201-1 – Escolha das Classes de Iluminação.....	49
4.4.2. EN 13201-2 – Parâmetros Fotométricos Recomendados .....	57
4.4.3. EN 13201-3 – Cálculo dos parâmetros fotométricos .....	58
4.4.4. EN 13201-4 – Métodos de medição das performances fotométricas .....	58
4.5. Características Gerais das Lâmpadas Utilizadas na Iluminação Pública .....	58
4.5.1. Características Gerais de uma Lâmpada .....	59
4.5.2. Principais Tipos de Lâmpadas de Iluminação Pública .....	60
4.6. LED – Significado e Propriedades .....	64
4.7. Características das Luminárias do Tipo LED .....	66
4.8. Condições Normais de Serviço das Luminárias .....	69
4.8.1. Requisitos de Fixação.....	70
4.8.2. Classificação das Luminárias.....	70
4.9. Marcação das Luminárias .....	71

4.9.1. Generalidades .....	71
4.9.2. Características Fotométricas .....	71
4.10. Módulo de LEDs e Luminárias .....	74
4.11. <i>Driver</i> de LEDs .....	75
4.12. LED – Fatores Essenciais .....	76
4.13. Características da Iluminação Pública quanto à Distribuição das Luminárias ..	77
4.13.1. Posteação unilateral .....	77
4.13.2. Posteação bilateral alternada .....	78
4.13.3. Posteação bilateral frente a frente .....	78
4.13.4. Posteação no canteiro central .....	79
4.14. Conclusão .....	80
<b>5. ESTUDO LUMINOTÉCNICO EFETUADO E RESULTADOS OBTIDOS.....</b>	<b>81</b>
5.1. Introdução .....	81
5.2. Critérios de seleção das luminárias para o estudo de caso .....	81
5.2.1. Determinação da classe ME .....	81
5.3. Características das luminárias selecionadas para o estudo de caso .....	84
5.4. Análise dos resultados obtidos .....	89
5.4.1. Luminária Akila Road .....	89
5.4.2. Luminária Piano .....	95
5.4.3. Luminária Yoa .....	100
5.5. Conclusão .....	109
<b>6. CONCLUSÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>111</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>113</b>
<b>ANEXO I .....</b>	<b>117</b>
<b>ANEXO II .....</b>	<b>119</b>
<b>ANEXO III .....</b>	<b>121</b>
<b>ANEXO IV.....</b>	<b>123</b>
<b>ANEXO V.....</b>	<b>125</b>
<b>ANEXO VI.....</b>	<b>127</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b> - Esquema típico relativo ao princípio de funcionamento de um posto de transformação [Preza de Araújo, 2011] .....	6
<b>Figura 2.2.</b> - Esquema típico de um isolador de apoio [Preza de Araújo, 2009].....	6
<b>Figura 2.3. (a) e (b)</b> – Esquema típico referente a isolador de passagem para interior (a); Esquema típico referente a isolador de passagem para entrada nos P.T. (b) [Preza de Araújo, 2009].....	7
<b>Figura 2.4.</b> - Esquema típico de um condutor para barramentos [Preza de Araújo, 2009] .....	7
<b>Figura 2.5.</b> - Esquema típico de um corta-circuitos fusíveis [Preza de Araújo, 2009].....	8
<b>Figura 2.6.</b> - Esquema típico de um disjuntor tripolar [Preza de Araújo, 2009] .....	8
<b>Figura 2.7.</b> - Esquema típico de um interruptor típico [Preza de Araújo, 2009].....	9
<b>Figura 2.8.</b> - Esquema típico de um seccionador típico [Preza de Araújo, 2009] .....	9
<b>Figura 2.9.</b> - Posto de transformação em cabine alta.....	10
<b>Figura 2.10.</b> - Esquemas unifilares típicos dos postos do tipo CA1 (à esquerda) e CA2 (à direita) [Ribeiro da Silva, 2009].....	11
<b>Figura 2.11.</b> - PT típico de cabine baixa (à esquerda) e Esquema unifilar típico de um PTCB (à direita) [Ribeiro da Silva, 2009].....	12
<b>Figura 2.12.</b> - Esquema relativo aos tipos de armários X e Z, com destaque para o número de saídas de cada um [EDP, 2007] .....	13
<b>Figura 2.13.</b> - Esquema relativo à constituição de um armário de distribuição típico [Neves dos Santos e Ferreira, 2004] .....	14
<b>Figura 2.14.</b> - Esquema típico da canalização colocada diretamente no solo [Guia Técnico Solidal, 2010] .....	18
<b>Figura 2.15.</b> - Esquema típico da canalização em caleiras [Guia Técnico Solidal, 2010] .....	19
<b>Figura 2.16.</b> - Esquema típico da canalização em tubos [Guia Técnico Solidal, 2010].....	20
<b>Figura 2.17.</b> - Esquema de ligação de um cliente [EDP, 2015] .....	21
<b>Figura 3.1.</b> - Planta referente ao loteamento industrial (Anexo I).....	25
<b>Figura 3.2.</b> - Rede de baixa tensão nº 1 (Anexo I).....	33
<b>Figura 3.3.</b> - Esquema relativo à rede de baixa tensão nº 1, com as respectivas correntes associadas a cada lote (Esquema Unifilar em Anexo IV) .....	33
<b>Figura 3.4.</b> - Rede de baixa tensão nº 2 (Anexo I).....	34
<b>Figura 3.5.</b> - Esquema relativo à rede de baixa tensão nº 2, com as respectivas correntes associadas a cada lote (Esquema Unifilar em Anexo IV) .....	34
<b>Figura 3.6.</b> - Rede de baixa tensão nº 3 (Anexo I).....	35
<b>Figura 3.7.</b> - Esquema relativo à rede de baixa tensão nº 3, com as respectivas correntes associadas a cada lote (Esquema Unifilar em Anexo IV) .....	35
<b>Figura 3.8.</b> - Rede de baixa tensão nº 4 (Anexo I).....	36
<b>Figura 3.9.</b> - Esquema relativo à rede de baixa tensão nº 4, com as respectivas correntes associadas a cada lote (Esquema Unifilar em Anexo IV) .....	36
<b>Figura 3.10.</b> - Rede e baixa tensão nº 5 (Anexo I).....	37
<b>Figura 3.11.</b> - Esquema relativo à rede de baixa tensão nº 5, com as respectivas correntes associadas a cada lote (Esquema Unifilar em Anexo IV) .....	37
<b>Figura 3.12.</b> - Rede de baixa tensão nº 6 .....	38
<b>Figura 3.13.</b> - Esquema relativo à rede de baixa tensão nº 6, com as respectivas correntes associadas a cada lote (Esquema Unifilar em Anexo IV) .....	38
<b>Figura 3.14.</b> - Rede de baixa tensão nº 7 (Anexo I).....	39

<b>Figura 3.15.</b> - Esquema relativo à rede de baixa tensão nº 7, com as respectivas correntes associadas a cada lote (Esquema Unifilar em Anexo IV) .....	39
<b>Figura 4.1.</b> - Lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão [Silva, 2014].....	60
<b>Figura 4.2.</b> - Lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão [Silva, 2014].....	61
<b>Figura 4.3.</b> - Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão [Santos, 2011] .....	62
<b>Figura 4.4.</b> - Exemplo de luminária LED .....	63
<b>Figura 4.5.</b> - Esquema típico de um LED .....	65
<b>Figura 4.6.</b> - Luminária do tipo LED – aplicação na rede subterrânea .....	74
<b>Figura 4.7.</b> - Luminária do tipo LED – aplicação na rede aérea .....	74
<b>Figura 4.8.</b> - <i>Driver</i> de LEDs.....	76
<b>Figura 4.9.</b> - Configuração típica para projetos especiais IP [CEMIG, 2012] .....	77
<b>Figura 4.10.</b> - Posteação unilateral [CEMIG, 2012].....	78
<b>Figura 4.11.</b> - Posteação bilateral alternada [CEMIG, 2012].....	78
<b>Figura 4.12.</b> - Posteação bilateral frente a frente [CEMIG, 2012] .....	78
<b>Figura 4.13.</b> - Posteação no canteiro central [CEMIG, 2012].....	79
<b>Figura 4.14.</b> - Posteação central com poste chicote [CEMIG, 2012].....	79
<b>Figura 4.15.</b> - Posteação central em canteiros maior que 6 metros [CEMIG, 2012].....	80
<b>Figura 5.1.</b> - Luminária do tipo Akila Road .....	84
<b>Figura 5.2.</b> - Diagrama polar .....	85
<b>Figura 5.3.</b> - Diagrama Isolux .....	85
<b>Figura 5.4.</b> - Luminária do tipo Piano .....	86
<b>Figura 5.5.</b> - Diagrama polar .....	86
<b>Figura 5.6.</b> - Diagrama Isolux .....	86
<b>Figura 5.7.</b> - Luminária do tipo Yoa.....	87
<b>Figura 5.8.</b> - Diagrama polar .....	88
<b>Figura 5.9.</b> - Diagrama Isolux .....	88
<b>Figura 5.10.</b> - Planta referente ao loteamento industrial (Anexo I).....	89
<b>Figura 5.11.</b> - Dois exemplos de resultados de luminância e uniformidade de uma estrada (à esquerda) e de um passeio (à direita) (Anexo V) .....	90
<b>Figura 5.12.</b> - Distribuição de cores falsas pelas estradas (Anexo I) .....	91
<b>Figura 5.13.</b> - Legenda relativa à distribuição de cores falsas.....	91
<b>Figura 5.14.</b> - Distribuição de cores falsas pelos passeios de parte do loteamento (Anexo I) .....	92
<b>Figura 5.15.</b> - Legenda relativa à distribuição de cores falsas.....	92
<b>Figura 5.16.</b> – Perspetiva 3D da planta do loteamento industrial referente à luminária do tipo Akila Road (Anexo V).....	93
<b>Figura 5.17.</b> – Imagem 1 em 3D correspondente a um cruzamento do loteamento com algumas luminárias do tipo Akila Road (Anexo V) .....	94
<b>Figura 5.18.</b> – Imagem 2 em 3D correspondente a um cruzamento do loteamento com algumas luminárias do tipo Akila Road (Anexo V) .....	94
<b>Figura 5.19.</b> Imagem 3 em 3D correspondente a uma reta do loteamento com algumas luminárias do tipo Akila Road (Anexo V) .....	94
<b>Figura 5.20.</b> - Dois exemplos de resultados de luminância e uniformidade de uma estrada (à esquerda) e de um passeio (à direita) (Anexo V) .....	95
<b>Figura 5.21.</b> - Distribuição de cores falsas pelas estradas (Anexo I) .....	96
<b>Figura 5.22.</b> - Legenda relativa à distribuição de cores falsas.....	96
<b>Figura 5.23.</b> - Distribuição de cores falsas pelos passeios de parte do loteamento (Anexo I) .....	97
<b>Figura 5.24.</b> - Legenda relativa à distribuição de cores falsas.....	97
<b>Figura 5.25.</b> - Perspetiva 3D da planta do loteamento industrial referente à luminária do tipo Piano (Anexo V).....	98
<b>Figura 5.26.</b> – Imagem 1 em 3D correspondente a um cruzamento do loteamento com algumas luminárias do tipo Piano (Anexo V) .....	99

<b>Figura 5.27.</b> Imagem 2 em 3D correspondente a um cruzamento do loteamento com algumas luminárias do tipo Piano (Anexo V).....	99
<b>Figura 5.28.</b> Imagem 3 em 3D correspondente a um reta do loteamento com algumas luminárias do tipo Piano (Anexo V).....	99
<b>Figura 5.29.</b> - Dois exemplos de resultados de luminância e uniformidade de uma estrada (à esquerda) e de um passeio (à direita) (Anexo V) .....	100
<b>Figura 5.30.</b> - Distribuição de cores falsas pelas estradas (Anexo I) .....	101
<b>Figura 5.31.</b> - Legenda relativa à distribuição de cores falsas.....	101
<b>Figura 5.32.</b> - Distribuição de cores falsas pelos passeios de parte do loteamento (Anexo I) .....	102
<b>Figura 5.33.</b> - Legenda relativa à distribuição de cores falsas.....	102
<b>Figura 5.34.</b> - Perspetiva 3D da planta do loteamento industrial referente à luminária do tipo Yoa (Anexo V) .....	103
<b>Figura 5.35.</b> – Imagem 1 em 3D correspondente a um cruzamento do loteamento com algumas luminárias do tipo Yoa (Anexo V).....	104
<b>Figura 5.36.</b> - Imagem 2 em 3D correspondente a um cruzamento do loteamento com algumas luminárias do tipo Yoa (Anexo V).....	104
<b>Figura 5.37.</b> - Imagem 3 em 3D correspondente a uma reta do loteamento com algumas luminárias do tipo Yoa (Anexo V) .....	104
<b>Figura 5.38.</b> - Mapeamento dos locais associados aos resultados da tabela 5.5. (Anexo V) .....	106
<b>Figura 5.39.</b> - Imagem 1 correspondente a uma perspetiva 3D do loteamento (Anexo V)...	107
<b>Figura 5.40.</b> - Imagem 2 correspondente a uma perspetiva 3D do loteamento (Anexo V)...	107
<b>Figura 5.41.</b> - Imagem 3 correspondente a uma perspetiva 3D do loteamento (Anexo V)...	108
<b>Figura 5.42.</b> - Imagem 4 correspondente a uma perspetiva 3D do loteamento (Anexo V)...	108



## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 2.1.</b> - Dimensões interiores das cabines dos PTCA [Ribeiro da Silva, 2009] .....	11
<b>Tabela 2.2.</b> - Potência instalada dos transformadores [Ribeiro da Silva, 2009].....	11
<b>Tabela 2.3.</b> - Dimensões interiores das cabines dos PTCB [Ribeiro da Silva, 2009].....	12
<b>Tabela 2.4.</b> - Secções nominais mínimas dos condutores de fase [RSRDEEBT, 2006] .....	16
<b>Tabela 2.5.</b> - Quadro referente aos tipos de cabos e respetivos códigos habitualmente utilizados em redes de baixa tensão [Neves dos Santos e Ferreira, 2004] .....	17
<b>Tabela 2.6.</b> - Características dos diferentes tipos de portinholas [EDP, 2007] .....	22
<b>Tabela 3.1.</b> - Tabela correspondente à distribuição dos lotes por cada troço de cada rede elétrica, e cálculo das correntes em cada um dos mesmos bem como das respetivas derivações existentes .....	41
<b>Tabela 3.2.</b> - Tabela correspondente às secções obtidas de cada troço e à verificação do critério de aquecimento .....	42
<b>Tabela 3.3.</b> - Tabela correspondente à verificação do critério da queda de tensão.....	43
<b>Tabela 3.4.</b> - Tabela correspondente aos tempos de proteção contra curto-circuitos.....	44
<b>Tabela 4.1.</b> - Categorias de via e os respetivos tipos [Armínio Teixeira] [CEN, 2004].....	51
<b>Tabela 4.2.</b> - Nível de luminância média (cd/m <sup>2</sup> ) para vias interurbanas [Armínio Teixeira] [CEN, 2015] .....	52
<b>Tabela 4.3.</b> - Nível de luminância média (cd/m <sup>2</sup> ) para vias urbanas [Armínio Teixeira] [CEN, 2015].....	53
<b>Tabela 4.4.</b> - Nível de iluminância média (lux) em vias urbanas [Armínio Teixeira] [CEN, 2015].....	54
<b>Tabela 4.5.</b> - Nível de iluminância média (lux) em vias urbanas [Armínio Teixeira] [CEN, 2015].....	55
<b>Tabela 4.6.</b> - Nível de iluminância média (lux) em vias rurais [Armínio Teixeira] [CEN, 2015].....	56
<b>Tabela 4.7.</b> - Classificação do Índice de Reprodução de Cores (IRC) [Santos, 2011].....	59
<b>Tabela 4.8.</b> - Comparação das características dos vários tipos de lâmpadas [Santos, 2011]...	66
<b>Tabela 4.9.</b> - Tipo de luminárias normalizadas sem integração de sistemas de regulação de fluxo (luminárias comuns) [EDP, 2013] .....	68
<b>Tabela 4.10.</b> - Tipo de luminárias normalizadas com integração de sistemas de regulação de fluxo [EDP, 2013] .....	69
<b>Tabela 4.11.</b> - Características elétricas da rede [EDP, 2013] .....	70
<b>Tabela 4.12.</b> - Características fotométricas das luminárias sem integração de sistema de regulação de fluxo (luminárias comuns) [EDP, 2013] .....	72
<b>Tabela 4.13.</b> - Características fotométricas das luminárias com integração de sistema de regulação de fluxo [EDP, 2013] .....	73
<b>Tabela 5.1.</b> - Tabela para a determinação da classe ME [Documento de Referência EDP, 2011].....	82
<b>Tabela 5.2.</b> - Classes de via ME [Documento de Referência EDP, 2011] .....	83
<b>Tabela 5.3.</b> - Valores de Luminância de cada luminária (Anexo V) .....	95
<b>Tabela 5.4.</b> - Valores de Luminância de cada luminária (Anexo V) .....	100
<b>Tabela 5.5.</b> - Valores de Luminância de cada luminária (Anexo V) .....	105
<b>Tabela 5.6.</b> - Valores de referência associados às luminárias de algumas das estradas e passeios do loteamento industrial (Anexo V).....	106



## ABREVIATURAS

BT – Baixa Tensão	PEX – Polietileno Reticulado
CEN – <i>Comité Européen de Normalisation</i>	PT – Posto de Transformação
CENELEC – <i>European Committee for Electrotechnical Standardization</i>	PTS – Posto de Transformação e Seccionamento
CO <sup>2</sup> – Dióxido de Carbono	PVC – Policloreto de Vinilo
DLOR - <i>Downward Light Output Ratio</i>	RGB – Sistema de cores aditivas composto pelas cores vermelho, verde e azul – <b>Red/Green/Blue</b>
EDP – Energias de Portugal	RSRDEEBT - Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Elétrica de Baixa Tensão
EN – Norma Europeia	SMD – <i>Surface-mount Device</i>
ENE 2020 – Estratégia Nacional de Energia 2020	SPD – <i>Surge Protective Devices</i>
HPM - <i>High Pressure Mercury Vapor Lamp</i>	SR – <i>Surround Ratio</i>
HPS - <i>High Pressure Sodium</i>	TI – <i>Threshold Increment</i>
IEC – <i>International Electrotechnical Commission</i>	Uo - Uniformidade Geral
IP – Iluminação Pública	UE – União Europeia
IRC – Índice de Restituição de Cor	UL - Uniformidade Longitudinal
LED – <i>Light Emitting Diode</i>	ULOR - <i>Upward Light Output Ratio</i>
LOR - <i>Light Output Ratio</i>	
LPS - <i>Low Pressure Sodium</i>	
LVS – Alma em Alumínio	
LXS – Torçada com Alma em Alumínio	
MT – Média Tensão	
PE – Policloreto	



## SIMBOLOGIA

$C$  – Coeficiente de Simultaneidade

$\cos \varphi$  – Fator de Potência

$I_a / I_B$  – Corrente de Serviço na Canalização [A]

$I_{cc}$  – Corrente de Curto-circuito [A]

$I_f$  – Corrente Máxima Convencional de Funcionamento do Aparelho de Proteção [A]

$I_n$  – Corrente Nominal do Fusível [A]

$I_s$  – Corrente de Serviço [A]

$I_z$  – Corrente Máxima Admissível na Canalização [A]

$J_{na}$  – Corrente de um determinado trecho de uma rede BT, em que  $n$  corresponde ao número do respectivo trecho [A]

$k$  – Alma Condutora

$l$  – Comprimento [m]

$L_F$  - Comprimento de Fase [km]

$L_N$  - Comprimento de Neutro [km]

$R_{20^\circ}$  - Resistência dos Condutores a  $20^\circ$  [ $\Omega/\text{km}$ ]

$R_{90^\circ}$  - Resistência dos Condutores a  $90^\circ$  [ $\Omega/\text{km}$ ]

$R_F$  – Resistência de Fase [mH/km]

$R_N$  – Resistência de Neutro [ $\Omega$ ]

$S$  – Secção do Condutor [ $\text{mm}^2$ ]

$S_n$  – Secção Normalizada [ $\text{mm}^2$ ]

$t$  – Tempo de Corte do Aparelho de Proteção [s]

$t_{ap}$  – Tempo de Atuação de Proteção [s]

$t_{ft}$  – Tempo de Fadiga Térmica [s]

$U_c$  – Tensão Composta [V]

$\alpha$  – Coeficiente de Termo Resistividade do Cobre [ $^\circ\text{C}^{-1}$ ]

$\Sigma$  – Somatório

$\rho$  – Resistividade

$\Delta U$  – Queda de Tensão [V]



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento

No dia-a-dia verifica-se, com bastante facilidade, a constante necessidade de energia elétrica nos mais variados aspetos, desde as necessidades mais básicas de luz, passando pelos variados dispositivos eletrónicos que temos à disposição, bem como a sua utilização em veículos elétricos (que consistem numa das mais promissoras tecnologias para o futuro). Para tudo isto, as redes de distribuição de energia elétrica constituem o elemento essencial por forma a haver energia elétrica à disposição de todos e para as mais diversas necessidades.

Para que tal seja possível, é essencial o processo de distribuição de energia elétrica, correspondente à etapa final do fornecimento da mesma. Assim, inicialmente, temos o processo de produção de energia (realizado através de uma fonte de origem fóssil ou não), seguido da transmissão de energia, em que esta é transportada pelas linhas de alta tensão, e, posteriormente, a etapa de distribuição, por a forma a permitir o consumo de energia de todos os clientes. Esta última pode ser feita através do uso de postes (quando se trata de zonas rurais ou suburbanas), ou, redes subterrâneas, cuja instalação é feita por canais subterrâneos, o que acontece em zonas urbanas e outras que os regulamentos exijam. Para fazer chegar a eletricidade a cada cliente, existe um conjunto de elementos característicos do processo de distribuição, tais como: postos de transformação, armários de distribuição, diferentes cablagens, quadro elétricos, e, de forma, a garantir a segurança de todos, a devida aparelhagem de proteção (fusíveis).

Uma das formas mais comuns das diferentes aplicações da energia elétrica consiste na iluminação pública, essencial à qualidade de vida dos centros urbanos. Esta permite, sobretudo, aos cidadãos usufruir dos diferentes locais públicos no período noturno de forma mais segura; além disso, previne a criminalidade, embeleza as variadas áreas urbanas, destaca e valoriza as habitações, paisagens e os monumentos, e orienta os mais diversos percursos.

Os tipos de lâmpadas mais comuns utilizadas no sistema de iluminação pública são: as lâmpadas de vapor de mercúrio, as lâmpadas de vapor de sódio e as lâmpadas LED. Destas, a tecnologia LED é a mais recente e melhor, sendo cada vez mais utilizada nos dias de hoje, de tal forma, que tem vindo a substituir progressivamente as outras mencionadas, nomeadamente as de vapor de mercúrio uma vez que têm um impacto bastante negativo na saúde e no ambiente. Em consequência, a comercialização das mesmas passou mesmo a ser proibida.

Gradualmente, tem-se vindo a constatar uma forte evolução da qualidade dos sistemas de iluminação pública, o que se traduz numa significativa melhoria da imagem dos locais públicos, favorecendo, inclusive, diversas oportunidades de negócio como o comércio, lazer e turismo. Por conseguinte, tem-se verificado a cultura do uso eficiente e racional da energia elétrica, contribuindo substancialmente para o desenvolvimento social e económico da população.

## 1.2. Objetivos e Metodologia

Este trabalho teve como objetivo o estudo da distribuição da rede elétrica de baixa tensão, atuação das proteções e a respetiva distribuição luminotécnica, num loteamento industrial. Para tal, formularam-se os seguintes objetivos:

- Estudar a legislação que está inerente aos pontos acima referidos, através de bibliografia variada.
- Analisar os diferentes tipos de cablagens a implementar, bem como as proteções associadas aos mesmos, através do estudo dos diferentes métodos de cálculo das redes de baixa tensão.
- Simular, com o auxílio do *software* DIALux evo 6, três diferentes tipos de luminárias LED, por forma a compará-las e, assim, concluir qual a ideal para o projeto.

## 1.3. Estrutura do Projeto

Para uma melhor compreensão do trabalho, este foi dividido em 6 capítulos nos quais são devidamente abordados os objetivos definidos. Assim, primeiramente, no presente capítulo – Introdução – são referidas as considerações gerais acerca do projeto em geral, seguida de uma súmula acerca da história da tecnologia LED; posteriormente são, igualmente, referidos os objetivos do projeto.

No segundo capítulo são referidos os diferentes elementos que fazem parte de uma rede típica de baixa tensão, bem como a respetiva legislação que está associada às redes subterrâneas de baixa tensão. Também é abordado o modo como se efetua a ligação de clientes em baixa tensão.

No terceiro capítulo encontra-se a explicação relativamente aos diferentes métodos de cálculo para o conveniente dimensionamento de redes de baixa tensão, que vai desde a obtenção das variadas correntes de uma dada rede até à respetiva proteção contra curto-circuitos. Neste capítulo encontram-se, também, os esquemas das redes de baixa tensão bem como os resultados obtidos relativos ao dimensionamento das mesmas.

No quarto capítulo aborda-se, inicialmente, a importância da iluminação pública e da eficiência energética na sociedade, tal como programas para a sustentabilidade energética e a legislação em vigor para iluminação pública. Em seguida, são dadas a conhecer as diferentes características dos tipos de lâmpadas mais comuns da iluminação pública, sendo, posteriormente, abordada e destacada a temática acerca da tecnologia LED, desde a sua definição até às características da mesma. Por fim, encontram-se descritas as principais características da iluminação pública, relativamente à forma como se distribuem as luminárias.

No quinto capítulo encontra-se descrita a segunda parte do estudo de caso do projeto, ou seja, a análise luminotécnica da iluminação pública do loteamento. Inicialmente, são mencionados os diferentes critérios de seleção das luminárias, seguidos das características relativamente às

três luminárias selecionadas da Schréder. Posteriormente são apresentados os resultados obtidos das mesmas, entre os quais, valores calculados pelo *software* utilizado e diferentes imagens obtidas através do mesmo, em modo 2D e 3D.

Por fim, no sexto capítulo são apresentadas as principais conclusões deste trabalho e as perspectivas de trabalhos futuros.



## 2. CARACTERÍSTICAS DAS REDES SUBTERRÂNEAS DE BAIXA TENSÃO

### 2.1. Introdução

Tipicamente, numa rede de baixa tensão encontram-se variados elementos necessários ao procedimento habitual neste contexto, que vai desde a transformação de energia de média tensão para baixa tensão (através de um posto de transformação), até ao momento em que esta é conduzida para os diferentes armários de distribuição de um dado local. A primeira parte do projeto tem, assim, por base, a distribuição elétrica em baixa tensão (BT – 230 V/400 V) ao longo de um conjunto de 69 lotes que compõem o loteamento industrial em questão. Para tal recorreu-se ao *software* AutoCAD 2016 para implementar os diferentes elementos base deste tipo de instalação, entre os quais: três postos de transformação, vinte e oito armários de distribuição, bem com uma vasta quantidade de cablagens subterrâneas, necessários para a constituição das sete diferentes redes que permitem realizar de forma ideal a distribuição elétrica no loteamento. Assim sendo, ao longo deste capítulo serão dados a conhecer os vários equipamentos e suas características, bem como o modo como estes se interligam, por forma a conhecer melhor o que está por detrás de todo o processo de distribuição elétrica num loteamento, tendo em conta as características associadas a este projeto.

### 2.2. Posto de Transformação – PT

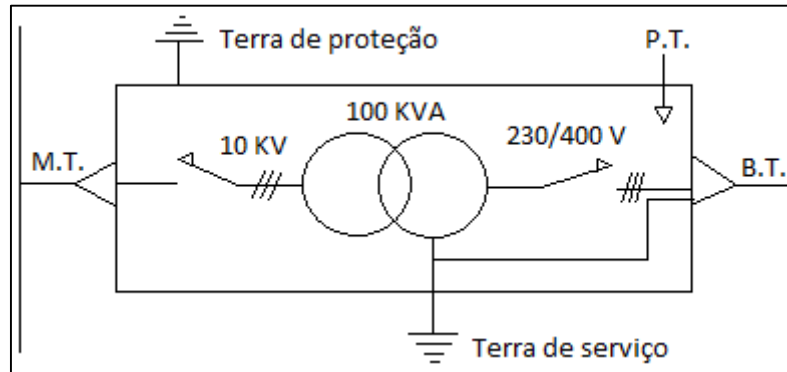
Nos postos de transformação, tipicamente, fazem-se chegar as linhas em média tensão (MT) que constituem a rede de distribuição, por forma a realizar-se a distribuição final em baixa tensão (BT) que vai alimentar diretamente o consumidor.

Tipicamente, num PT encontram-se os transformadores, que fazem a redução de MT para BT, bem como a aparelhagem de proteção, de seccionamento e medida. Desta forma, o princípio de funcionamento de um PT tem por base o primário do transformador que é alimentado pelo cabo trifásico em MT, e, por sua vez, pelo secundário sai um cabo com três fases e neutro em BT, o qual se destina a alimentar os vários lotes incluídos existentes [Preza de Araújo, 2011].

Os postos de transformação e os compartimentos onde se encontram os transformadores devem ser devidamente ventilados. Assim, deve haver uma entrada de ar frio, perto do transformador e junto ao solo, e uma saída de ar aquecido, junto à cobertura [Preza de Araújo, 2009].

Este projeto possui, assim, três postos de transformação, sendo um deles de transformação e seccionamento (PTS), em que dois possuem um potência nominal de 630 kVA e um 800 kVA.

A figura 2.1. representa um esquema simplificado de um transformador de baixa tensão.



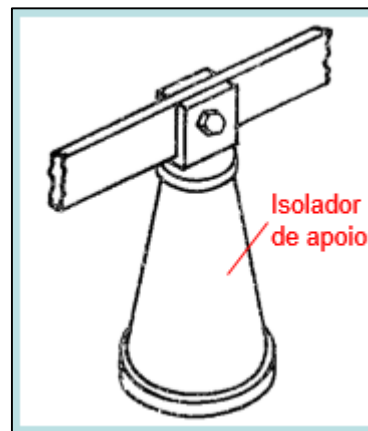
**Figura 2.1.** - Esquema típico relativo ao princípio de funcionamento de um posto de transformação [Preza de Araújo, 2011]

### 2.1.1 Constituição de um PT

Um PT é constituído por 5 tipos de elementos essenciais, entre eles:

#### Isoladores de apoio

A figura 2.2. ilustra um isolador típico de apoio de um PT.

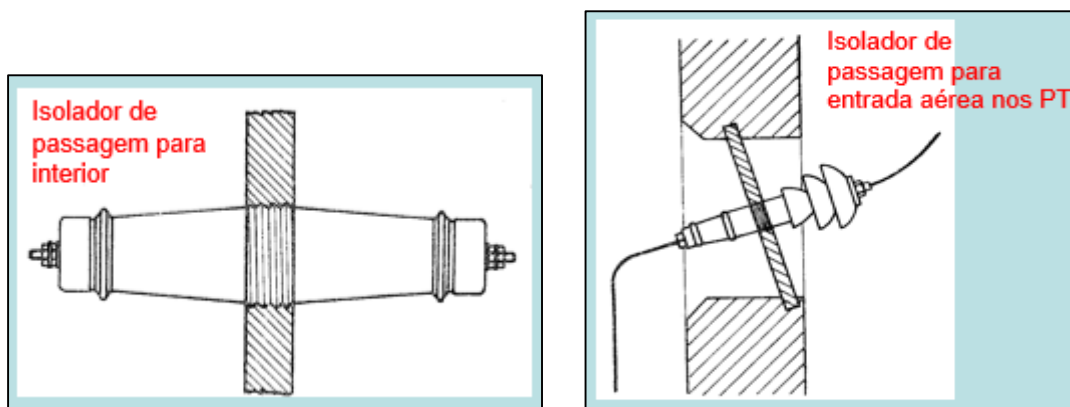


**Figura 2.2.** - Esquema típico de um isolador de apoio [Preza de Araújo, 2009]

Os isoladores de apoio são, por norma, de porcelana. Podem ter a superfície lateral lisa ou com filetes, sendo estes últimos utilizados, particularmente, em zonas muito húmidas ou sujeitas a poeiras.

#### Isoladores de passagem

As figuras 2.3. (a) e (b) correspondem a dois isoladores típicos de passagem para interior e para entrada aérea num posto de transformação.

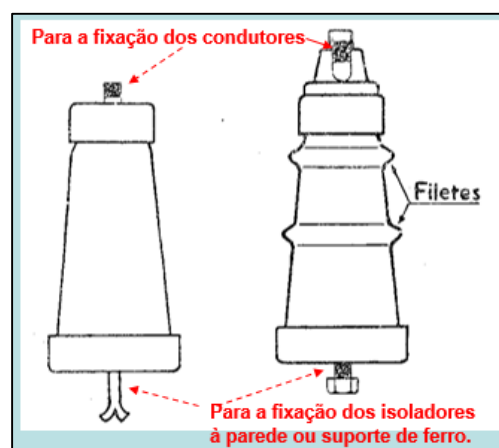


**Figura 2.3.** (a) e (b) – Esquema típico referente a isolador de passagem para interior (a); Esquema típico referente a isolador de passagem para entrada nos P.T. (b) [Preza de Araújo, 2009]

Este tipo de isoladores são geralmente, também, em porcelana. Estes são furados em todo o seu comprimento para permitirem a colocação do condutor que os atravessa de topo a topo

### Condutores para barramentos

A figura 2.4. representa um condutor típico para barramentos.



**Figura 2.4.** - Esquema típico de um condutor para barramentos [Preza de Araújo, 2009]

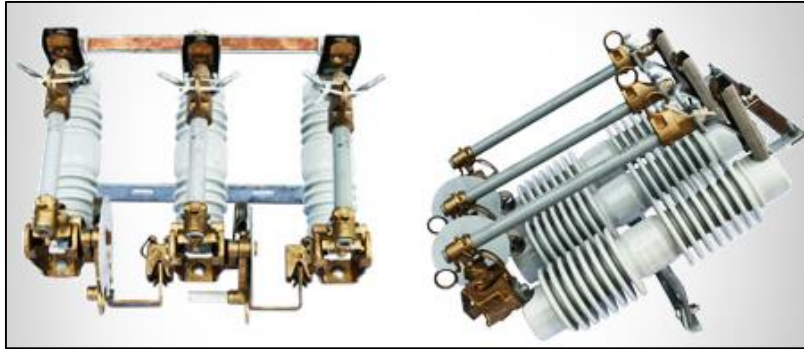
Os condutores para barramentos são geralmente de cobre, e de secção circular ou retangular. Nos postos de transformação os barramentos e os circuitos de terra devem ser pintados com as seguintes cores:

- Corrente trifásica - fases de cor vermelha, verde e amarela;
- Terra de proteção - de cor preta;
- Terra de serviço e neutro - de cor branca.

## Órgãos de proteção

- Corta-circuitos fusíveis:

A figura 2.5. ilustra um corta-fusíveis típico de um PT.



**Figura 2.5.** - Esquema típico de um corta-circuitos fusíveis [Preza de Araújo, 2009]

Os corta-circuitos fusíveis, para proteção contra sobreintensidades dos circuitos de média tensão e dos transformadores, possuem formato tubular e o fio calibrado é instalado no interior do tubo.

- Disjuntores:

A figura 2.6. corresponde a um disjuntor tripolar típico de um PT.



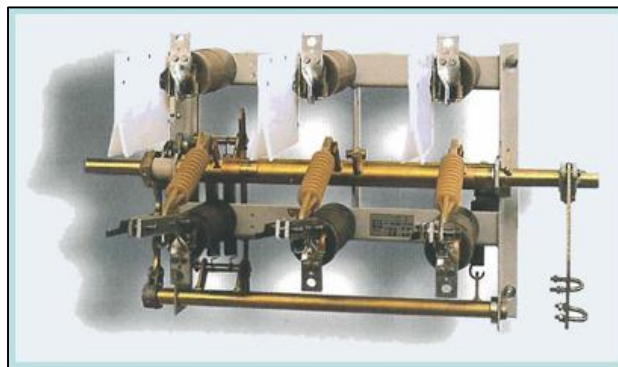
**Figura 2.6.** - Esquema típico de um disjuntor tripolar [Preza de Araújo, 2009]

Os disjuntores são interruptores cuja abertura do circuito se pode fazer automaticamente, protegendo os circuitos de sobreintensidades.

## Órgãos de seccionamento

- Interruptores:

A figura 2.7. representa um interruptor típico de um PT.

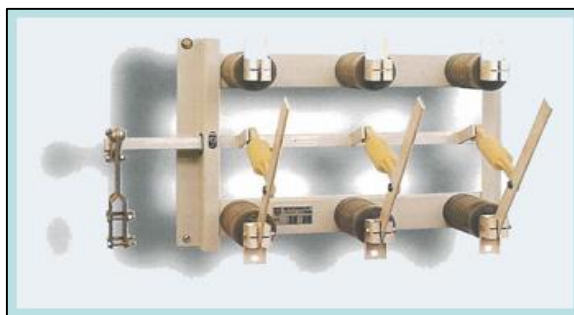


**Figura 2.7.** - Esquema típico de um interruptor típico [Preza de Araújo, 2009]

Os interruptores são aparelhos destinados a ligar ou a desligar um circuito em carga, dotados de poder de corte garantido, possuindo duas posições distintas, uma de abertura e outra de fecho, nas quais se mantêm sem a interferência de qualquer ação exterior.

- Seccionadores:

A figura 2.8. ilustra um seccionador típico de um PT.



**Figura 2.8.** - Esquema típico de um seccionador típico [Preza de Araújo, 2009]

Os seccionadores são aparelhos destinados a interromper ou a estabelecer a continuidade de um condutor ou a isolá-lo de outros condutores e que, por não terem poder de corte garantido, não devem ser manobrados em carga. Deste modo, os seccionadores devem ser manobrados apenas após a corrente ter sido desligada por um interruptor.

## 2.3. Postos de Transformação em Cabine

Os postos de transformação em cabine podem ser alimentados através de uma linha aérea ou através de um cabo subterrâneo, existindo, assim, dois tipos de postos típicos em cabine: a cabine alta e a cabine baixa, adaptados ao tipo de alimentação do posto.

### 2.3.1. Postos de Transformação de Cabine Alta (PTCA)

Estes postos de interior são concebidos para receberem alimentação por linha aérea, até tensões de 30 kV e potências até 630 kVA. Atualmente, já não se justifica a utilização deste tipo de PT, pois é muito fácil proceder-se à passagem da linha aérea a cabo subterrâneo e alimentar-se uma cabine baixa com arquitetura modular de posto de transformação. Existem dois tipos de posto de cabine alta: CA1 e CA2.

A figura 2.9. corresponde a um exemplo de um transformador em cabine alta.



**Figura 2.9.** - Posto de transformação em cabine alta

Na figura 2.10. encontram-se dois tipos de postos de cabine alta – CA1 e CA2 – bem como os respetivos esquemas unifilares.



### 2.3.2. Postos de Transformação de Cabine Baixa (PTCB)

Este tipo de postos, montados em cabines baixas, possui duas variantes consoante a disposição das suas celas for em U ou em linha, originando, assim, os tipos CBU (cabine baixa em U) e CBL (cabine baixa em linha). Neste caso, possuem alimentação subterrânea em anel, podendo haver uma saída radial; destinam-se a tensões inferiores ou iguais a 15 kV e potências até 630 kVA.

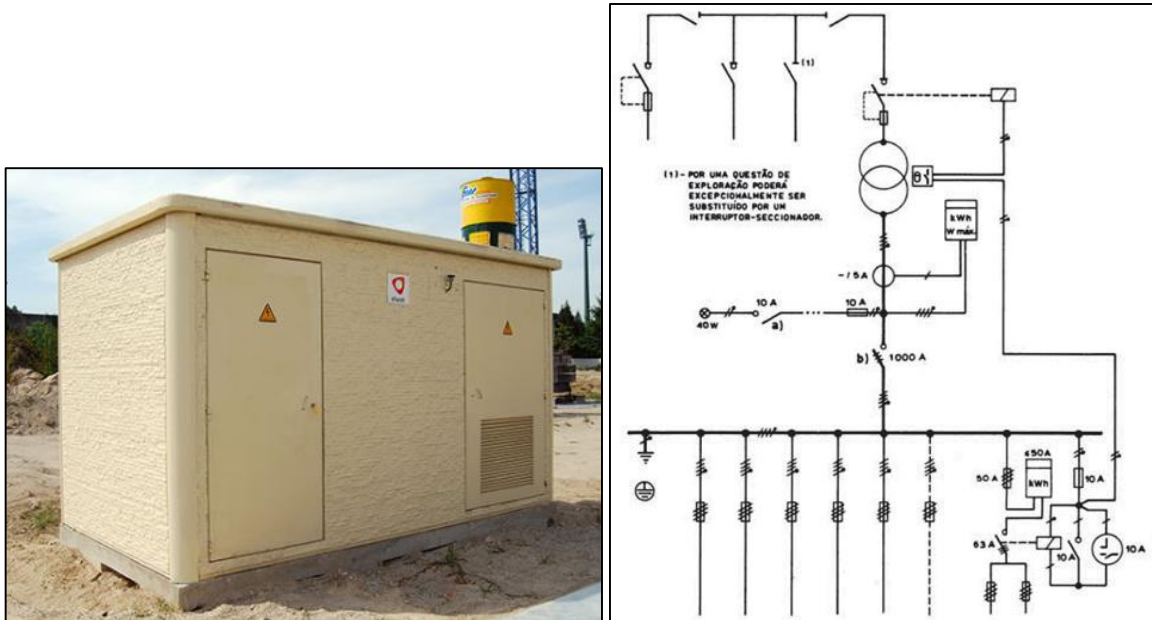
De acordo com a tabela 2.3., as dimensões da cabine são:

**Tabela 2.3.** - Dimensões interiores das cabines dos PTCB [Ribeiro da Silva, 2009]

Posto	Dimensões (m)
CBU	4,0 x 3,2 x 2,5 <sup>a</sup>
CBL com saída radial	5,3 x 2,5 x 2,5 <sup>a</sup>
CBL sem saída radial	4,3 x 2,5 x 2,5 <sup>a</sup>

Em que ‘a’ corresponde ao pé direito mínimo.

As imagens da figura 2.11. mostram um exemplo de um PT de cabine baixa e o esquema unifilar típico de um PTCB.



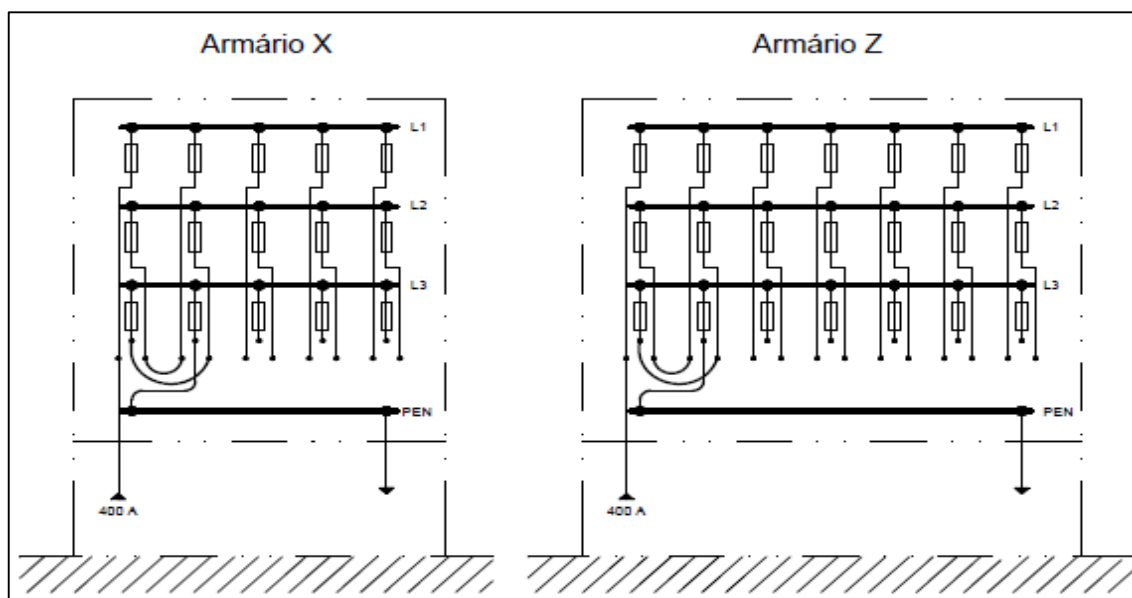
**Figura 2.11.** - PT típico de cabine baixa (à esquerda) e Esquema unifilar típico de um PTCB (à direita) [Ribeiro da Silva, 2009]

### 2.4. Armários de Distribuição

Os armários de distribuição são essenciais para se realizar convenientemente a distribuição de energia desde o PT até aos diferentes lotes existentes; os principais tipos de armários existentes

mais utilizados são do tipo X (com 5 saídas) e Z (com 7 saídas). Neste caso, o loteamento do projeto possui 28 armários de distribuição do tipo X. A informação relativa ao tipo de armários em questão está de acordo com a diretiva DMA-C62-801/N referente ao regulamento da EDP Distribuição, de maio de 2007.

A figura 2.12. ilustra os esquemas típicos de um armário do tipo X e de um armário do tipo Z.



**Figura 2.12.** - Esquema relativo aos tipos de armários X e Z, com destaque para o número de saídas de cada um [EDP, 2007]

#### 2.4.1. Constituição de um Armário de Distribuição

Um armário de distribuição é constituído, essencialmente, por 4 partes distintas:

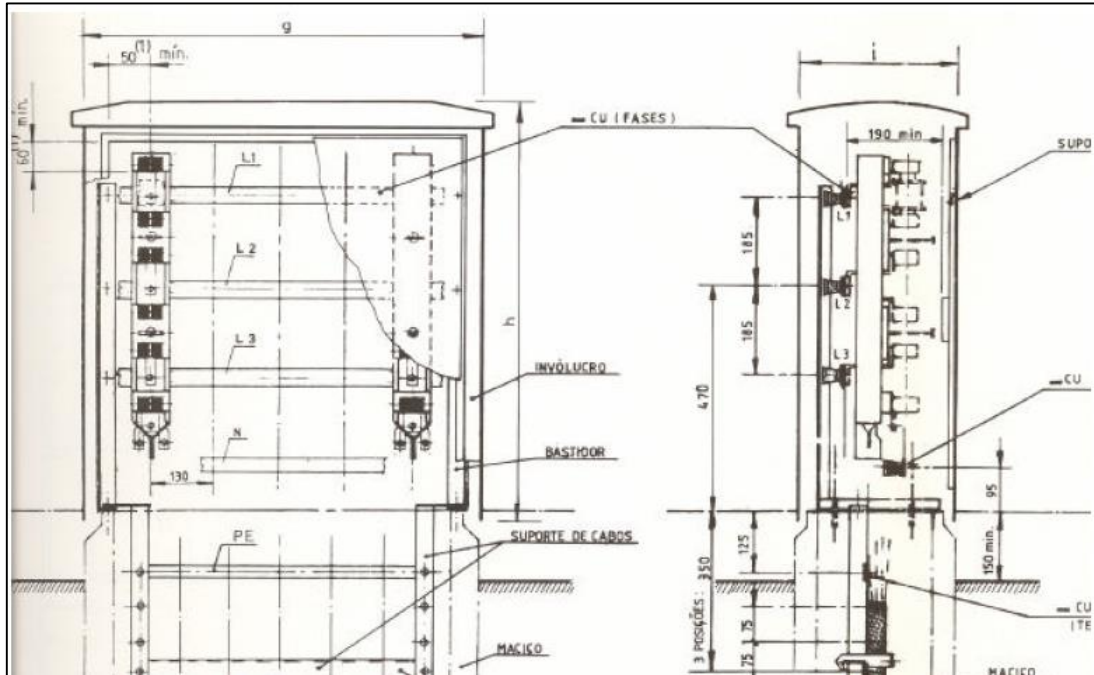
**Invólucro:** permite assegurar a proteção do equipamento instalado no seu interior, bem como a proteção de pessoas contra contactos de com peças sob tensão, e que, no caso dos armários do tipo W, X, Y e Z, se encontra fixado no bastidor;

**Bastidor:** serve de estrutura de suporte e de fixação do equipamento elétrico, bem como estrutura de suporte de invólucro, como foi acima referido. Desta forma, o bastidor fixa-se no maciço, ou, quando o armário é encastrado ou anichado, a fixação é feita na base da estrutura da parede, sendo separada do invólucro;

**Suporte de cabos:** destina-se ao suporte de cabos e fixa-se diretamente ao maciço ou, quando o armário é encastrado ou anichado, à base da estrutura da parede, sendo separável de ambos;

Maciço de fundação ou Maciço: possui forma e dimensões adequadas, a implantar diretamente no solo para garantir a estabilidade do armário e permitir a passagem dos cabos. O maciço apenas é necessário nos casos em que o armário se destina a ser instalado no solo.

Na figura 2.13. permite visualizar a constituição de um armário de distribuição.



**Figura 2.13.** - Esquema relativo à constituição de um armário de distribuição típico [Neves dos Santos e Ferreira, 2004]

#### 2.4.2. Características dos Armários do Tipo X e Z

Seguidamente, encontram-se descritas as diferentes características dos armários X e Z.

##### Características do armário X:

- Possui cinco circuitos equipados com triblocos<sup>1</sup> de tamanho 2;
- As dimensões da secção do barramento são de 40x5 mm nas fases e de 30x5 no neutro;

<sup>1</sup> Por definição, segundo a norma CEI 60269-2-1:2002, tribloco consiste na combinação de três bases fusíveis unipolares dispostas longitudinalmente numa só unidade. Um terminal de cada polo - “terminal de barramento” - é ligado diretamente a uma fase de um barramento tripolar. Os outros terminais, designados por “terminais de cabo”, são preparados para receber condutores exteriores (quer de entrada quer de saída).

- A distância entre barras de fase consecutivas deve ser de 185 mm entre eixos;
- A distância mínima entre triblocos consecutivos deve ser de 120 mm entre eixos;
- As porcas cravadas nas barras de fase são M12 para ligação e fixação dos triblocos;
- A barra de neutro contém seis porcas cravadas, das quais, cinco são M12 para ligação dos condutores neutros, e estão situadas sobre o eixo vertical dos triblocos, sendo a restante M8, situada numa das extremidades da barra, para ligação do suporte de cabos e do circuito de terra.

#### Características do armário Z:

- Possui sete circuitos equipados com sete triblocos de tamanho 2;
- As dimensões da secção do barramento são de 60x5 mm nas fases e de 30x5 no neutro;
- A distância entre barras de fase consecutivas deve ser de 185 mm entre eixos;
- A distância mínima entre triblocos consecutivos deve ser de 120 mm entre eixos;
- As porcas cravadas nas barras de fase são M12 para ligação e fixação dos triblocos;
- A barra de neutro contém oito porcas cravadas, das quais, sete são M12 para ligação dos condutores neutros, e estão situadas sobre o eixo vertical dos triblocos, sendo a restante M8, situada numa das extremidades da barra, para ligação do suporte de cabos e do circuito de terra.

## **2.5. Características das Redes Elétricas Subterrâneas**

Nos dias de hoje, as redes subterrâneas são a forma mais consensual de instalação de redes elétricas, pois são esteticamente mais adequadas comparativamente com as redes aéreas, uma vez que se encontram implementadas em valas e armários. Em contrapartida, este tipo de instalação possui a grande desvantagem de ser bastante mais dispendiosa relativamente à instalação de redes aéreas [Nelson Brás, 2011].

### **2.5.1. Localização das Canalizações Enterradas**

A profundidade mínima dos cabos, enfiados ou não em tubos, será de 0,70 metros, sendo que esta poderá ser reduzida em casos especiais cuja dificuldade de execução o justifique, sem qualquer prejuízo relativamente à devida proteção de cabos. A posição relativa deste tipo de canalizações, quando estabelecidas nos passeios, edifícios e outro género de canalizações

comuns (como águas, esgotos, gás, etc), será a fixada na respetiva especificação técnica. Esta norma encontra-se estipulada segundo o artigo 57º do capítulo V do Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Elétrica em Baixa Tensão (RSRDEEBT).

### 2.5.2. Tipos e secções mínimas dos condutores

Nas redes de distribuição subterrâneas apenas podem ser aplicados cabos rígidos com duas bainhas ou uma bainha reforçada, ou com um tipo de armadura com características não inferiores aos dos classificados sob o código 305 200 (nas vias em geral), de acordo com o artigo 53º do capítulo V do RSRDEEBT. Os condutores de fase deverão ter secções não inferiores às fixadas da tabela 2.4. ou secções eletricamente equivalentes, sendo que o neutro terá a secção nominal fixada na norma portuguesa em relação ao tipo de cabo empregado. No caso de se utilizarem cabos unipolares, a secção do neutro não deverá ser inferior à do neutro do cabo multipolar que possua secção de fase igual à dos cabos unipolares.

A tabela 2.4. contém as secções mínimas referentes aos diferentes condutores de fase.

**Tabela 2.4.** - Secções nominais mínimas dos condutores de fase  
[RSRDEEBT, 2006]

Tipo de canalização	Secções nominais (mm <sup>2</sup> )			
	Condutores nus		Condutores isolados e cabos	
	Cobre	Alumínio	Cobre	Alumínio
<b>Canalizações principais</b>	10	20	10	16
<b>Ramais</b>	-	-	6	16

Na tabela 2.5., com base no quadro 5.1 do RSRDEEBT, encontram-se os tipos de cabos, e respetivos códigos, mais usados em redes de distribuição:

**Tabela 2.5.** - Quadro referente aos tipos de cabos e respetivos códigos habitualmente utilizados em redes de baixa tensão [Neves dos Santos e Ferreira, 2004]

<b>Codificação dos condutores isolados e dos cabos mais usualmente utilizados em redes de distribuição (aéreas e subterrâneas) de energia elétrica em baixa tensão</b>			
<b>Flexibilidade</b>	<b>Tipo de condutor isolado ou cabo</b>	<b>Tensão nominal e qualquer outra característica</b>	<b>Codificação</b>
Rígido	VV-LVV-LSVV-1BN	0,6/1 kV – Bainha exterior de cor preta	305200
Rígido	VHV-BCV	0,6/1 kV – Bainha exterior de cor preta	305210
Rígido	PCV-LPCV-VAV-LVAV-LSVAV-VMV-LVMV-LSVMV-VRV-LVRV-LSVRV-PCAV-LPCAV-PCMV-LPCMV-PCRV-LPCRV	0,6/1 kV	307210
Rígido	VS-LVS-XS-LXS	0,6/1 kV	301200

### 2.5.3. Condições de Implementação dos Condutores

Nas redes de distribuição enterradas, os cabos terão de ter resistência mecânica suficiente ou deverão ser protegidos contra avarias como compressão ou abatimento de terras, devido ao contacto de corpos sólidos ou choque de ferramentas. Devem também ser dotados de bainha resistente à corrosão provocada pelo terreno, segundo o artigo 55º do capítulo V do RSRDEEBT.

Por forma a verificar-se o que foi anteriormente referido, poderá ser adotada uma das seguintes soluções:

- Utilização de cabos com armadura e de características não inferiores aos classificados sob o código 307 210 (ou seja, nas vias públicas);
- Utilização de cabos com blindagem ou bainha metálica, em bom contacto com o neutro, convenientemente ligado à terra, ou cabos com neutro concêntrico;
- Utilização de cabos com dupla bainha ou bainha reforçada e de dispositivos que assegurem uma proteção suplementar contra as ações mecânicas.

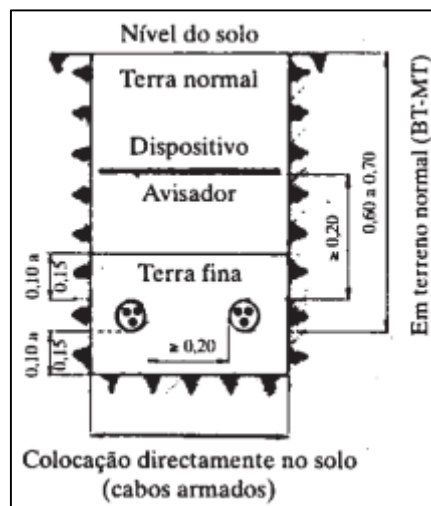
#### 2.5.4. Variantes de Instalação de Redes Elétricas Subterrâneas

Existem três diferentes topologias de implementação de cabos subterrâneos, entre elas:

- Cabos enterrados diretamente no solo:

Neste modelo, a proteção mecânica é assegurada pela utilização de cabos armados, de características não inferiores às dos cabos classificados sob o código 307210, de acordo com o artigo 55º do RSRDEEBT. Este tipo de cabos deve ser implementado em fundo de valas convenientemente preparado, sendo estas geralmente abertas ao longo das vias públicas, nos passeios sempre que possível, ficando os cabos envolvidos em areia apropriada ou em terra fina (artigo 56º). Em terrenos mais difíceis é permitido reduzir a profundidade de enterramento, ou seja poderão ser inferiores a 70 centímetros. Tendo em conta o artigo 58º, este tipo de canalizações deverão ser devidamente sinalizadas através de um dispositivo de aviso colocado acima das mesmas que se encontre: pelo menos a 10 centímetros, se constituído por tijolos, placas de betão, lousa ou materiais equivalentes; ou 20 centímetros, se constituído por redes metálicas ou de material plástico.

A figura. 2.14. representa o modelo de canalização enterrada diretamente no solo.



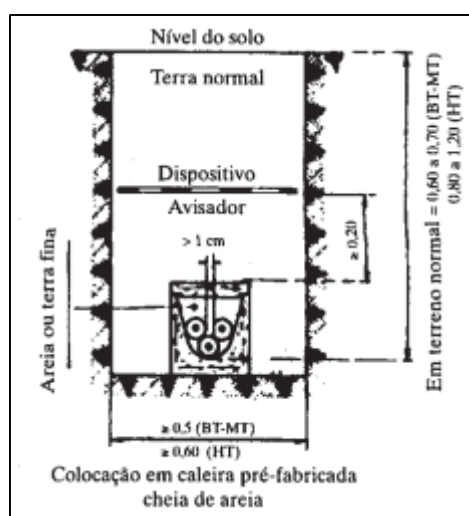
**Figura 2.14.** - Esquema típico da canalização colocada diretamente no solo [Guia Técnico Solidal, 2010]

- Cabos colocados em caleiras:

Neste modelo (de acordo com o guia técnico da Solidal) encontram-se caleiras pré-fabricadas em betão ou realizadas no local, em alvenaria. As caleiras devem apresentar as seguintes características:

- Possuir dimensões interiores que permitam a existência de um espaço livre, entre os cabos e a face interior das coberturas;
- Terem uma grande qualidade e possuírem um acabamento cuidado;
- Apresentarem uma superfície interior perfeitamente lisa, e, portanto, sem qualquer aspereza;
- Encaixarem-se uns nos outros por intermédio de encaixes suficientes, de modo a não correrem o risco de se afastarem uns dos outros. Neste tipo de metodologia é dispensado o uso de cabos armados.

A figura 2.15. ilustra o modelo de canalização em caieiras.



**Figura 2.15.** - Esquema típico da canalização em caieiras [Guia Técnico Solidal, 2010]

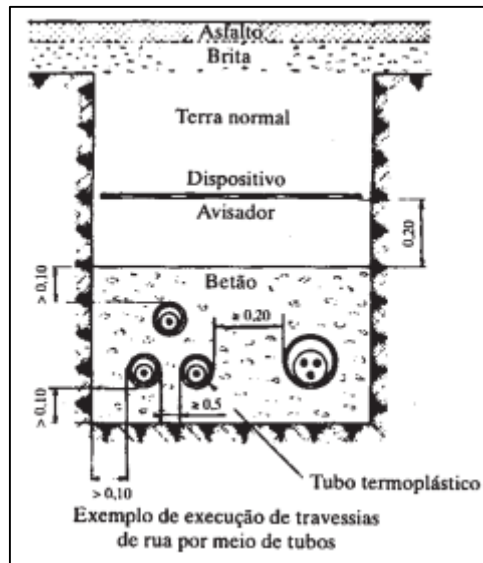
- Cabos enfiados em tubos:

Por último, existe a topologia de cabos enfiados em tubos, na qual um mesmo tubo ou canal devem ser introduzidos cabos pertencentes à mesma canalização, segundo o artigo 56º do RSRDEEBT; neste modelo, à semelhança do anterior, é dispensado o uso de cabos armados.

As principais características dos tubos em questão, segundo guia técnico da Solidal são:

- Tubos de material termoplástico – PE ou PVC – aplicados na maioria das situações;
- Tubos de aço ou ferro fundido, aplicados quando há risco de esmagamento;
- Em alternativa, tubos de betão ou cimento, que são menos usados relativamente aos anteriores.

A imagem 2.16. corresponde ao modelo da canalização em tubos.



**Figura 2.16.** - Esquema típico da canalização em tubos [Guia Técnico Solidal, 2010]

## 2.6. Ligação de Clientes em Baixa Tensão

### 2.6.1. Fronteira entre a Rede BT e a Instalação do Cliente

Entre a fronteira da rede BT e a instalação do cliente existem ligadores de saída dos fusíveis na portinhola. Nos casos em que, excepcionalmente e por indicação da EDP Distribuição, se puder dispensar a instalação da portinhola, o limite da rede de distribuição termina nos ligadores de entrada do contador ou nos ligadores de entrada do quadro de colunas do edifício.

Assim, uma vez que se trata de uma instalação que lhe pertence, o cliente é responsável por toda a instalação a jusante dos ligadores de saída da portinhola, incluindo o tubo de proteção e os condutores de ligação entre a portinhola e a caixa de contagem, os ligadores dos condutores, a caixa de contagem e a ligação entre a mesma e o quadro de entrada da sua instalação. Pertence, igualmente, ao cliente, as instalações coletivas do edifício e respetivas entradas situadas a jusante dos ligadores de saída da portinhola, dos ligadores de entrada do contador ou dos ligadores de entrada do quadro de colunas do edifício, conforme o caso. Na figura 2.17. encontra-se representado o esquema típico de ligação de um cliente de baixa tensão.

Esta informação encontra-se de acordo com a diretiva DIT-C14-100/N referente ao regulamento da EDP Distribuição, de maio de 2007.

A figura 2.17. exemplifica um esquema típico de ligação de um cliente.

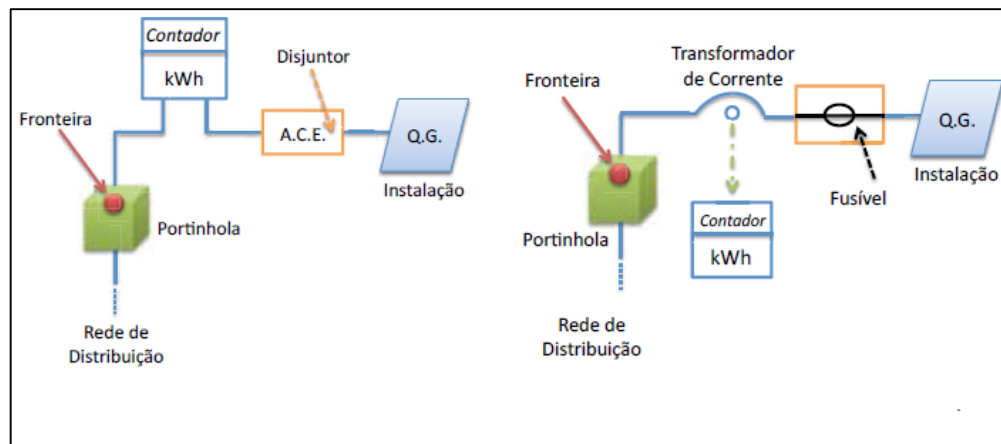


Figura 2.17. - Esquema de ligação de um cliente [EDP, 2015]

## 2.6.2. Materiais e Equipamentos

### - Portinhola:

Este elemento permite estabelecer o ponto de fronteira entre a ligação da instalação e a rede de distribuição, garantindo a proteção do respetivo ramal contra sobreintensidades. Desta forma, a portinhola deverá ser colocada num local de fácil acesso, sendo a montagem da mesma da responsabilidade do requisitante [Manual de Ligações – EDP Distribuição, 2015].

Segunda a diretiva DIT-C14-100/N as portinholas devem:

- Assegurar a proteção de pessoas contra contactos indiretos através da proteção por isolamento total (esta medida de proteção, aplicável aos conjuntos de equipamentos elétricos montados em fábrica, equivale à classe II de isolamento definida para os equipamentos elétricos);

- Ser dos tipos normalizados como os estipulados na tabela 2.6;

- Ter um sistema de fecho normalizado de acordo com as indicações da EDP Distribuição;

- Garantir os de proteção mínimos IP45 e IK10 para as portinholas dos tipos P50, P100 e P400, e, IP 32D e IK09 para a portinhola P25.

Na tabela 2.6. encontram-se as características dos vários tipos de portinholas.

**Tabela 2.6.** - Características dos diferentes tipos de portinholas [EDP, 2007]

Designação	Corrente nominal (estipulada) (A)	Cabos de entrada (a usar nos ramais)		Fusíveis			Capacidade de ligação (mm <sup>2</sup> )	
		Derivação	Designação	N.º	Tamanho	I <sub>n</sub> <sup>(1)</sup> (A)	Fases	Neutro
P25	25	Subterrânea	LSVAV 2x16	1	10x38	25	1,5 a 16 <sup>(2)</sup>	1,5 a 16 <sup>(2)</sup>
P50	50	Aérea	LXS 2x16	1	14x51	50	2,5 a 16 <sup>(2)</sup>	2,5 a 16 <sup>(2)</sup>
		Subterrânea	LSVAV 2x16			50		
P100	100	Aérea	LXS 2X16	3	22x58	63	4 a 50 <sup>(2)</sup>	4 a 50 <sup>(2)</sup>
			LXS 4X16			63		
			LXS 4X25			80		
		Subterrânea	LSVAV 2X16			80		
			LSVAV 4X16			80		
			LSVAV 4X35			100		
P400	400	Subterrânea	LSVAV 4X95	3	2	200	Al: 70 a 300 Cu: 50 a 240	Al: 70 a 150 Cu: 50 a 120
			LVAV 3X185+95			315		

<sup>(1)</sup> Calibre (corrente estipulada) do fusível (elemento de substituição) a usar na proteção do cabo de entrada contra as sobrecargas.  
Para as portinholas P25 e P50, os valores indicados correspondem aos valores da corrente nominal (estipulada) das bases de fusíveis.  
Os fusíveis (elementos de substituição) devem ser da categoria de utilização gG.

<sup>(2)</sup> Aplicável a condutores rígidos (de cobre ou de alumínio) com os diâmetros mínimos e máximos indicados na EN 60228.

### 2.6.3. Fusíveis e Respetivas Bases

As bases que equipam as portinholas P25, P50 e P100 devem ser adequadas à colocação de fusíveis cilíndricos, sendo que os terminais destas bases devem ser concebidos de forma a permitir a ligação direta de condutores não preparados.

Já as bases que equipam a portinhola P400 devem ser adequadas à colocação de fusíveis de facas, cujos terminais devem permitir a ligação de condutores preparados.

Os fusíveis de facas e os fusíveis cilíndricos a usar na proteção dos ramais devem ter os calibres da tabela 2.6.

O dispositivo de neutro das portinholas P50, P100 e P400 é formado por uma barra amovível de cobre eletrolítico, assente numa barra isolante. Esta barra deve dispor de terminais concebidos de forma a permitir a ligação de condutores não preparados, no caso das portinholas P50 e P100, e a ligação de condutores preparados (isto é, com terminais) para o caso da portinhola P400. Na portinhola P25, o seccionamento do neutro é feito na própria base de fusíveis e em simultâneo com a fase. O polo de neutro desta base deve ser equipado com um *shunt* tubular de cobre [EDP, 2007].

#### 2.6.4. Caixas de Contagem

As caixas de contagem destinam-se aos edifícios que têm associados uma ou mais instalações de utilização, tal como vivendas unifamiliares, edifícios comerciais, prédios coletivos, etc. Estas devem ser colocadas no exterior ou em local de fácil acesso ao distribuidor de energia, a partir da via pública, por forma a facilitar a análise ou substituição do equipamento de medida e contagem.

Se se tratar de moradias unifamiliares e outras instalações do género serão encastradas no muro exterior, ou em alternativa, nas fachadas exteriores das construções. Quanto aos edifícios coletivos com várias instalações, as caixas de contagem serão localizadas no seu interior em local de fácil acesso a partir do exterior. Regra geral, devem ser centralizadas no vestíbulo de entrada, mas, dependendo da quantidade de instalações, podem ser centralizadas nos patamares dos pisos [Manual de Ligações – EDP Distribuição, 2015].

As caixas de contagem devem possuir invólucros adequados que satisfaçam as seguintes características:

- Serem construídos de modo a garantir a classe II de isolamento, isto é, equivalente à proteção por isolamento total;
- Devem obedecer às regras indicadas na EN62208, tendo em conta as condições de funcionamento em serviço afetas às situações normais de colocação no exterior;
- Quando instalados na sua posição normal de serviço, devem ter graus de proteção adequados ao local de estabelecimento, com o mínimo IP 44 e IK 07, e devem ser dotados de sistema de fecho que possibilite apenas o acesso ao seu interior através do uso de uma ferramenta ou chave de uso corrente;
- Devem possuir uma tensão estipulada de isolamento não inferior a 400 V;
- Devem ser dotados de bastidor fixo a insertos metálicos roscados ou, em alternativa, de calhas metálicas para fixação do contador;
- Devem ser providos de tampa com visor, tampa transparente e porta ou tampa com visor e porta opaca. O visor deve estar localizado de modo a permitir a realização sem necessidade de abertura da tampa;
- Devem ter como dimensões interiores mínimas 400 mm de altura, 230 mm de largura e 180 mm de profundidade, por forma a permitirem a ligação de qualquer contador trifásico de ligação direta, disponibilizado no mercado.

## 2.7. Conclusão

Ao longo deste capítulo foi possível dar a conhecer e discriminar os vários elementos essenciais ao normal funcionamento de uma típica rede subterrânea de baixa tensão. Descreveram-se as funções dos vários elementos constituintes de um posto de transformação, bem como os diferentes tipos de cabines existentes relativas aos postos de transformação. De modo semelhante, foram descritas as principais características dos armários de distribuição. Posteriormente, foram discriminadas as características essenciais à instalação das redes elétricas subterrâneas, para assim melhor compreender quais os diferentes aspetos, condições e tipos de condutores a implementar neste contexto, com destaque para as diferentes formas de instalação dos mesmos no subsolo.

Por fim, descreveram-se as principais características de ligação aos clientes de baixa tensão. Esta parte final do capítulo faz a ponte entre a rede BT e os respetivos clientes, com os respetivos elementos de proteção (fusíveis) dos vários ramais, por forma a evitar sobreintensidades e outros problemas semelhantes.

### 3. DIMENSIONAMENTO DAS REDES DE BAIXA TENSÃO E RESULTADOS OBTIDOS NO CASO DE ESTUDO

#### 3.1. Introdução

Para o dimensionamento de um dado projeto de uma urbanização/loteamento, deve-se, inicialmente, calcular a potência total de cada infraestrutura por forma a saber quantas saídas existem em cada PT, ou para verificar se o circuito alimentado pelo PT em estudo suporta a carga de um novo cliente. Segundo as normas da EDP, a secção máxima dos condutores que constituem as redes subterrâneas é de  $185 \text{ mm}^2$ , enquanto o mínimo é de  $16 \text{ mm}^2$ .

Deste modo, é possível calcular a potência de cada saída, o que é essencial para o cálculo do critério de aquecimento, e, conseqüentemente a respetiva queda de tensão e tempo de proteção contra curto-circuitos, o que permitirá concluir se foram instaladas as proteções ideais ao longo de todas as redes. Neste capítulo, apresentam-se os cálculos bem como a aplicação dos critérios necessários ao dimensionamento de uma rede de baixa tensão, e, posteriormente, são apresentados os respetivos resultados obtidos relativamente ao caso de estudo.



**Figura 3.1.** - Planta referente ao loteamento industrial (Anexo I)

### 3.2. Cálculo das Correntes de uma Rede Elétrica

Primeiramente, é necessário proceder ao cálculo das correntes de cada uma das redes elétricas existentes. Para tal, começa-se por calcular as potências correspondentes a cada um dos troços de cada rede como demonstrado na expressão seguinte:

$$\begin{aligned} \text{Potência Total (por troço)}(kVA) &= \\ &= \sum(n^{\circ} \text{ Total de Instalações} * \text{Potência Respetiva}) \end{aligned} \quad (3.1)$$

De seguida, são calculadas as potências em cada troço com o respetivo coeficiente de simultaneidade (C). Com base na equação anterior tem-se:

$$\text{Potência Total (kVA)} = \text{Potência Total (por troço)} * C \quad (3.2)$$

Em que C pode ser:

- $C = 0,2 + \frac{0,8}{\sqrt{n}}$ , para consumidores domésticos e de uso profissional
- $C = 0,2 + \frac{0,5}{\sqrt{n}}$ , para os restantes casos

Neste caso é utilizada a segunda expressão dado que se trata de um projeto de um loteamento industrial, sendo  $n$  a variável correspondente ao número de lotes de utilização da rede.

Calculadas as potências com os respetivos coeficientes, podem, por fim, ser calculadas as correntes de serviço associadas, através da expressão 3.3:

$$I_s = \frac{\text{Potência Total}}{\sqrt{3} * U_c * \cos(\varphi)} \quad (3.3)$$

Onde:

- $I_s$  é a corrente de serviço (A);
- $U_c$  é a tensão composta (V);
- $\cos(\varphi) = 0,8$ .

### 3.3. Obtenção das Secções Normalizadas e Verificação do Critério de Aquecimento

#### 3.3.1. Cálculo da Secção Normalizada do Primeiro Troço

Para obter a secção normalizada de um dado troço de canalização é necessário proceder ao cálculo da secção. A equação 3.4 mostra como se faz o respetivo cálculo:

$$S \text{ (mm}^2\text{)} = \frac{1}{\Delta U} * \rho * \sqrt{3} * \Sigma(Is * l) \quad (3.4)$$

Onde:

- $S$  é o valor da secção do cabo (mm<sup>2</sup>);
- $\Delta U$  é a queda de tensão (V);
- $\rho$  é a resistividade do cobre ( $\frac{1}{56,1} \Omega \cdot m$ );
- $I_s$  é a corrente de serviço (A);
- $l$  é o comprimento do cabo (m).

#### 3.3.2. Cálculo da Secção Normalizada dos Restantes Troços

Para efetuar o cálculo das restantes secções de uma canalização, isto é, dos diferentes troços que se encontram entre os variados armários de distribuição, procede-se à redistribuição do cobre, que se traduz pela seguinte expressão:

$$S = S_{n1} * \frac{\text{Potência } x * l_x}{\Sigma(I_s * l)} \quad (3.5)$$

Onde:

- $S_{n1}$  é a secção normalizada do primeiro troço;
- Potência  $x$  corresponde à potência do troço em questão;
- $l_x$  é o comprimento do cabo do troço em questão;

### 3.3.3. Cálculo das Secções do Tipo Derivação

Em alguns casos, certas redes de distribuição possuem uma ou mais ramificações que se encontram ligadas perpendicularmente à canalização principal de forma a haver distribuição de energia num determinado conjunto de lotes que a canalização principal não é capaz de abranger, evitando, assim, a criação desnecessária de várias pequenas redes num dado projeto. Essas ramificações designam-se por derivações, sendo que, para se obter a secção nominal das mesmas são efetuados cálculos com algumas diferenças em relação aos verificados na canalização principal.

Neste caso em particular, começa-se por calcular a queda de tensão na derivação, que é obtida através da expressão seguinte:

$$\Delta U = \Delta U_{xy} + \Delta U_{yz} \quad (=) \quad \Delta U_{yz} = 20 - \left( \rho * \frac{1}{Sn1} * \Sigma(Is * l) \right) \quad (3.6)$$

Onde:

- $\Delta U_{xy}$  é a queda de tensão existente a montante da derivação;
- $\Sigma(Is * l)$  é somatório dos produtos das correntes de serviço pelos comprimentos de cabo a montante da derivação;
- $\Delta U_{yz}$  é a queda de tensão existente na respetiva derivação.

Obtida a queda de tensão, calcula-se a respetiva secção nominal da derivação:

$$S_{yz} = \rho * \frac{1}{\Delta U_{yz}} * \Sigma(Is * l) \quad (3.7)$$

- Onde:
- $\Sigma(Is * l)$  é somatório do produto da corrente de serviço pelo comprimento do cabo da derivação;
  - $S_{yz}$  é o valor da secção do cabo correspondente à derivação.

### 3.3.4. Verificação do Critério de Aquecimento

A verificação deste critério está diretamente relacionada com a proteção contra sobrecargas. No dia-a-dia as mais variadas instalações estão sujeitas a sobreintensidades, e, para evitar danos nas infraestruturas elétricas torna-se necessário colocar proteções no sistema elétrico. Assim, de acordo com o artigo 128º do RSRDEEBT, as características destes aparelhos de proteção deverão ser tais que satisfaçam as seguintes condições (tendo em conta que  $I_s = I_B$ ):

- $I_B \leq I_n \leq I_z$ ;
- $I_f \leq 1,45 I_z$ .

Onde:

- $I_B$  é a corrente de serviço na canalização (A);
- $I_n$  é a corrente nominal do fusível (A);
- $I_z$  é a corrente máxima admissível na canalização (A);
- $I_f$  é a corrente máxima convencional de funcionamento do aparelho de proteção (A).

### 3.4. Verificação do Critério da Queda de Tensão

Após a obtenção das secções normalizadas, procede-se ao cálculo das respetivas quedas de tensão, com o propósito de concluir se todas as redes foram construídas por forma a respeitarem a queda de tensão máxima admissível exigida por lei. Existem, assim, dois tipos de redes de distribuição: as genéricas e as de centros urbanos. Relativamente às primeiras, conforme o artigo 128º do RSRDEEBT, a queda de tensão terá de ser 8 % inferior à queda máxima de tensão (400 V), enquanto, em relação às segundas, a queda de tensão será 5 % inferior à queda máxima.

Para tal, começa por se determinar qual é a resistência –  $R_{20^\circ}$  ( $\Omega/\text{km}$ ) – correspondente a cada secção normalizada. Deste modo, será possível, então, recorrendo a alguns cálculos, determinar a queda de tensão.

Assim, começa por calcular a resistência  $R_{90^\circ}$ , uma vez que os condutores utilizados neste projeto são em PEX, dado que a temperatura máxima do condutor é de 90° C, tem-se:

$$R_{90^\circ} = R_{20^\circ} * [1 + \alpha(90^\circ - 20^\circ)] \quad (3.8)$$

Onde:

-  $\alpha = 0,00393 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , correspondente ao coeficiente de termo resistividade do cobre, metal dos condutores associados ao projeto.

Assim, obtém-se o produto  $R_{90^\circ} * I_a$ , do qual se obterá a queda de tensão num dado troço da rede. Para os restantes troços, a queda de tensão será o somatório das quedas anteriores

juntamente com a queda obtida do troço em questão. Por fim, dado que o loteamento se caracteriza como centro urbano, verifica-se se cada uma das quedas da canalização é inferior a 20 V (5 % da tensão nominal), e, caso alguma destas não cumpra com a regra, terão de ser revistos os cálculos relativos à proteção contra sobrecargas.

### 3.5. Proteção Contra Curto-circuitos

A proteção contra curto-circuitos, segundo o artigo 130º do RSRDEEBT, tem por base duas características fulcrais:

- A intensidade nominal dos aparelhos de proteção contra curto-circuitos deverá ser tal que a corrente de curto-circuito seja cortada antes de a canalização poder atingir a sua temperatura limite admissível;

- O critério referido anteriormente deverá ser efetuado por comparação entre a característica de funcionamento do aparelho de proteção e a característica de fadiga térmica da canalização, tendo em conta que se cumpriu a regra anterior se o tempo de corte do aparelho de proteção for inferior ao calculado pela expressão seguinte:

$$\sqrt{t} = k * \frac{S}{I_{cc}} \quad (3.9)$$

Em que:

-  $t$  é o tempo de corte do aparelho de proteção, expresso em segundos, com o máximo de 5 segundos;

-  $k$  é a constante referente à alma condutora do cobre, cujo valor é de 143 visto que os condutores usados são em PEX;

-  $S$  é a secção dos condutores (mm<sup>2</sup>);

-  $I_{cc}$  é a corrente de curto-circuito mínima, ou seja, a corrente que resulta de um pequeno curto-circuito verificado no ponto mais afastado de um dado circuito (A).

Para se obter o valor do tempo de corte da proteção, calcula-se a corrente de curto-circuito mínima, a qual é calculada através da seguinte equação:

Em que:

$$I_{cc} = \frac{0,95 * U_c}{1,5 * (R_F * L_F + R_N * L_N)} \quad (3.10)$$

- $U_c$  é a tensão composta (V);
- $R_F$  é a resistência de fase – equivalente a  $R_{20^\circ}$  - ( $\Omega$ );
- $L_F$  é o comprimento de fase (km);
- $R_N$  é a resistência de neutro ( $\Omega$ );
- $L_N$  é o comprimento de neutro (km);

### 3.5.1. Comprimentos Máximos Protegidos Contra Curto-circuitos

Como já foi referido anteriormente, as canalizações devem ser protegidas contra curto-circuitos, para que a corrente seja interrompida antes que estas atinjam a sua temperatura limite admissível. Isto significa que, para que um determinado fusível possa atuar em tempo útil de forma a garantir a devida proteção, a impedância do circuito em defeito, desde o próprio fusível até ao extremo da canalização, não deve ser superior a um dado valor. Esse valor é obtido partindo-se do princípio de que, em caso de curto-circuito, a resistência da canalização corresponde à temperatura máxima admissível em regime adiabático (que se opõe à transmissão de calor) e de que a queda de tensão no transformador é de 5 %, de acordo com a diretiva DIT-C14-100/N referente ao regulamento da EDP Distribuição, de maio de 2007. Segundo esta diretiva, quando uma canalização tem um comprimento real inferior ao comprimento máximo ( $L_{max}$ ), as canalizações derivadas poderão ter um comprimento em função da impedância e do fusível de derivação. A coordenação entre as proteções contra sobrecargas e contra curto-circuitos deve ser efetuada nos termos regulamentares. Tal significa que é possível usar, por exemplo, na origem de uma canalização principal, um fusível para a proteção contra curto-circuitos da canalização principal e das derivações existentes, com um calibre superior ao que seria indispensável para a proteção contra sobrecargas de cada uma das canalizações derivadas desde que, em alguma destas, exista um fusível com a função de proteção contra sobrecargas.

### 3.6. Seletividade de Proteções

Segundo a diretiva DIT-C14-100/N de maio de 2007, para que haja seletividade entre proteções colocadas em série, é necessário garantir que, em caso de defeito, apenas atue o aparelho de proteção situado imediatamente a montante desse defeito, permitindo, assim, que as canalizações situadas a montante da proteção continuem a funcionar e que não tenham sido afetadas por esse defeito.

Quando existem fusíveis em série, como no caso de canalizações derivadas de outras em que é regularmente obrigatório colocar proteções devido às mudanças de secção, de modo a haver seletividade na atuação desses fusíveis, é necessário, nas derivações da rede fusíveis cuja relação seja de 1:1,6 ou superior. Isto equivale à utilização de fusíveis com ‘saltos’ nos valores normalizados da série, e nunca, fusíveis com valores seguidos dessa série. Nessa série, os valores In dos fusíveis mais utilizados são: 20 – 25 – 32 – 40 – 50 – 63 – 100 – 125 – 160 – 200 – 250 – 315 A.

Quando uma dada canalização principal tem uma secção de 185 mm<sup>2</sup>, nunca se poderá usar, como cabo derivado um cabo de 150 mm<sup>2</sup>, mesmo que essa fosse a secção do cabo a usar em resultado da aplicação dos outros dois critérios. No caso das torçadas, também não é possível derivar um feixe de condutores de 50 mm<sup>2</sup> de uma canalização de 70 mm<sup>2</sup>. Desta forma, ao aplicar os dois critérios anteriores, numa situação deste tipo, teriam que ser usados cabos ou condutores em torçada na canalização derivada, por questões de seletividade, com a mesma secção que na canalização principal, sem haver sobredimensionamento da canalização [EDP, 2007].

### **3.7. Resultados Obtidos do Dimensionamento das Redes BT do Caso de Estudo**

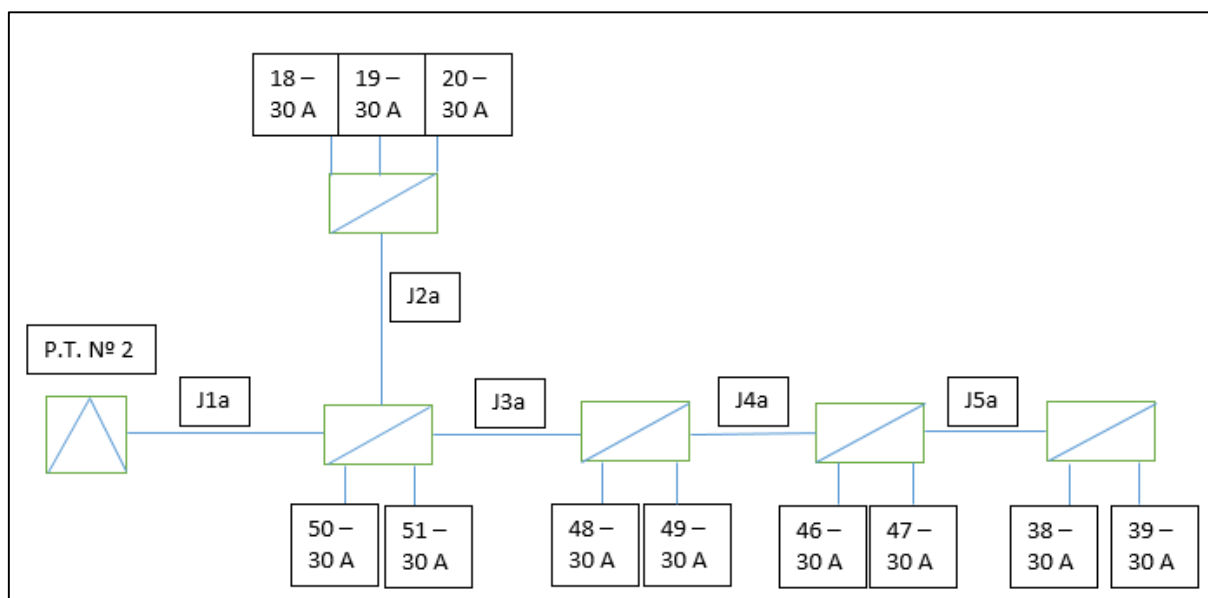
#### **3.7.1. Diagramas das Redes BT Presentes no Loteamento Industrial**

As figuras que se seguem são referentes às redes BT criadas e implementadas na planta, seguidas dos respetivos diagramas com a devida distribuição dos lotes e as correntes em cada troço –  $J_{na}$  – cujos valores obtidos se encontram na tabela 3.1. A cada lote foi atribuída uma potência de 20,7 kVA e 41,4 kVA, o que equivale, portanto, a 30 A e 60 A respetivamente, como consta nos diagramas elaborados. Deste modo, os lotes de menor dimensão (esmagadora maioria) possuem o valor de potência mais baixo, enquanto que os restantes têm o valor mais alto.

As figuras 3.2. e 3.3. correspondem à rede BT nº 1 e ao diagrama da mesma, respetivamente.



**Figura 3.2.** - Rede de baixa tensão nº 1 (Anexo I)



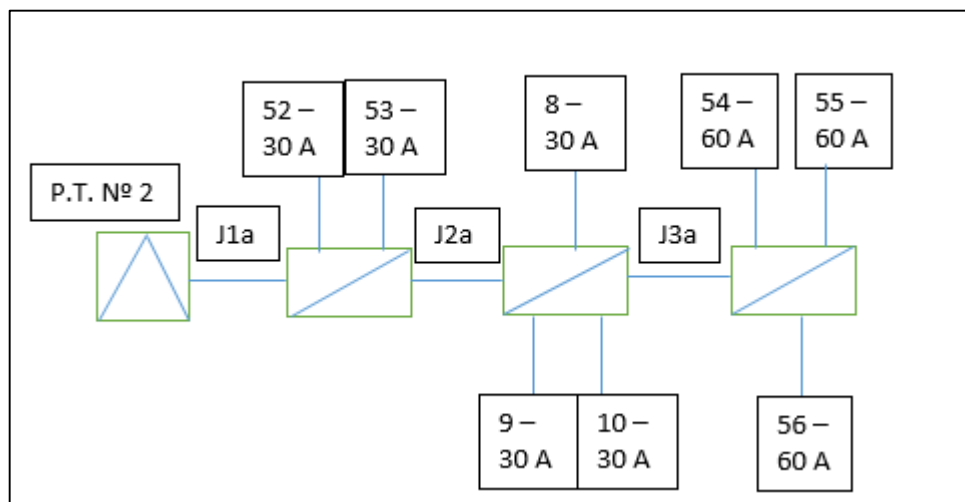
**Figura 3.3.** - Esquema relativo à rede de baixa tensão nº 1, com as respectivas correntes associadas a cada lote (Esquema Unifilar em Anexo IV)

Através do esquema da figura 3.3., referente à figura 3.2., verifica-se que a rede possui um PT (designado por PT nº2), cinco troços e cinco armários de distribuição do tipo X. Quanto à distribuição de lotes, temos: o primeiro o armário com os lotes 50 e 51, o segundo com os lotes 18, 19 e 20, o terceiro com os lotes 48 e 49, o quarto com os lotes 46 e 47 e o quinto com os lotes 38 e 39.

As figuras 3.4. e 3.5. correspondem à rede BT nº 2 e ao diagrama da mesma, respectivamente.



**Figura 3.4.** - Rede de baixa tensão nº 2 (Anexo I)



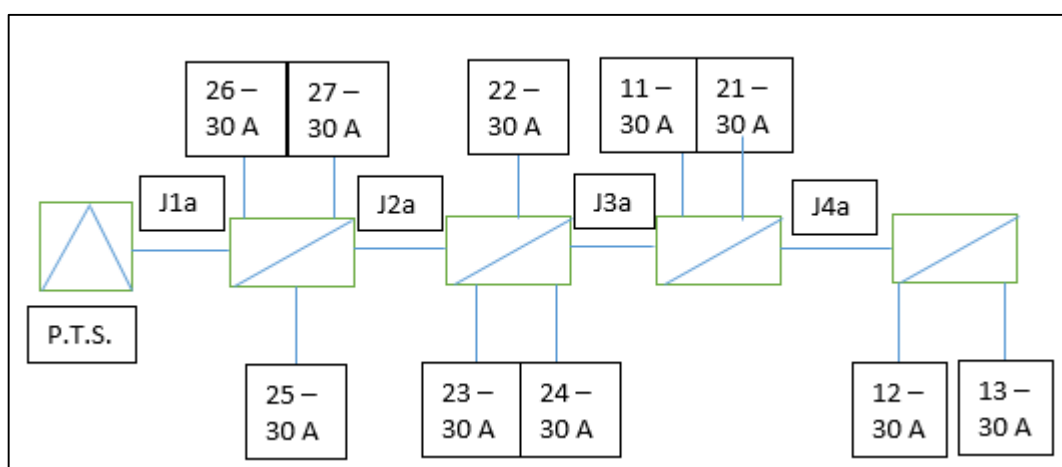
**Figura 3.5.** - Esquema relativo à rede de baixa tensão nº 2, com as respectivas correntes associadas a cada lote (Esquema Unifilar em Anexo IV)

Através do esquema da figura 3.5., referente à figura 3.4., verifica-se que a rede possui um PT (designado por PT nº2), três troços e três armários de distribuição do tipo X. Quanto à distribuição de lotes, temos: o primeiro o armário com os lotes 52 e 53, o segundo com os lotes 8, 9 e 10 e o terceiro com os lotes 54, 55 e 56.

As figuras 3.6. e 3.7. correspondem à rede BT nº 3 e ao diagrama da mesma, respetivamente.



**Figura 3.6.** - Rede de baixa tensão nº 3 (Anexo I)



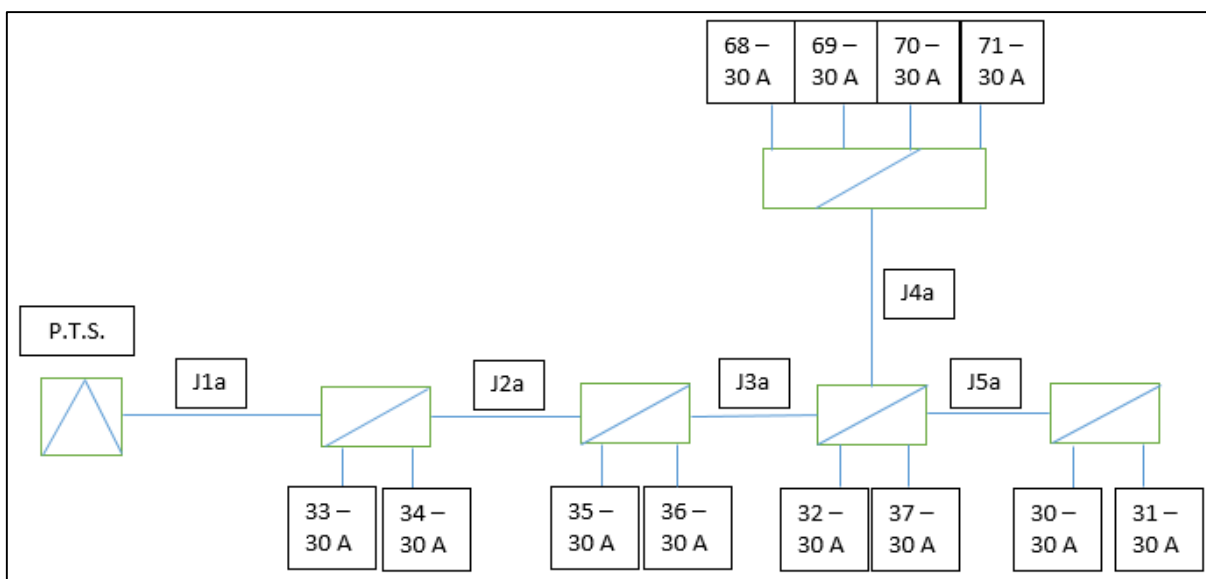
**Figura 3.7.** - Esquema relativo à rede de baixa tensão nº 3, com as respetivas correntes associadas a cada lote (Esquema Unifilar em Anexo IV)

Através do esquema da figura 3.7., referente à figura 3.6., verifica-se que a rede possui um PT (designado por PTS), quatro troços e quatro armários de distribuição do tipo X. Quanto à distribuição de lotes, temos: o primeiro o armário com os lotes 25, 26 e 27, o segundo com os lotes 22, 23 e 24, o terceiro com os lotes 11 e 21 e o quarto com os lotes 12 e 13.

As figuras 3.8. e 3.9. correspondem à rede BT nº 4 e ao diagrama da mesma, respetivamente.



**Figura 3.8.** - Rede de baixa tensão nº 4 (Anexo I)



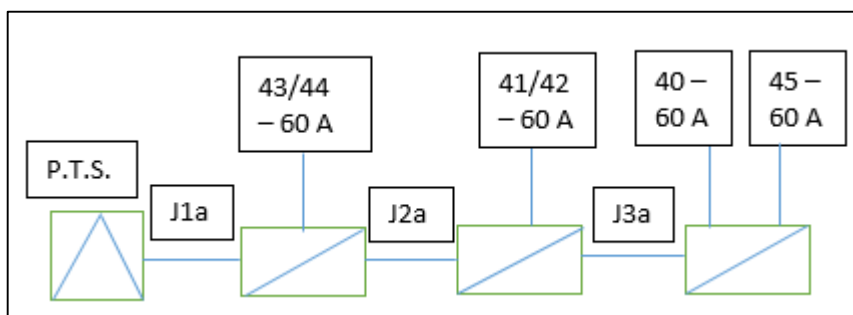
**Figura 3.9.** - Esquema relativo à rede de baixa tensão nº 4, com as respetivas correntes associadas a cada lote (Esquema Unifilar em Anexo IV)

Através do esquema da figura 3.9., referente à figura 3.8., verifica-se que a rede possui um PT (designado por PTS), cinco troços e cinco armários de distribuição do tipo X. Quanto à distribuição de lotes, temos: o primeiro o armário com os lotes 33 e 34, o segundo com os lotes 35 e 36, o terceiro com os lotes 32 e 37, o quarto com os lotes 68, 69, 70 e 71 e o quinto com os lotes 30 e 31.

As figuras 3.10. e 3.11. correspondem à rede BT nº 5 e ao diagrama da mesma, respetivamente.



**Figura 3.10.** - Rede e baixa tensão nº 5 (Anexo I)



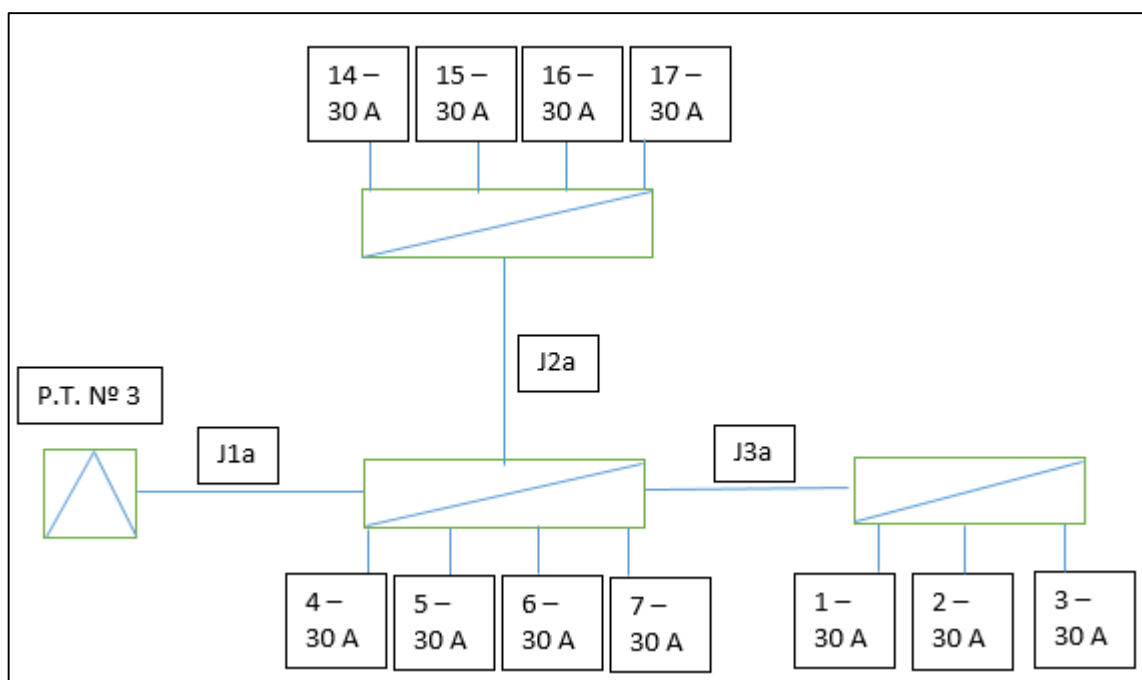
**Figura 3.11.** - Esquema relativo à rede de baixa tensão nº 5, com as respetivas correntes associadas a cada lote (Esquema Unifilar em Anexo IV)

Através do esquema da figura 3.11., referente à figura 3.10., verifica-se que a rede possui um PT (designado por PTS), três troços e três armários de distribuição do tipo X. Quanto à distribuição de lotes, temos: o primeiro o armário com o lote 43/44 o segundo com o lote 41/42 e o terceiro com os lotes 40 e 45.

As figuras 3.12. e 3.13. correspondem à rede BT nº 6 e ao diagrama da mesma, respetivamente.



**Figura 3.12.** - Rede de baixa tensão nº 6



**Figura 3.13.** - Esquema relativo à rede de baixa tensão nº 6, com as respetivas correntes associadas a cada lote (Esquema Unifilar em Anexo IV)

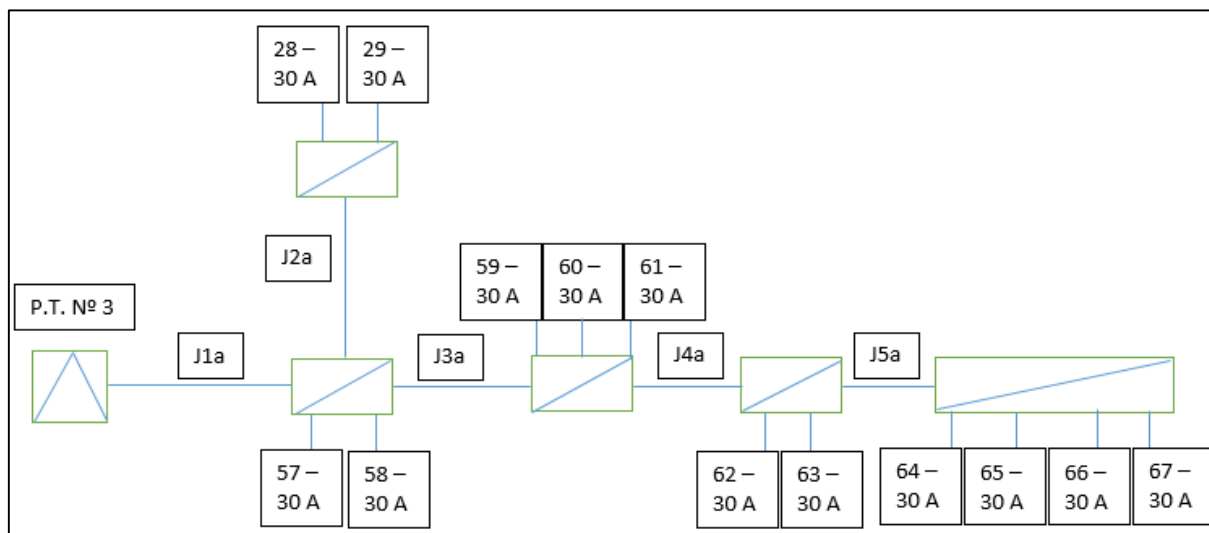
Através do esquema da figura 3.13., referente à figura 3.12., verifica-se que a rede possui um PT (designado por PT nº 3), três troços e três armários de distribuição do tipo X. Quanto à

distribuição de lotes, temos: o primeiro o armário com os lotes 4, 5, 6 e 7, o segundo com os lotes 14, 15, 16 e 17 e o terceiro com os lotes 1, 2 e 3.

As figuras 3.14. e 3.15. correspondem à rede BT nº 7 e ao diagrama da mesma, respectivamente.



**Figura 3.14.** - Rede de baixa tensão nº 7 (Anexo I)



**Figura 3.15.** - Esquema relativo à rede de baixa tensão nº 7, com as respectivas correntes associadas a cada lote (Esquema Unifilar em Anexo IV)

Através do esquema da figura 3.15., referente à figura 3.14., verifica-se que a rede possui um PT (designado por PT nº 3), cinco troços e cinco armários de distribuição do tipo X. Quanto à distribuição de lotes, temos: o primeiro o armário com os lotes 57 e 58, o segundo com os lotes 28 e 29, o terceiro com os lotes 59, 60 e 61, o quarto com os lotes 62 e 63 e o quinto com os lotes 64, 65, 66 e 67.

### **3.7.2. Tabelas dos Resultados Obtidos das Redes BT**

Através do *software* Excel foi elaborada a tabela 3.1., a qual permitiu associar cada um dos respetivos lotes fabris ao respetivo troço de cada uma das redes de baixa tensão. Deste modo, tornou-se possível efetuar o cálculo da potência de cada troço, e, assim, obter as respetivas componentes ativas da corrente. Encontram-se, igualmente, apresentadas as devidas quedas de tensão das derivações existentes bem como os tempos de proteção contra curto-circuitos.

Esta tabela contém, assim, a informação relativa à potência em cada um dos troços, as correntes obtidas através da potência, as medidas dos diferentes troços, e as quedas de tensão em cada uma das derivações.

**Tabela 3.1.** - Tabela correspondente à distribuição dos lotes por cada troço de cada rede elétrica, e cálculo das correntes em cada um dos mesmos bem como das respectivas derivações existentes

<b>TROÇOS, CÁLCULO DAS CORRENTES EM CADA TROÇO E DERIVAÇÕES</b>							
	REDE 1	REDE 2	REDE 3	REDE 4	REDE 5	REDE 6	REDE 7
TROÇO 1 -> PT - Arm.1	41,4	41,4	62,1	41,4	41,4	82,8	41,4
TROÇO 2 -> Arm.1 - Arm.2	62,1	62,1	62,1	41,4	41,4	82,8	41,4
TROÇO 3 -> Arm.2 - Arm.3	41,4	124,2	41,4	41,4	82,8	62,1	62,1
TROÇO 4 -> Arm.3 - Arm.4	41,4	-	41,4	82,8	-	-	41,4
TROÇO 5 -> Arm.4 - Arm.5	41,4	-	-	41,4	-	-	82,8
TROÇO 6	-	-	-	-	-	-	-
Pot. J6a (KVA)	-	-	-	-	-	-	-
Pot. J5a (KVA)	35,33711037	-	-	35,33711	-	-	62,1
Pot. J4a (KVA)	62,1	-	35,33711	62,1	-	-	87,45222
Pot. J3a (KVA)	87,45221884	97,95345	62,1	112,0742	70,67422	48,97673	124,2
Pot. J2a (KVA)	48,97672586	131,1783	99,83353	136,2296	97,95345	62,1	35,33711
Pot. J1a (KVA)	148,1770666	154,1021	136,2296	160,0535	124,2	148,1771	171,8675
J6a (A)	-	-	-	-	-	-	-
J5a (A)	63,75590683	-	-	63,75591	-	-	112,042
J4a (A)	112,0420366	-	63,75591	112,042	-	-	157,783
J3a (A)	157,7830065	176,7295	112,042	202,2065	127,5118	88,36477	224,0841
J2a (A)	88,36476831	236,6745	180,1216	245,7881	176,7295	112,042	63,75591
J1a (A)	267,3439665	278,0339	245,7881	288,7716	224,0841	267,344	310,0866
L1 (metros)	103,9	153,4	37,8	142,1	92,1	147,1	102,7
L2 (metros)	67,7	66,1	69,7	49,7	108,9	9	16,1
L3 (metros)	129,2	68,8	98,4	96,4	13,7	65,1	50,9
L4 (metros)	102,8	-	98	44,4	-	-	85,7
L5 (metros)	69,4	-	-	85,9	-	-	15,9
L6 (metros)	-	-	-	-	-	-	-
<b>DERIVAÇÕES</b>							
REDE 1							
$\Delta U$ (ARM. 1 - ARM. 2)	16,6991042						
REDE 4							
$\Delta U$ (ARM. 3 - ARM. 4)	11,3555776						
REDE 6							
$\Delta U$ (ARM. 1 - ARM. 2)	15,3266432						
REDE 7							
$\Delta U$ (ARM. 1 - ARM. 2)	18,19789509						

Tabela 3.2. - Tabela correspondente às secções obtidas de cada troço e à verificação do critério de aquecimento

<b>SECÇÕES NORMALIZADAS E VERIFICAÇÃO DO CRITÉRIO DE AQUECIMENTO</b>							
	REDE 1	REDE 2	REDE 3	REDE 4	REDE 5	REDE 6	REDE 7
<b>TROÇO 1</b>							
Secção (mm <sup>2</sup> )	98,96028	108,7604	60,38757	120,7487	64,26634	71,145642	90,39275
Secção Norm. (mm <sup>2</sup> )	150	150	95	150	95	150	150
Ib (A)	267,344	278,0339	245,7881	288,7716	224,0841	267,34397	310,0866
In (A)	315	315	250	315	250	315	315
Iz (A)	387	387	301	387	301	387	387
If (A)	504	504	400	504	400	504	504
Iz*1.45 (A)	561,15	561,15	436,45	561,15	436,45	561,15	561,15
VERIFICAÇÕES:	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
<b>REstantes Secções</b>							
SOMA(Jk Lk) ->Can. Principal	64105,18	70453,58	39118,28	78219,45	41630,9	45078,844	58555,25
<b>TROÇO 2</b>							
Secção (mm <sup>2</sup> )	6,385748	33,30743	30,48895	23,42576	43,91823	1,172772	1,005454
Secção Norm. (mm <sup>2</sup> )	25	95	70	150	70	25	16
Ib (A)	88,36477	236,6745	180,1216	245,7881	176,7295	112,04204	63,75591
In (A)	100	250	200	315	200	125	100
Iz (A)	113	301	254	387	254	144	113
If (A)	160	400	320	504	320	200	160
Iz*1.45 (A)	163,85	436,45	368,3	561,15	368,3	208,8	163,85
VERIFICAÇÕES:	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
<b>TROÇO 3</b>							
Secção (mm <sup>2</sup> )	47,70027	25,88724	26,77441	37,38081	3,986381	19,141617	29,21825
Secção Norm. (mm <sup>2</sup> )	95	70	35	95	50	25	95
Ib (A)	157,783	176,7295	112,042	202,2065	127,5118	88,364768	224,0841
In (A)	250	200	125	250	160	100	250
Iz (A)	301	254	174	301	206	144	301
If (A)	400	320	200	400	256	160	400
Iz*1.45 (A)	436,45	368,3	252,3	436,45	298,7	208,8	436,45
VERIFICAÇÕES:	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
<b>TROÇO 4</b>							
Secção (mm <sup>2</sup> )	26,95083	-	15,17366	7,808936	-	-	34,63909
Secção Norm. (mm <sup>2</sup> )	50	-	25	25	-	-	50
Ib (A)	112,042	-	63,75591	112,042	-	-	157,783
In (A)	160	-	100	125	-	-	160
Iz (A)	206	-	144	144	-	-	206
If (A)	256	-	160	200	-	-	256
Iz*1.45 (A)	298,7	-	208,8	208,8	-	-	298,7
VERIFICAÇÕES:	OK	-	OK	OK	-	-	OK
<b>TROÇO 5</b>							
Secção (mm <sup>2</sup> )	10,35328	-	-	10,50244	-	-	4,563558
Secção Norm. (mm <sup>2</sup> )	25	-	-	25	-	-	25
Ib (A)	63,75591	-	-	63,75591	-	-	112,042
In (A)	125	-	-	80	-	-	125
Iz (A)	144	-	-	144	-	-	144
If (A)	200	-	-	128	-	-	200
Iz*1.45 (A)	208,8	-	-	208,8	-	-	208,8
VERIFICAÇÕES:	OK	-	-	OK	-	-	OK

Na tabela 3.2. encontram-se representadas as secções de cabo normalizadas, após a obtenção das respetivas secções de cabo. Por conseguinte, foi aplicado e verificado o critério de aquecimento, por forma a determinar as proteções ideais a implementar em cada troço para garantir a devida segurança em todas as redes. As células de cor verde com a expressão ‘OK’ comprovam que a seleção de proteções está correta e foi a mais adequada.

**Tabela 3.3.** – Tabela correspondente à verificação do critério da queda de tensão

VERIFICAÇÃO DO CRITÉRIO DA QUEDA DE TENSÃO							
	Secção Norm. (mm2)	R20º (Ω/Km)	R(90ºC)	Ia (A)	R(90ºC)*Ia (V)	ΔU=SUM(R*I)	ΔU < ΔUmáx.
<b>REDE 1</b>							
PT - Arm. 1	150	0,124	0,016427878	267,3439665	4,391894162	4,391894162	OK
Arm.1 - Arm. 2	25	0,727	0,062757744	88,36476831	5,545573534	9,937467696	OK
Arm.1 - Arm. 3	95	0,193	0,031795384	157,7830065	5,016771212	9,408665373	OK
Arm. 3 - Arm. 4	50	0,387	0,050728068	112,0420366	5,683676093	15,09234147	OK
Arm. 4 - Arm. 5	25	0,727	0,06433364	63,75590683	4,101649582	19,19399105	OK
<b>REDE 2</b>							
PT - Arm. 1	150	0,124	0,024254442	278,033944	6,743558213	6,743558213	OK
Arm.1 - Arm. 2	95	0,193	0,016266833	236,6745098	3,84994478	10,59350299	OK
Arm.2 - Arm. 3	70	0,268	0,023510804	176,7295366	4,155053468	14,74855646	OK
<b>REDE 3</b>							
PT - Arm. 1	95	0,193	0,009302365	245,7880659	2,286410189	2,286410189	OK
Arm.1 - Arm. 2	70	0,268	0,023818358	180,1216036	4,290200831	6,57661102	OK
Arm.2 - Arm. 3	35	0,524	0,065746196	112,0420366	7,366337717	13,94294874	OK
Arm. 3 - Arm. 4	25	0,727	0,090845775	63,75590683	5,791954741	19,73490348	OK
<b>REDE 4</b>							
PT - Arm. 1	150	0,124	0,022467772	288,7715732	6,488053879	6,488053879	OK
Arm.1 - Arm. 2	150	0,124	0,007858186	245,7880659	1,931448407	8,419502286	OK
Arm. 2 - Arm. 3	95	0,193	0,023723491	202,2065047	4,797044098	13,21654638	OK
Arm. 3 - Arm. 4	25	0,727	0,041158698	112,0420366	4,611504335	17,82805072	OK
Arm. 3 - Arm. 5	25	0,727	0,079629102	63,75590683	5,076825635	18,29337202	OK
<b>REDE 5</b>							
PT - Arm. 1	95	0,193	0,022665285	224,0840732	5,07892939	5,07892939	OK
Arm.1 - Arm. 2	70	0,268	0,037214049	176,7295366	6,57682155	11,65575094	OK
Arm. 2 - Arm. 3	50	0,387	0,006760453	127,5118137	0,862037584	12,51778852	OK
<b>REDE 6</b>							
PT - Arm. 1	150	0,124	0,023258334	267,3439665	6,217975276	6,217975276	OK
Arm.1 - Arm. 2	25	0,727	0,008342979	112,0420366	0,934764392	7,152739668	OK
Arm.1 - Arm. 3	25	0,727	0,06034755	88,36476831	5,332597298	11,55057257	OK
<b>REDE 7</b>							
PT - Arm. 1	150	0,124	0,016238143	310,0866307	5,0352312	5,0352312	OK
Arm.1 - Arm. 2	16	1,15	0,023608477	63,75590683	1,505179828	6,540411028	OK
Arm.1 - Arm. 3	95	0,193	0,0125262	224,0840732	2,806921889	7,842153089	OK
Arm. 3 - Arm. 4	50	0,387	0,042289839	157,7830065	6,672617957	14,51477105	OK
Arm. 4 - Arm. 5	25	0,727	0,014739263	112,0420366	1,651417093	16,16618814	OK

A tabela da 3.3. mostra, a partir das secções normalizadas obtidas, os valores de queda de tensão em cada troço. Como se pode ver, todos estes valores estão de acordo com o que é pretendido, isto é, encontram-se abaixo de 20 Volt ( $\Delta U < 20V$ ); as células que se encontram mais à direita na tabela confirmam este facto com a cor verde e a expressão 'OK'.

**Tabela 3.4.** - Tabela correspondente aos tempos de proteção contra curto-circuitos

PROTEÇÃO CONTRA CURTO-CIRCUITOS							
	REDE 1	REDE 2	REDE 3	REDE 4	REDE 5	REDE 6	REDE 7
<b>TROÇO 1</b>							
I (mH/km)	0,22	0,22	0,23	0,22	0,23	0,22	0,22
Lf (km)	2,29E-05	3,37E-05	8,69E-06	3,13E-05	2,12E-05	3,24E-05	2,26E-05
Ln (km)	2,29E-05	3,37E-05	8,69E-06	3,13E-05	2,12E-05	3,24E-05	2,26E-05
Icc (A)	6741,605	4566,185	11793,59	4929,295	4840,366	4761,746	6820,378
$t = [(k \cdot S) / I_{cc}]^2$ (s)	10,12344	22,06722	1,326867	18,93586	7,877037	20,29188	9,890944
<b>TROÇO 2</b>							
I (mH/km)	0,25	0,23	0,23	0,22	0,23	0,25	0,26
Lf (km)	1,69E-05	1,52E-05	1,6E-05	1,09E-05	2,5E-05	2,25E-06	4,19E-06
Ln (km)	1,69E-05	1,52E-05	1,6E-05	1,09E-05	2,5E-05	2,25E-06	4,19E-06
Icc (A)	1738,019	6744,292	4675,993	14093,62	2992,808	13073,77	4657,853
$t = [(k \cdot S) / I_{cc}]^2$ (s)	4,230999	4,057388	4,582689	2,316379	11,18692	0,074774	0,241291
<b>TROÇO 3</b>							
I (mH/km)	0,23	0,23	0,24	0,23	0,24	0,25	0,23
Lf (km)	2,97E-05	1,58E-05	2,36E-05	2,22E-05	3,29E-06	1,63E-05	1,17E-05
Ln (km)	2,97E-05	1,58E-05	2,36E-05	2,22E-05	3,29E-06	1,63E-05	1,17E-05
Icc (A)	3450,447	4737,162	1668,964	4624,457	16810,25	1807,433	8758,304
$t = [(k \cdot S) / I_{cc}]^2$ (s)	15,50132	4,465105	8,993201	8,62974	0,18091	3,912258	2,405909
<b>TROÇO 4</b>							
I (mH/km)	0,24	-	0,25	0,25	-	-	0,24
Lf (km)	2,47E-05		2,45E-05	1,11E-05			2,06E-05
Ln (km)	2,47E-05		2,45E-05	1,11E-05			2,06E-05
Icc (A)	2240,276		1200,652	2650,088			2687,286
$t = [(k \cdot S) / I_{cc}]^2$ (s)	10,18612		8,865795	1,819833			7,079202
<b>TROÇO 5</b>							
I (mH/km)	0,25	-	-	0,25	-	-	0,25
Lf (km)	1,74E-05			2,15E-05			3,98E-06
Ln (km)	1,74E-05			2,15E-05			3,98E-06
Icc (A)	1695,445			1369,778			7400,246
$t = [(k \cdot S) / I_{cc}]^2$ (s)	4,446154			6,811643			0,233378

Na tabela 3.4. encontram-se os resultados dos tempos de corte relativos aos aparelhos de proteção. Estes correspondem ao tempo de fadiga térmica ( $t_{ft}$ ), relativamente aos quais se deve fazer a seguinte análise:  $t_{ap} \leq (t_{ft}; 5 \text{ segundos})$ , onde  $t_{ap}$  é o tempo de atuação da proteção. Assim, de forma a verificar se as proteções se encontram dentro dos parâmetros admissíveis, procedeu-se à consulta das tabelas que relacionam o tempo/corrente – CEI 269-2 – conforme o artigo 131º do RSRDEEBT. Após efetuar esta consulta relativamente a todos os valores tabelados, concluiu-se que as proteções utilizadas são as indicadas para o caso de estudo.

### 3.8. Conclusão

Este capítulo deu conhecer e a perceber os diferentes cálculos essenciais a efetuar num determinado loteamento. Inicialmente, explicou-se como obter as diferentes correntes para qualquer rede através dos valores de potência total obtidos. Por conseguinte, foi demonstrado o método de cálculo das diferentes secções normalizadas, que permite, por sua vez, a verificação do critério de aquecimento, essencial neste contexto, pois permite determinar qual o tipo de proteções a aplicar para evitar as mais diversas sobreintensidades de corrente elétrica.

Conhecidas as secções normalizadas, torna-se possível determinar as respetivas quedas de tensão, por forma a verificar se todas as redes respeitam a queda máxima de tensão admissível, neste caso, de 5 % de 400 V. Posteriormente, apresentou-se a importância da proteção contra curto-circuitos, bem como os cálculos associados, por forma a determinar-se a corrente de curto-circuito, e, conseqüentemente saber-se qual o tempo de corte de uma dada proteção.

Apresentou-se a importância da seletividade de proteções, o que permitiu compreender quando e como devem atuar as mesmas. Por fim, foram apresentados todos os valores obtidos do dimensionamento das redes BT estudadas neste projeto, após uma cuidada e intensa análise das mesmas. Com estes resultados, conclui-se que as redes criadas foram as ideais, tendo sido verificados e aprovados os critérios aplicados.



## 4. ILUMINAÇÃO PÚBLICA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

### 4.1. Introdução

Este projeto engloba, também, as simulações da implementação do sistema de iluminação pública, ao longo de todo o loteamento industrial. Para tal, teve-se em conta diversos parâmetros base por forma a instalar as luminárias da forma mais correta e eficiente possível. Assim, ao longo deste capítulo, aborda-se a importância da iluminação pública no dia-a-dia, bem como a noção de eficiência energética que deve ser tida em conta, pois consiste num fator cada mais relevante na sociedade atual. Será, ainda, mencionada a temática da tecnologia LED, a tecnologia de iluminação mais promissora do futuro existente, bem como a respetiva legislação que lhe é inerente.

### 4.2. A Importância da Iluminação Pública e da Eficiência Energética que lhe está Associada

O setor da iluminação pública (IP) é um dos setores em que o consumo de energia elétrica é mais significativo. A sua principal função, no que toca à iluminação de vias públicas, é a de proporcionar visibilidade rápida, precisa e confortável durante a noite. Estes fatores protegem e incentivam o tráfego de veículos e peões. Assim, a iluminação pública:

- Funciona como elemento de interação social;
- Promove diferentes ambientes simbólicos e psicológicos;
- Funciona como linguagem visual;
- Permite interagir como paisagem noturna;
- Tem um impacto direto no comércio e no setor do turismo.

Para além disso, a IP permite reduzir a criminalidade e aumentar a perceção de segurança, reduzindo o número e gravidade dos acidentes rodoviários no período noturno, até 30%. No caso de uma via rápida ou autoestrada, a iluminação deverá proporcionar ao condutor uma circulação em segurança, garantindo que este possa visualmente determinar o seguinte:

- Possíveis obstáculos a uma dada distância de modo evitar algum sinistro;
- Os limites da via, para este poder manter o veículo na posição correta dentro da faixa;
- A localização e o significado de sistemas ou sinais de trânsito, afetos ao código da estrada;
- A deteção de objetos ou veículos móveis dentro da via e futura rota de deslocação dos mesmos.

Nos dias hoje, com a escassez de recursos essenciais nos mais diversos contextos, é crucial ter em consideração os objetivos associados à eficiência energética, sendo necessário avaliar as soluções existentes, no que toca ao consumo energético dos sistemas de iluminação de vias e de edifícios públicos. Deste modo, foi editado o Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública, o qual prevê determinadas metodologias que permitem tornar as várias instalações de iluminação pública energeticamente mais eficientes [Energy Efficiency, 2015]. Com estas medidas pretende-se ir ao encontro da concretização dos objetivos impostos pela União Europeia (UE) aos diferentes Estados-Membros, por forma a cumprir as metas previstas para a eficiência energética. Tal é possível através do aproveitamento de novas tecnologias de iluminação, que podem representar uma diminuição considerável do consumo energético, bem como das emissões de CO<sub>2</sub>, o que constitui vantagens tanto ao nível ambiental e ao nível dos cidadãos, proporcionando-lhes uma melhor qualidade de iluminação. Uma outra vantagem da implementação de sistemas mais eficientes é a rápida amortização do investimento necessário, o que permite a obtenção de benefícios complementares com o aumento da competitividade a nível europeu [Aura light, 2013] [Energy Efficiency, 2015].

### **4.3. Programas para a Sustentabilidade Energética**

Cada Estado-Membro possui vários objetivos a cumprir, por forma a cumprir as metas relacionadas com a sustentabilidade energética. Em particular, Portugal criou a ENE 2020 – Estratégia Nacional de Energia 2020 – onde são definidas as estratégias para o cumprimento das medidas impostas pela UE. A ENE 2020 tem como principais objetivos a competitividade, crescimento e independência energética e financeira do país, cuja aposta passa pelas energias renováveis e pela promoção da eficiência energética, assegurando a segurança do abastecimento e a sustentabilidade económica e ambiental do modelo energético. Esta estratégia é composta por 5 eixos principais, incluindo medidas a tomar no setor da iluminação pública [Santos, 2011].

São eles:

- Eixo 1 - Agenda para a competitividade, o crescimento e a independência energética e financeira;
- Eixo 2 - Aposta nas energias renováveis;
- Eixo 3 - Promoção da eficiência energética;
- Eixo 4 - Garantia da segurança de abastecimento;
- Eixo 5 - Sustentabilidade económica e ambiental.

A finalidade destas medidas consiste em promover a utilização racional de energia, a eficiência energético-ambiental em equipamentos de iluminação pública existentes e alcançar a melhoria da eficiência energética de instalações, permitindo a consequente diminuição das emissões de CO<sub>2</sub> [Energy Efficiency, 2015].

Entre as várias medidas a implementar no âmbito da eficiência energética, a principal destaca o uso de equipamentos e/ou soluções mais eficientes que visem a melhoria da eficiência energética das instalações, nomeadamente:

- Instalação de sistemas de regulação de fluxo luminoso;
- Substituição de luminárias ineficientes, ou com mais de 10 anos de utilização, por equipamentos com melhor capacidade de reflexão e/ou necessidade de fontes de luz de menor potência;
- Substituição de balastos ineficientes ou com mais de 10 anos;
- Substituição de lâmpadas de vapor de mercúrio por fontes mais eficientes, como a tecnologia LED;
- Instalação de tecnologias de controlo, gestão e monitorização da Iluminação Pública.

#### **4.4. Legislação em Vigor Associada à Iluminação Pública – EN13201**

De modo a realizar-se um projeto de iluminação pública por forma a cumprir rigorosamente todos os critérios é essencial terem-se em conta dois fatores: a obtenção dos resultados esperados e o cumprimento de toda a legislação aplicável. Para tal, existe a norma EN 13201, que está associada a vários países da Europa, como: Alemanha, Áustria, Bélgica, França, Portugal, Malta, Reino Unido, etc [Santos, 2011].

Esta norma encontra-se dividida em quatro partes:

- EN 13201-1: Escolha das classes de iluminação [CEN, 2004];
- EN 13201-2: Parâmetros fotométricos recomendados [CEN, 2015];
- EN 13201-3: Cálculo dos parâmetros fotométricos [CEN, 2015];
- EN 13201-4: Métodos de medição das performances fotométricas [CEN, 2015].

##### **4.4.1. EN 13201-1 – Escolha das Classes de Iluminação**

Esta primeira norma determina a escolha das classes de iluminação consoante o tipo de via a que se destina a iluminação [Armínio Teixeira] [CEN, 2004]. As classes de iluminação existentes são:

- Classes de iluminação M para tráfego monitorizado;
- Classes de iluminação C para áreas de conflito;
- Classes de iluminação P para áreas pedestres e áreas onde o tráfego se processe a velocidade reduzida.

Para a classe M são tidos em conta os seguintes parâmetros:

- Velocidade - natureza da via: alta ou moderada;
- Geometria - separação de vias, tipos de entradas/saídas na via, áreas de conflito: separação das vias – sim ou não; densidade de saídas/entradas na via – alta ou moderada;
- Natureza do tráfego - fluxo de tráfego, ciclistas, peões, estacionamento: apenas motorizado, ou misto com elevada percentagem de não-motorizado;
- Influências ambientais - complexidade do campo visual, luminância envolvente, condições climatéricas;
- Orientação visual, controlo de tráfego: fraca, boa ou muito boa.

As áreas de conflito caracterizam-se pela interseção de vias de circulação em áreas frequentadas por peões e ciclistas, sendo exemplo dessas zonas: cruzamentos, rotundas, estradas de ligação com largura e número de faixas reduzidas, etc.

Assim, para a classe C são tidos em conta os seguintes parâmetros:

- Velocidade: alta, moderada ou baixa;
- Volume de tráfego: muito elevado, elevado, moderado, reduzido ou muito reduzido;
- Composição do tráfego: apenas motorizado, misto, ou misto com elevada percentagem de não-motorizado;
- Separação das vias: sim ou não;
- Luminância envolvente: muito alta, alta, moderada, baixa ou muito baixa;
- Orientação visual, controlo de tráfego: pobre, bom, muito bom.

Por fim, para a classe P, os parâmetros a considerar são:

- Velocidade: baixa ou muito baixa;
- Volume de tráfego: muito elevado, elevado, moderado, baixo ou muito baixo;
- Composição do tráfego: peões, ciclistas e tráfego motorizado; peões e tráfego motorizado; apenas peões e ciclistas; apenas peões; apenas ciclistas.
- Estacionamento de veículos: presente ou ausente;
- Reconhecimento facial: necessário ou não;
- Luminância envolvente: muito alta, alta, moderada, baixa ou muito baixa.

A relação estabelecida entre as diferentes classes de iluminação e os critérios a ter em consideração é demonstrada pelas tabelas seguintes com os variados níveis de luminância. Os valores tabelados referem-se à luminância média recomendada para os diversos tipos de vias. Primeiramente é apresentada a tabela 4.1. com as categorias de via e os respetivos tipos.

**Tabela 4.1.** - Categorias de via e os respetivos tipos [Armínio Teixeira] [CEN, 2004]

<b>Categoria da via</b>	<b>Tabela</b>	<b>Tipo de via</b>
Interurbana	1	Autoestrada Estrada nacional Estrada secundária
Urbana	2	Autoestrada urbana Circunvalação Estrada periférica Estrada de entrada em zona habitada ou não habitada
	3	Avenida Via secundária Via de serviço
	4	Via comercial Via pedonal Pista de ciclismo Passeio Rotunda
Rural	5	Via de acesso a localidade Rua principal Via transversal Loteamento Rotunda

As tabelas 4.2. e 4.3. dizem respeito aos valores de luminância média recomendada para as vias interurbanas nas quais as velocidades máximas autorizadas estão compreendidas entre 70 e 130 km/h.

As tabelas 4.4. e 4.5. dizem respeito aos valores de iluminância média recomendada para as vias urbanas, para as quais as posições de observação são múltiplas e não permitem exprimir valores de luminância significativos, com uma velocidade máxima permitida de 50 km/h.

Por último, a tabela 4.6. é específica para as situações encontradas em zonas rurais, nas quais as performances são sempre indicadas em termos de iluminância.

**Tabela 4.2.** - Nível de luminância média (cd/m<sup>2</sup>) para vias interurbanas [Armínio Teixeira] [CEN, 2015]

Quadro	Tipo de via	Características	Luminância média (cd/m <sup>2</sup> )		Norma EN 13201.1	
			Fraca	Elevada	Classe Iluminação	Situações
1	<b>Autoestrada Interurbana</b> - Vias separadas - Velocidade <= 130 km/h - Apenas veículos motorizados	- Complexidade: normal - Densidade de tráfego: elevada - Distância entre acessos >= 3 km				A <sub>1</sub>
		1500 <= Densidade tráfego <= 25000	1	1,5	ME <sub>3</sub>	
		Densidade tráfego >= 25000	1,5	2	ME <sub>2</sub> ME <sub>1</sub>	
3	<b>Estrada Nacional Interurbana</b> - Via única Velocidade <= 90 km/h - Veículos motorizados - Veículos motorizados lentos - Ciclistas	- Complexidade: normal - Veículos em estacionamento: não - Densidade de tráfego: elevada Distância entre acessos: <= 3 km				A <sub>2</sub>
		Densidade de tráfego <= 7000	1	1,5	ME <sub>3</sub>	
		Densidade tráfego <= 25000	1,5	2	ME <sub>2</sub>	
		Densidade de tráfego >= 25000	1,5	2	ME <sub>2</sub> ME <sub>1</sub>	
4	<b>Estrada Secundária Interurbana</b> - Velocidade <= 90 km/h - Veículos motorizados - Veículos motorizados lentos - Ciclistas	Complexidade: normal Densidade de tráfego: normal Distância entre acessos: <= 3 por km				B <sub>2</sub>
			0,75	-	ME <sub>4</sub>	
			-	1	ME <sub>3</sub>	

**Tabela 4.3.** - Nível de luminância média (cd/m<sup>2</sup>) para vias urbanas [Armínio Teixeira] [CEN, 2015]

Quadro	Tipo de via	Características	Luminância média (cd/m <sup>2</sup> )		Norma EN 13201.1	
			Fraca	Elevada	Classe Iluminação	Situações
2	<b>Circunvalação Autoestrada Urbana</b> - Vias separadas - Velocidade <= 110 km/h - Apenas veículos motorizados	- Complexidade: elevada - Densidade de tráfego: elevada - Distância entre acessos >= 3 km				A <sub>1</sub>
		1500 <= Densidade tráfego <= 25000	-	1,5	CE <sub>2</sub>	
		Densidade tráfego >= 25000	-	2	CE <sub>2</sub>	
5	<b>Estrada de Entrada em Cidade</b> - Via única Velocidade <= 70 km/h - Zona sem habitação - Zona industrial - Veículos motorizados - Ciclistas - Peões	- Complexidade: elevada - Veículos em estacionamento: não - Tráfego de ciclistas: existente - Cruzamentos >= 3 por km - Densidade de tráfego: elevada	1	1,5	ME <sub>3</sub> ME <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>
6	<b>Estrada de Entrada em Localidade</b> - Velocidade <= 70 km/h - Zona habitada - Veículos motorizados - Veículos motorizados lentos - Ciclistas - Peões	Complexidade: elevada Veículos em estacionamento: sim Tráfego de ciclistas: normal Distância entre acessos: >= 3 por km Densidade de tráfego elevada				B <sub>2</sub>
			-	1,5	ME <sub>2</sub>	

**Tabela 4.4.** - Nível de iluminância média (lux) em vias urbanas [Armínio Teixeira] [CEN, 2015]

Quadro	Tipo de via	Características	Iluminância média (lux)		Norma EN 13201.1	
			Fraca	Elevada	Classe Iluminação	Situações
7	<b>Via Urbana Importante (Praça, Avenida)</b> - Velocidade <= 50 km/h - Veículos motorizados - Veículos lentos - Ciclistas - Peões	- Complexidade: elevada - Veículos em estacionamento: sim - Tráfego de ciclistas: normal - Cruzamentos >= 3 por km - Densidade de tráfego: elevada	-	20	CE <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>
8	<b>Via Urbana Secundária (Rua, Avenida)</b> Velocidade <= 50 km/h - Veículos motorizados - Veículos lentos - Ciclistas - Peões	- Complexidade: normal a elevada - Veículos em estacionamento: sim - Tráfego de ciclistas: normal - Cruzamentos <= 3 por km - Densidade de tráfego: normal	10	15	CE <sub>4</sub> CE <sub>3</sub>	B <sub>2</sub>
9	<b>Serviço Rodoviário (Rua)</b> -Velocidade <= 30 km/h -Veículos motorizados -Veículos lentos - Ciclistas	Complexidade: normal ou elevada Veículos em estacionamento: sim Tráfego de ciclistas ou peões: normal ou elevado Tráfego automóvel: normal ou elevado Risco de agressão: normal ou elevado Reconhecimento da face: necessário	10	15	CE <sub>4</sub> CE <sub>3</sub>	D <sub>1</sub> D <sub>2</sub> D <sub>3</sub> D <sub>4</sub>

**Tabela 4.5.** - Nível de iluminância média (lux) em vias urbanas [Armínio Teixeira] [CEN, 2015]

Quadro	Tipo de via	Características	Iluminância média (lux)		Norma EN 13201.1	
			Fraca	Elevada	Classe Iluminação	Situações
10	<b>Via Zona Comercial</b> - Velocidade <= 30 km/h - Veículos motorizados - Veículos lentos - Ciclistas - Peões	- Risco de agressão: elevado - Reconhecimento da face: necessário - Dificuldade de circulação: elevada - Densidade de peões: normal a elevada				D <sub>2</sub>
			-	20	CE <sub>2</sub>	
11	<b>Via Pedonal Isolada da Estrada</b>  - Apenas peões	- Risco de agressão: elevado - Reconhecimento da face: necessário - Densidade de peões: normal a elevada			S <sub>3</sub> a S <sub>2</sub> S <sub>2</sub> a S <sub>1</sub> CE <sub>2</sub>	E <sub>1</sub>
			7,5 a 10	15 a 20		
12	<b>Vias de Peões Pista para Ciclistas Adjacente a uma Estrada</b>	- Risco de agressão: normal - Reconhecimento da face: necessário - Densidade de peões: normal a elevada			S <sub>3</sub> a S <sub>2</sub> S <sub>2</sub> a S <sub>1</sub>	E <sub>2</sub> C <sub>1</sub>
			7,5 a 10	15		
13	<b>Praças, Rotundas</b>  -Veículos motorizados -Veículos lentos - Ciclistas - Peões	- Múltiplas interceções - Densidade de tráfego: elevada - Complexidade: elevada - Veículos em estacionamento: sim ou não - Reconhecimento da face: necessário - Risco de agressão: normal	Via de aceso mais iluminada	Praça ou rotunda respetiva	CE <sub>1</sub> CE <sub>2</sub> CE <sub>3</sub> CE <sub>4</sub>	
			20	30		
			15	20		
			10	15		
			7,5	10		

**Tabela 4.6.** - Nível de iluminância média (lux) em vias rurais [Armínio Teixeira] [CEN, 2015]

Quadro	Tipo de via	Características	Iluminância média (lux)		Norma EN 13201.1	
			Fraca	Elevada	Classe Ilumin ação	Situações
14	<b>Via de Acesso a Localidade</b> - Velocidade <= 70 km/h - Veículos motorizados - Veículos lentos - Ciclistas - Peões	- Complexidade: normal - Veículos em estacionamento: sim - Tráfego ciclista: normal - Cruzamentos >= 3 por km				B <sub>1</sub>
			15	20	CE <sub>3</sub>	
15	<b>Via de Travessia Rua Principal</b> - Velocidade <= 50 km/h - Veículos motorizados - Veículos lentos - Ciclistas - Peões	- Complexidade: normal - Veículos em estacionamento: sim - Tráfego ciclista: normal - Cruzamentos >= 3 por km				B <sub>2</sub>
			-	15 a 20	CE <sub>3</sub>	
16	<b>Via Transversal</b> - Velocidade <= 50 km/h - Veículos motorizados - Veículos lentos - Ciclistas - Peões	- Complexidade: normal - Veículos em estacionamento: sim Tráfego ciclista: normal - Cruzamentos >= 3 por km				D <sub>2</sub>
			7,5 a 10	10	CE <sub>6</sub> CE <sub>4</sub>	
17	<b>Loteamento</b> - Velocidade <= 30 km/h - Veículos motorizados - Ciclistas - Peões	- Risco de agressão: normal - Reconhecimento da face: necessário - Dificuldade de tráfego: normal				D <sub>2</sub>
			10	15	CE <sub>4</sub> CE <sub>2</sub>	
	<b>Praças, Rotundas</b>	- Múltiplas interseções	Via de aceso mais iluminada	Praça ou rotunda respetiva		

13	- Veículos motorizados	- Densidade de tráfego: elevada	20	30	CE <sub>1</sub>
	- Veículos lentos	- Complexidade: elevada	15	20	CE <sub>2</sub>
	- Ciclistas	- Veículos em estacionamento:	10	15	CE <sub>3</sub>
	- Peões	sim ou não	7,5	10	CE <sub>4</sub>
		- Reconhecimento da face: necessário			
	- Risco de agressão: normal				

#### 4.4.2. EN 13201-2 – Parâmetros Fotométricos Recomendados

A norma EN 13201-2 contém os requisitos de desempenho nas diferentes classes definidas, que se encontram nas tabelas de nível de luminância média. Esta parte da norma define, tomando em consideração requisitos fotométricos, as classes de iluminação para iluminação de vias, tendo em conta as necessidades visuais dos utilizadores, bem como os aspetos ambientais da iluminação de vias. Uma classe de iluminação consiste num conjunto de requisitos fotométricos, cujo objetivo é proporcionar aos utilizadores de um dado tipo de via as necessidades visuais adequadas, quer para a via em si quer para o ambiente envolvente. O objetivo da introdução de classes de iluminação é tornar mais fácil o desenvolvimento de produtos de iluminação destinados às vias rodoviárias nos países membros do CEN - *Comité Européen de Normalisation*. Os membros do CEN são obrigados a cumprir o Regulamento Interno do CEN/CENELEC (CENELEC – *European Committee for Electrotechnical Standardization*) que estabelece as condições para que o Padrão Europeu seja o de ter uma norma nacional sem qualquer alteração [Santos, 2011] [CEN, 2003].

Assim:

- As classes ME aplicam-se a vias onde se verifique a circulação de veículos motorizados, onde seja praticável velocidade média a alta;
- As classes CE têm a mesma aplicação das classes ME, mas para uso em áreas conflituosas, como ruas de comércio, interseção de vias de alguma complexidade, rotundas e zonas de congestionamento de trânsito. Estas classes têm aplicação em percursos mistos, ou seja, onde uma dada via permita a circulação simultânea de peões e veículos motorizados;
- As classes S e A são aplicáveis a percursos de peões e ciclovias, faixas de circulação de veículos de emergência e outras vias que se encontrem separadas da via normal de circulação, bem como áreas de estacionamento, ruas interditas à circulação de veículos, etc;
- As classes ES são classes adicionais e específicas para situações onde haja necessidade de identificação de pessoas e objetos, e em áreas de circulação com risco de crime agravado;

- As classes EV são classes adicionais e específicas para situações em que seja preciso visualizar superfícies verticais, tais como zonas de portagem, por exemplo.

Os requisitos das classes de iluminação refletem a categoria do utilizar ou tipo de via. Deste modo, as classes ME baseiam-se na luminância da superfície de via, enquanto as classes CE, S e A baseiam-se na iluminação da via. As classes ES baseiam-se em luminância semicilíndrica, enquanto as classes EV se baseiam na iluminação do plano vertical.

#### **4.4.3. EN 13201-3 – Cálculo dos parâmetros fotométricos**

Nesta parte da norma – *Road Lighting – Part 3: Calculation of Performance* – encontram-se os métodos de cálculo que permitem a obtenção das características de qualidade de iluminação mediante procedimentos padronizados, no sentido de obter, a partir de diferentes fontes, uma base uniforme.

Nesta secção são, então, definidas as diferentes convenções e procedimentos matemáticos adotados no cálculo dos parâmetros fotométricos de instalações de iluminação pública, tendo em conta a norma EN 13201-2 [Santos, 2011].

#### **4.4.4. EN 13201-4 – Métodos de medição das performances fotométricas**

Nesta norma encontram-se especificados os procedimentos a ter em consideração para se efetuar medições fotométricas e outras relacionadas, na iluminação pública. Os procedimentos adotados devem apenas ser usados para medição. Quando as medições são requeridas para comparação com valores previamente calculados, deve ser tido um maior rigor na medição de forma a ser feita uma comparação válida. Quando as medições têm o objetivo de monitorizar o estado da instalação, é possível que o leque de medições a efetuar não seja tão abrangente, podendo compreender localizações mais espaçadas. O essencial é que as medições sejam levadas a cabo da mesma forma que a monitorização.

As convenções para a posição de observação e locais de medição são os adotados na norma EN-13201-3. As condições que poderão levar a algum tipo de imprecisão nas medições estão identificadas e as precauções que permitam uma diminuição do erro estão previstas e devidamente referenciadas. Está também disponível o formato a adotar aquando da apresentação de resultados [Santos, 2011].

### **4.5. Características Gerais das Lâmpadas Utilizadas na Iluminação Pública**

Nos dias de hoje, relativamente ao tipo de lâmpadas que existem para implementar na iluminação pública, existem diversos modelos e diferentes tecnologias disponíveis. Durante

vários anos foram implementadas lâmpadas de vapor de mercúrio, no entanto, estas começaram a ser substituídas por lâmpadas de vapor de sódio, uma vez que permitem uma diminuição em termos de consumos e são menos nocivas para o ambiente.

Recentemente, com a evolução tecnológica, tornou-se possível aplicar a tecnologia LED na iluminação pública, que resulta de uma combinação de díodos, com as características e requisitos de iluminação adequados a um determinado local.

#### 4.5.1. Características Gerais de uma Lâmpada

As características que cada lâmpada apresenta são as seguintes, segundo a EN 12665:2002 [Santos, 2011]:

- Fluxo luminoso [lm]: valor inicial do fluxo luminoso da lâmpada, declarada pelo fabricante responsável, sendo a lâmpada utilizada em condições específicas e após um curto período de utilização de 100 horas;
- Potência [W]: potência consumida pela lâmpada;
- Fator de sobrevivência (FSL): fração do número total de lâmpadas que continuam a funcionar num determinado tempo sob determinadas condições e determinadas frequências de troca;
- Fator de manutenção da luminosidade da lâmpada (FMLL): rácio entre o fluxo luminoso emitido pela lâmpada num dado momento da sua vida e o fluxo luminoso inicial;
- Eficácia luminosa de uma lâmpada [lm/W]: quociente do fluxo luminoso emitido pela potência elétrica absorvida;
- CIE 1974 índice geral de cores (Índice de Reprodução de Cores - IRC).

A tabela 4.7. mostra uma classificação do índice de reprodução de cores.

**Tabela 4.7.** - Classificação do Índice de Reprodução de Cores (IRC) [Santos, 2011]

Classe	IRC
1A	IRC >= 90
1B	80 <= IRC <90
2A	70 <= IRC <80
2B	60 <= IRC <70
3	40 <= IRC <60
4	IRC <40

Existem, também, outras três características igualmente importantes, são elas:

- Temperatura de cor (K);
- Luminância (cd/m<sup>2</sup>);
- Iluminância (lux ou lm/m<sup>2</sup>);

#### 4.5.2. Principais Tipos de Lâmpadas de Iluminação Pública

##### - Lâmpada de mercúrio de alta pressão

A lâmpada de vapor de mercúrio (HPM) emite luz branco-azulada, cuja emissão se situa na região do visível dos comprimentos de onda do amarelo, verde e azul. Para este tipo de lâmpada funcionar com segurança, deve possuir um balastro para limitar a corrente a valores aceitáveis para o seu funcionamento, e, necessita também de um condensador.

Durante o seu funcionamento, o tubo de descarga de uma lâmpada HPM, contém mercúrio vaporizado a alta pressão, sendo introduzida uma pequena quantidade de gás, como o argon, de mais fácil vaporização para facilitar o arranque. Assim, existe um eléctrodo em cada extremidade do tubo, e, ao lado de cada eléctrodo principal, encontra-se um eléctrodo auxiliar de arranque. Entre o tubo de descarga e a ampola exterior existe normalmente um gás inerte que estabiliza a lâmpada, mantendo uma temperatura praticamente constante relativamente às diferentes condições ambientais [Silva, 2014].

A figura 4.1. ilustra um exemplo de uma lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão.



**Figura 4.1.** - Lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão [Silva, 2014]

As principais características das lâmpadas de HPM são [Silva, 2014]:

- Eficiência luminosa baixa: 36 a 60 lm/W;
- Índice de restituição de cores baixo: 40 a 57;
- Tempo médio de vida baixo: 10 000 a 16 000 horas;
- Temperatura de cor: 3000 a 5000 K;
- Tempo de arranque e de re-arranque: 4 e 6 minutos;
- Necessitam de aparelhagem auxiliar: balastro e condensador;
- Usadas em iluminação pública e em iluminação industrial.

### - Lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão

de baixa pressão (LPS) possui na sua constituição elétrodos aquecidos, balastro e ignitor. Este é o tipo de lâmpada que possui maior rendimento luminoso, chegando a apresentar uma eficiência luminosa superior a 180 lm/W. No entanto, tem a desvantagem de possuir um espectro praticamente monocromático na região do amarelo, o que significa que possui o pior índice de restituição de cor de todas as fontes luminosas, que é zero. Para além disso, tem um tempo de vida útil muito baixo.

A figura 4.2. apresenta um exemplo de uma lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão.



**Figura 4.2.** - Lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão [Silva, 2014]

As principais características de uma lâmpada de LPS são [Silva, 2014]:

- Lâmpadas de maior eficiência luminosa, atingindo os 200 lm/W;
- Índice de restituição de cores praticamente nula;
- Temperatura de cor: 1700 K;
- Tempo médio de vida baixo: 12 000 horas;
- Tempo de arranque e de re-arranque: 10 minutos e instantâneo;
- Necessitam de aparelhagem auxiliar: balastro, ignitor e condensador;
- A luz emitida é monocromática amarela.

### - Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão

A lâmpada de vapor de sódio de alta pressão (HPS) é uma lâmpada de alta intensidade, caracterizada por ter uma eficiência luminosa e durabilidade elevadas. A sua utilização é bastante comum na iluminação exterior e industrial, sendo uma melhor alternativa à lâmpada

de vapor de mercúrio em termos de eficiência luminosa, principalmente quando o índice de restituição de cor não é uma prioridade. Quanto ao tubo de descarga, este é feito de um mineral capaz de aguentar a grande intensidade química do vapor de sódio, havendo temperaturas na ordem dos 700 °C. A tensão de arco existente neste tipo de lâmpada aumenta entre 1 a 2 V por cada 100 horas de funcionamento devido à diminuição da pressão dos gases que compõem a mistura dentro do tubo de descarga, que resulta da impregnação de sódio nas paredes do tubo. Este incremento é bastante relevante, uma vez que aumentos de cerca de 10 % no valor da tensão de arco implicam aumentos entre 20 a 25 % da potência.

Na figura 4.3. encontra-se um exemplo de uma lâmpada de vapor de sódio de alta pressão.



**Figura 4.3.** - Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão [Santos, 2011]

As principais características de uma lâmpada HPS são [Silva, 2014]:

- Emitem luz de aparência amarelo-alaranjada;
- Eficiência luminosa dos 90 lm/W até 140 lm/W;
- Índice de restituição de cores baixo: 20 a 40;
- Temperatura de cor: 1900 a 2500 K;
- Tempo médio de vida razoável: 16 000 a 32 000 horas;
- Tempo de arranque e de re-arranque: 5 minutos e 1 minuto;
- Necessitam de aparelhagem auxiliar: balastro, ignitor e condensador;
- A iluminação com estas lâmpadas causa uma impressão mais agradável do que com as lâmpadas de HPM.

#### - Tecnologia LED

A tecnologia LED veio revolucionar a forma como se utiliza a luz, permitindo fontes de iluminação totalmente controláveis e ajustáveis, que podem ser integradas em redes inteligentes e comunicativas. A transformação de energia elétrica é totalmente diferente da encontrada em

lâmpadas convencionais, pois nos LED este processo é efetuado na matéria sólida, sendo também denominado de iluminação em estado sólido.

A figura 4.4. ilustra um exemplo de uma luminária LED.



**Figura 4.4.** - Exemplo de luminária LED

As principais vantagens do uso de LED na IP são [Silva, 2014]:

- Podem emitir luz de uma determinada cor, sem o uso de filtros;
- Pode ser desenhado de modo a focar a luz emitida pontualmente, sem o uso de refletores externos;
- Não necessitam de sistemas para arrancarem, nem necessitam de arrancadores nem de ignitores;
- Quando são usados com regulação de fluxo não modificam a tonalidade da cor da luz emitida com a variação da corrente que os atravessa;
- São bastante robustos em comparação com os restantes tipos de lâmpadas;
- Têm um tempo de vida médio bastante elevado: 35 000 a 100 000 horas;
- Atingem o seu fluxo nominal muito rapidamente (menos de 100 ns);
- Podem ter dimensões muito reduzidas;
- Vasta gama de temperaturas de cor;
- Maior conforto visual;
- Elevado índice de restituição de cor: superior a 70;
- Elevada eficiência, mais de 90% da energia consumida é transformada em luz;
- Menor envelhecimento precoce.
- Regulação do fluxo luminoso de 100% até perto dos 0%.
- Os LED não contêm mercúrio prejudicial para o ambiente, ao contrário de todos os tipos de lâmpadas de vapor de mercúrio e para a maioria de vapor de sódio.

As principais desvantagens do uso de LED em IP são [Silva, 2014]:

- Com o passar dos anos, a luminosidade de um LED não se mantém constante, podendo-se degradar de forma acentuada;
- Tecnologia de iluminação recente, custos de implantação ainda elevados;
- Distúrbios na rede, levando à necessidade de se investir em sistemas de proteção;
- Apresentam uma cor branca demasiado fria em alguns casos;

- Necessidade de dispositivos de dissipação de calor nos LED de alta potência, pois a quantidade de luz emitida pelo LED diminui com o aumento da temperatura;
- Incerteza na fiabilidade/durabilidade quando expostas à intempérie;
- Dados a longo prazo sobre performance fotométrica não existem devido ao estado recente da tecnologia;
- Custos de manutenção ainda pouco quantificados;
- Distribuição da luz e uniformidade de brilho ainda não totalmente otimizados;
- Falta de standardizações e testes de qualidade, resultando numa grande discrepância na qualidade dos produtos LED;
- Dificuldade de produção em massa para reduzir os custos enquanto não houver especificações e standardizações para os LED.

#### 4.6. LED – Significado e Propriedades

O LED – Díodo Emissor de Luz – é uma fonte de luz não emissora de calor e com capacidade de personalizar o fluxo de luz, tanto em luz branca com temperaturas de cor diferentes (entre os 2700° K e os 6500° K), tais como emissões de luzes de diferentes cores, e até mesmo a dinâmica luz RGB [Tecnologia LED, 2014].

Em 1962, o investigador Nick Holonyak Jr. da General Electric, desenvolveu o primeiro LED capaz de emitir uma luz visível (vermelha). Pouco tempo depois surgiram os LED's verdes e amarelos, ficando esta tecnologia limitada a três cores durante décadas. Só mais tarde, nos anos 80, outras tecnologias de semicondutores permitiram que os LED's ganhassem novos formatos e intensificassem o brilho da luz, o que permitiu o seu uso em semáforos [História do LED, 2011].

O marco histórico dos LED surgiu em 1993, quando os investigadores japoneses Isamu Akasaki e Hiroshi Amano, juntamente com o cientista Shuji Nakamura, inventaram o primeiro LED azul de alto brilho. Esta descoberta possibilitou a criação do LED branco. Desta forma, o LED passou a ser utilizado em grande escala na indústria automobilística. Finalmente, em 2014, o trio referido anteriormente foi galardoado com o Prémio Nobel da Física [História do LED, 2011].

Nos anos de 1997 e 1998 apareceram as primeiras luminárias destinadas à arquitetura produzidas em larga escala, sendo que, em 2000 surgiu o LED Luxeon I, com 25 lúmens num único emissor, marca nunca antes atingida. Daí para a frente a indústria LED progrediu cada vez mais, de tal forma que nos dias de hoje o seu uso é aplicado em vários contextos: residências, áreas comerciais, iluminação decorativa, iluminação pública, e até mesmo iluminação automóvel [História do LED, 2011].

A tecnologia LED é, portanto, uma das maiores promessas no que diz respeito à iluminação em geral, possuindo uma grande qualidade quando comparada com outro tipo de luminárias (vapor de sódio, mercúrio, etc). Esta possui luz de qualidade, com alto rendimento cromático, estabilidade da temperatura ao longo do tempo e brilho; é amiga do ambiente, uma vez que não contém metais pesados como o chumbo e mercúrio; possui uma enorme durabilidade de cerca de 100000 horas de luz; é bastante económica, permitindo substituir as lâmpadas tradicionais,

por forma a reduzir o consumo energético até 70 %. Assim sendo, a duração praticamente ilimitada dos LED's e a significativa economia de energia, resultam numa redução drástica dos variados custos relacionados com a manutenção e com as faturas de eletricidade [Tecnologia LED, 2014].

O LED - Díodo Emissor de Luz – é um dispositivo semicondutor que converte eletricidade diretamente em luz. A luz emitida é monocromática (possui uma só cor) e é produzida a partir das interações energéticas dos eletrões. Esta tecnologia funciona em tensão reduzida (10 V ou 24 V), consumindo em média 1 W, o que permite uma poupança de energia considerável, com a grande vantagem de praticamente não emitir radiações infravermelhas ou ultravioletas. Para além destas, existem outras variadas vantagens: dimensão compacta, longo tempo de vida, baixos requisitos de manutenção, luz branca, longa durabilidade, e várias capacidades de *design*. A figura 4.5. mostra o esquema típico de um LED.

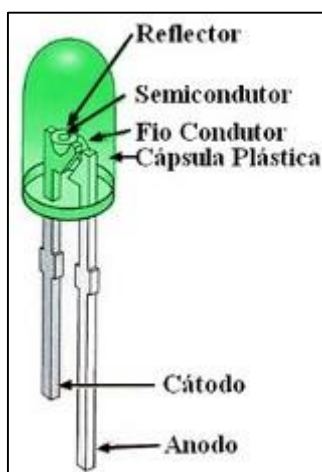


Figura 4.5. - Esquema típico de um LED

O fluxo direcional dos LED permite que a luz seja direcionada com precisão para a área a iluminar, reduzindo deste modo a luz intrusiva e proporcionando uma iluminação de muito melhor qualidade.

Por forma a obter uma potência total a emitir por uma luminária a LED é necessário efetuar uma combinação de vários LED, até se perfazer a potência total pretendida. Uma desvantagem do uso desta tecnologia é a sua fraca aplicabilidade em altas potências dado que, quando aumenta a potência, torna-se necessário incrementar o número de LEDs. Deste modo, apenas se consegue obter uma poupança significativa com a utilização da tecnologia LED quando a mesma é aplicada às baixas potências. Outras desvantagens são o facto de o ângulo de abertura ser baixo, possuir uma cor branca muito fria, ter um custo mais alto comparativamente com outro tipo de luminárias [Santos, 2011].

A tabela 4.8. apresenta as diferentes características dos diversos tipos de lâmpadas. Pela análise da mesma, é, sem dúvida notória a diferença de características da tecnologia LED em

comparação com as das outras tecnologias, pois em quase todos os aspetos essenciais os valores obtidos são bastante melhores.

**Tabela 4.8.** - Comparação das características dos vários tipos de lâmpadas [Santos, 2011]

	HPM	HPS	LPS	Iodetos metálicos	LED
<b>Rendimento luminoso</b> [lm/W]	De 40 a 60	De 80 a 150	De 120 a 200	De 65 a 120	Por vezes > 150
<b>Temperatura de cor</b>	De 3000 K a 4000 K	De 2000 K a 3200 K	De 1800 K a 2000 K	De 3000 K a 6000 K	3000 K
<b>IRC</b>	De 40 a 55	De 20 a 70	≈ 0	De 81 a 95	> 75
<b>Duração média (horas)</b>	De 10000 a 12000	De 8000 a 12000	De 12000 a 18000	De 3000 a 9000	60000
<b>Tempo de arranque (minutos)</b>	≈ 4	≈ 5	≈ 10	≈ 4	Instantâneo
<b>Luminância</b> [cd/m <sup>2</sup> ]	De 4 a 15	De 25 a 500	6	De 100 a 6000	<sup>3*</sup>
<b>Período de manutenção</b>	2 anos	3 a 4 anos	3 a 4 anos	3 anos	12 anos
<b>Equipamento auxiliar</b>	Balastro e condensador	Arrancador, balastro e condensador	Arrancador, balastro e condensador	Arrancador, balastro e condensador/balastro electrónico	Inexistente

#### 4.7. Características das Luminárias do Tipo LED

Uma luminária do tipo LED consiste num dispositivo que distribui, filtra ou transforma a luz transmitida por um ou mais LEDs e que inclui todas as peças necessárias para apoio, fixação e proteção dos LEDs (mas não as luzes em si), e, quando necessário, auxiliares de circuito, em conjunto com os meios para fazer a ligação à fonte.

À semelhança do que acontece com todo o tipo de luminárias, estas têm igualmente, de obedecer a várias normas, sendo posteriormente adquiridas pela EDP Distribuição ou por outras entidades, para inserir nas redes de distribuição. O objetivo de implementação deste tipo de luminárias é o de proporcionar boa visibilidade para os utilizadores de zonas públicas, durante as horas de escuridão, permitindo haver a devida segurança pessoal e rodoviária, de acordo com a norma de EN13201-1.

De acordo com a diretiva DMA-C71-111/N do regulamento da EDP Distribuição de Julho de 2013, os principais elementos a ter em conta relativamente à identificação das luminárias são:

<sup>3\*</sup> Dependente do nível de iluminação pretendido

- **Corrente de alimentação** – Corrente nos terminais de alimentação quando a luminária está estabilizada em utilização normal à tensão ou frequência nominal;
- **Proteção fotobiológica** – Característica cujo objetivo é tornar a radiação luminosa emitida menos nociva para o meio vivo;
- **Controlador da alimentação (*driver*)** – Converte a tensão alterna da rede em tensão contínua de forma a alimentar todos os componentes eletrônicos da luminária e a controlar a corrente fornecida nos vários modos de funcionamento dos LEDs;
- **Corpo principal** - Componente onde se instalam os equipamentos eletrônicos, fonte de luz e sensores, sendo também responsável pela correta dissipação do calor através do processo de condução térmica, pelo que deverá estar dimensionado e desenhado de acordo com as especificações térmicas do LED utilizado;
- **Difusor** - Dispositivo que serve para modificar a repartição espacial do fluxo luminoso de uma fonte de luz utilizando essencialmente o fenómeno de difusão;
- **Lente primária** - Parte ótica integrante do LED;
- **Lente secundária** - Qualquer ótica que seja adicionada ao LED na fase de integração do mesmo na luminária;
- **Módulo de LEDs** - Unidade fornecida como fonte luminosa que pode conter um ou mais LEDs. Pode eventualmente conter entre outros componentes como: óticas, componentes elétricos, mecânicos ou eletrônicos;
- **Eficácia luminosa da luminária (lm. W-1)** - Quociente do fluxo emitido pela fonte e a potência consumida por esta;
- **Surround Ratio (SR)** - Razão entre iluminância média nas faixas exteriores da estrada e a iluminância média nas faixas interiores da estrada;
- **Threshold Increment (TI)** - Medida da perda de visibilidade causada pelo ofuscamento provocado pela luminária;
- **Altura nominal da coluna** - Distância entre o ponto de fixação da luminária e o solo;
- **Altura total do poste** - Distância entre o topo e a base do poste;
- **Altura útil da luminária** - Distância da luminária ao solo;
- **Grau de poluição 3** - Presença de uma poluição condutora ou poluição seca não condutora que se torna condutora devido à condensação que se pode produzir (subsecção 4.6.2 da IEC 60664-1);
- **DLOR** - Razão entre o fluxo emitido para baixo sob condições específicas com os LEDs introduzidos no interior do corpo da luminária e a soma do fluxo dos módulos de LEDs fora da luminária (VEI 845-09-40);
- **LOR** - Razão entre o fluxo total da luminária medida sob condições específicas com o (s) LEDs introduzidos no interior do corpo da luminária e a soma dos fluxos luminosos dos módulos de leds operando fora da luminária;
- **ULOR** - Razão entre o fluxo emitido para cima sob condições específicas com os módulos LEDs introduzidos no interior da luminária e a soma do fluxo dos módulos de leds operando fora da luminária (VEI 845-09-40);

- **Fator de manutenção do fluxo luminoso** - Relação do fluxo luminoso da fonte de luz num dado momento da sua vida e o fluxo luminoso inicial (exprime-se normalmente em percentagem).

As tabelas 4.9. e 4.10. mostram o tipo e características de luminárias normalizadas existentes admitidas pela EDP Distribuição.

**Tabela 4.9.** - Tipo de luminárias normalizadas sem integração de sistemas de regulação de fluxo (luminárias comuns) [EDP, 2013]

Pos.	Código SAP	Ref. da luminária do fabricante	Instalação $\phi$ tubo (mm)	Montagem da luminária		Aplicação em rede tipo
				Coluna	Poste	
				Altura nominal (metros)	Altura total (metros)	
1	331881	LUMLED JAR X 25 W	60	4	-	Subterrânea
2	331882	LUMLED JAR X 40 W				
3	331883	LUMLED VCA X 65 W		8		
4	331884	LUMLED VCA X 100 W				
5	331885	LUMLED VCA X 150 W		10		
6	331886	LUMLED VCA X 180 W				
7	331887	LUMLED VCA X 250 W				
8	331888	LUMLED VCA F 25 W	42	-	8	Aérea
9	331889	LUMLED VCA F 35 W			9	
10	331890	LUMLED VCA F 45 W				
11	331891	LUMLED VCA F 80 W			10	
12	331892	LUMLED VCA F 120 W			12	

**Tabela 4.10.** - Tipo de luminárias normalizadas com integração de sistemas de regulação de fluxo [EDP, 2013]

Pos.	Código SAP	Ref. da luminária do fabricante	Instalação $\phi$ tubo (mm)	Montagem da luminária		Aplicação em rede tipo
				Coluna	Poste	
				Altura nominal (metros)	Altura total (metros)	
13	331893	LUMLED JAR X 25 W RF	60	4	-	Subterrânea
14	331894	LUMLED JAR X 40 W RF				
15	331895	LUMLED VCA X 65 W RF		8		
16	331896	LUMLED VCA X 100 W RF		10		
17	331897	LUMLED VCA X 150 W RF				
18	331898	LUMLED VCA X 180 W RF				
19	331899	LUMLED VCA X 250 W RF		12		
20	331900	LUMLED VCA F 25 W RF	8			
21	331901	LUMLED VCA F 35 W RF	9			
22	331902	LUMLED VCA F 45 W RF	10			
23	331903	LUMLED VCA F 80 W RF				
24	331904	LUMLED VCA F 120 W RF	12	42	-	

#### 4.8. Condições Normais de Serviço das Luminárias

Para o normal funcionamento nas condições normais de serviço das luminárias terão de ser cumpridos os seguintes requisitos, segundo a diretiva DMA-C71-111/N:

- Temperatura do ar ambiente no local de instalação, compreendida entre  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , com um valor médio num período de 24 horas que não exceda  $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$  e com um valor médio anual que não exceda os  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

- Radiação solar não superior a  $1000\text{ W/m}^2$  (num dia de céu limpo, ao meio-dia);

- Altitude não superior a 2000 m;
- Grau de poluição 3, de acordo com a secção 4.6.2 da IEC60664-1;
- Categoria de sobretensão II – 2,5 kV (IEC 60664-1- anexo U da IEC 60598-1);
- Velocidade do vento não excede os 42 m/s, de acordo com a secção 3.6.3 da IEC 60598-2-3.

As luminárias serão alimentadas pela rede de distribuição de energia elétrica de baixa tensão da EDP Distribuição, cujas características elétricas se encontram na tabela 4.11.

**Tabela 4.11.** - Características elétricas da rede [EDP, 2013]

Características	Unidade	Valor
Tensão nominal da rede, Un	V	230
Frequência da rede, f	Hz	50
Regime de neutro	--	Direto à terra

#### 4.8.1. Requisitos de Fixação

As luminárias são fixadas em colunas com braço e colunas direitas, numa peça tubular com 60 mm de diâmetro exterior. No caso de fixação em poste ou parede estas são fixadas em tubos de aço galvanizado de diâmetro exterior, de 42 ou 60 mm.

As luminárias devem ser preparadas para ligação à rede de iluminação, através de condutores com as seguintes dimensões:

- 2,5 mm<sup>2</sup> para luminárias alimentadas por rede subterrânea;
- 4 mm<sup>2</sup> para luminárias alimentadas por rede aérea.

Estas devem possuir um espaço adequado com tampa que, quando aberta, facilite o acesso aos acessórios e ligações que se encontram no interior, sendo que a ligação das mesmas à rede é feita pelo interior do tubo de fixação.

#### 4.8.2. Classificação das Luminárias

As luminárias classificam-se de acordo os seguintes parâmetros:

- **Proteção contra choques elétricos** – As luminárias podem ser de classe I ou II, de acordo com a norma EN 60598-1;
- **Proteção contra a penetração de resíduos** – O compartimento que inclua módulo de LEDs e o *driver* deverá ser ensaiado para um grau de proteção mínimo IP 66. O compartimento de ligação à rede, caso exista, deverá ser previsto para grau de proteção mínimo IP 54. O grau de proteção deverá cumprir com a norma EN 60598-1;

- **Condições de utilização** – As luminárias devem ser concebidas para condições de utilização normal, de acordo com a norma EN 60598-1;
- **Proteção fotobiológica** – Os riscos da radiação visível das luminárias LED têm de ser avaliados e classificados de acordo com os requisitos da norma IEC 62471-2 (*Photobiological Safety of Lamps and Lamp Systems*). De acordo com os perfis dessa norma, a luminária LED deve enquadrar-se no perfil do tipo baixo risco (Grupo 1 – *Low Risk*).

## 4.9. Marcação das Luminárias

### 4.9.1. Generalidades

A marcação deve estar de acordo com a norma EN 60598-1, com a seguinte informação:

- Marca registada, denominação comercial e/ou nome do fabricante;
- Referência da luminária;
- Potência total consumida pela luminária;
- Ano e semana de fabrico representados na forma yy W ww (ano W semana);
- Tensão nominal;
- Frequência de funcionamento;
- Temperatura ambiente máxima estipulada;
- Temperatura de cor;
- Símbolo da classe de proteção contra choques elétricos;
- Grau e proteção IP;
- Grau de proteção IK.

### 4.9.2. Características Fotométricas

De forma a possuírem um rendimento ótico ideal, as luminárias devem possuir os seguintes valores:

Luminárias de jardim (JAR):

- LOR (%)  $\geq 85$
- ULOR (%)  $\leq 1$
- DLOR (%)  $\geq 84$

Luminárias para vias de circulação automóvel (VCA):

- LOR (%)  $\geq 90$
- ULOR (%)  $\leq 1$
- DLOR (%)  $\geq 89$

As tabelas 4.12. e 4.13. mostram a várias características associadas às luminárias, das quais se destacam as características fotométricas:

**Tabela 4.12.** - Características fotométricas das luminárias sem integração de sistema de regulação de fluxo (luminárias comuns) [EDP, 2013]

Pos.	Código SAP	Ref. da luminária do fabricante	Altura útil da luminária (h) em colunas (metros)	Altura útil da luminária (h) em postes (metros)	Distância entre colunas ou postes (metros)	Largura da faixa de rotação para Lum. VCA e largura da zona pedonal para Lum. (JAR) (metros)	Classe Iluminação	Valores de referência						
								L <sub>med</sub> (mín.) (cd/m <sup>2</sup> )	UI mín.	U0 mín.	E <sub>med</sub> mín. (lux)	E <sub>min</sub> (lux)	SR (mín)	TI (máx) (%)
1	331881	LUMLED JAR X 25 W	4	-	3,5 x h	6	S3	-	-	-	7,5	1,5	-	-
2	331882	LUMLED JAR X 40 W		-			S2	-	-	-	10	3	-	-
3	331883	LUMLED VCA X 65 W	8	-		7	ME5	0,5	0,4	0,35	-	-	0,5	15
4	331884	LUMLED VCA X 100 W		-			ME4a	0,75	0,6	0,4	-	-	0,5	15
5	331885	LUMLED VCA X 150 W	10	-		9	ME4a	0,75	0,6	0,4	-	-	0,5	15
6	331886	LUMLED VCA X 180 W		-			ME3a	1	0,7	0,4	-	-	0,5	15
7	331887	LUMLED VCA X 250 W	12	-		10	ME3a	1	0,7	0,4	-	-	0,5	15
8	331888	LUMLED VCA F 25 W	-	6,7		6	S5	-	-	-	3	0,6	-	-
9	331889	LUMLED VCA F 35 W	-	7,6				-	-	-	3	0,6	-	-
10	331890	LUMLED VCA F 45 W	-	-		7	S4	-	-	-	5	1	-	-
11	331891	LUMLED VCA F 80 W	-	8,5			S3	-	-	-	7,5	1,5	-	-
12	331892	LUMLED VCA F 120 W	-	10,3			S2	-	-	-	10	3	-	-

**Tabela 4.13.** - Características fotométricas das luminárias com integração de sistema de regulação de fluxo [EDP, 2013]

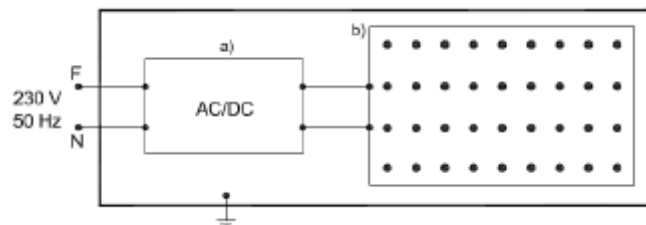
Pos.	Código SAP	Ref. da luminária do fabricante	Altura útil da luminária (h) em colunas (metros)	Altura útil da luminária (h) em postes (metros)	Distância entre colunas ou postes (metros)	Largura da faixa de rotação para Lum. VCA e largura da zona pedonal para Lum. (JAR) (metros)	Classe Iluminação	Valores de referência						
								L <sub>med</sub> (mín.) (cd/m <sup>2</sup> )	UI mín.	U0 mín.	E <sub>med</sub> mín. (lux)	E <sub>min</sub> (lux)	SR (mín)	TI (máx) (%)
13	331893	LUMLED JAR X 25 W RF	4	-	3,5 x h	6	S3	-	-	-	7,5	1,5	-	-
14	331894	LUMLED JAR X 40 W RF		-			S2	-	-	-	10	3	-	-
15	331895	LUMLED VCA X 65 W RF	8	-		7	ME5	0,5	0,4	0,35	-	-	0,5	15
16	331896	LUMLED VCA X 100 W RF		-			ME4a	0,75	0,6	0,4	-	-	0,5	15
17	331897	LUMLED VCA X 150 W RF	10	-		9	ME4a	0,75	0,6	0,4	-	-	0,5	15
18	331898	LUMLED VCA X 180 W RF		-			ME3a	1	0,7	0,4	-	-	0,5	15
19	331899	LUMLED VCA X 250 W RF	12	-		10	ME3a	1	0,7	0,4	-	-	0,5	15
20	331900	LUMLED VCA F 25 W RF	-	6,7		6	S5	-	-	-	3	0,6	-	-
21	331901	LUMLED VCA F 35 W RF	-	7,6				-	-	-	3	0,6	-	-
22	331902	LUMLED VCA F 45 W RF	-	-			7	S4	-	-	-	5	1	-
23	331903	LUMLED VCA F 80 W RF	-	8,5	S3			-	-	-	7,5	1,5	-	-
24	331904	LUMLED VCA F 120 W RF	-	10,3	S2	-	-	-	10	3	-	-		

Os parâmetros U<sub>0</sub> e U<sub>L</sub> são dois dos parâmetros mais importantes a ter em conta no que diz respeito à seleção ideal das luminárias para um dado projeto. Assim, estes caracterizam-se por:

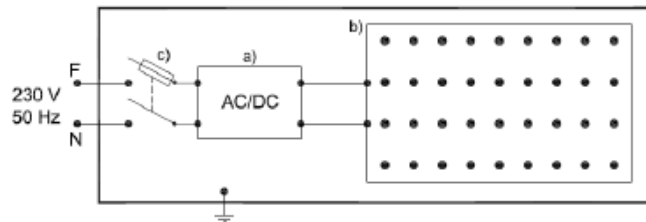
- **Uniformidade Geral ( $U_o$ )** – Quociente entre o valor de luminância mínima e o valor de luminância média, de uma instalação de iluminação. A unidade é expressa em percentagem;
- **Uniformidade Longitudinal ( $U_L$ )** - No sentido de deslocação do observador, é a relação entre o valor de luminância mínima e o valor de luminância máxima longitudinal, de uma instalação de iluminação. A unidade é expressa percentagem.

#### 4.10. Módulo de LEDs e Luminárias

O módulo de LEDs deve ser tipo 3, ligado conforme a imagem das figuras 4.6. e 4.7., cumprindo os requisitos da norma IEC 62717.



**Figura 4.6.** - Luminária do tipo LED – aplicação na rede subterrânea



**Figura 4.7.** - Luminária do tipo LED – aplicação na rede aérea

Os módulos de LEDs têm de ter as seguintes características por forma a garantir a sua proteção:

- **Classificação de construção** – De acordo com a norma NP EN 62031, o módulo de LED's deverá ter uma classificação do tipo 'módulo de LED encastrável';
- **Proteção dos LEDs** – Em caso de avaria de algum dos díodos LED, deverá existir um dispositivo (LED Shunt) que garanta a mesma resistência no circuito série, de modo a que os restantes LEDs do circuito não fiquem sujeitos a uma eventual sobretensão;

As luminárias deverão, assim, ter as seguintes características de forma a garantir a sua proteção:

- **Riscos mecânicos** – Não devem possuir partes cortantes que sejam um risco para o utilizador aquando da sua instalação, ou manutenção;
- **Proteção contra curto-circuitos** – A proteção contra curto-circuitos da luminária deve estar de acordo com a norma EN 60598-1;
- **Proteção contra sobretensões** – As luminárias referidas na tabela 4.9., as posições 8 a 12 e 20 a 24 – luminárias instaladas na rede aérea, rede troçada – devem vir equipadas com SPD (*Surge Protective Devices*), tendo em conta que naqueles pontos da rede as sobretensões previsíveis de origem atmosférica não ultrapassam os 2,5 kV.
- **Proteção contra choques elétricos** - A proteção contra choques elétricos das luminárias deve estar de acordo com a norma EN 60598-1;
- **Resistência à força do vento** – As luminárias deverão ser instaladas em colunas de aço, série H, de acordo com a diretiva DMA-C71-512/N. A conceção das luminárias deverá, assim, garantir:
  - Massa da luminária  $\leq 20$  kg;
  - Área de exposição e coeficientes de forma das luminárias LED: quando instaladas em colunas normalizadas da série H (DMA-C71-512/N), os esforços em qualquer secção reta da coluna, resultantes da ação do vento sobre a luminária, não devem ser superiores aos que resultariam, se nessa mesma coluna fosse aplicada a luminária tipo (área de exposição ao vento em qualquer direção igual a  $0,2 \text{ m}^2$ , e coeficiente de forma,  $c_l=1$ ,  $c_v=0$  e  $c_t=0$ );
- **Eficácia luminosa** – De acordo com a norma IES LM-79-08, os fabricantes deverão apresentar o valor da eficácia luminosa da luminária em lm/W para a temperatura de cor branco neutro indicada. O valor da eficácia deverá ser de pelo menos 70 lm/w.

#### 4.11. Driver de LEDs

Um *driver* de LEDs é o elemento responsável por garantir a correta dissipação do calor e indicar a temperatura máxima admissível num ponto  $t_c$ , para uma temperatura ambiente de 35 °C durante 12 h de funcionamento ininterrupto. Este possui uma eficiência superior a 90% e o tempo de vida útil deverá ser de pelo menos 50000 horas.

Em regime nominal, o fator de potência deverá ser superior ou igual a 0.9, de acordo com a EN 62384. Já no caso de a luminária estar equipada com mecanismos de regulação de fluxo, o fator de potência não deverá ser inferior a 0.8 para uma redução de fluxo até 50 %.

A figura 4.8. mostra um exemplo típico de *driver* de LEDs.



Figura 4.8. - Driver de LEDs

#### 4.12. LED – Fatores Essenciais

O LED terá de ser do tipo SMD (*Surface-mount Device*), por forma a garantir uma robustez mecânica adequada a este tipo de aplicação, que é muito severa em termos de vibrações. O LED deverá produzir luz branca a partir da conversão do fósforo, diretamente aplicado sobre o chip. Não são, assim, permitidos LED do tipo RGB para a geração de luz branca.

De modo a que um LED tenha um correto funcionamento devem ser tidos em conta os seguintes fatores:

- **Constituintes do LED** – O LED tem, obrigatoriamente, de ser imune às radiações ultravioleta, pois encontra-se exposto à radiação solar por várias horas diariamente;
- **Índice de restituição de cor (IRC)** – O IRC deverá ser superior a 70 e estar de acordo com a IEC 62717. A medição deverá ser efetuada de acordo com a CIE 13.3 ou CIE 177;
- **Temperatura de cor cromaticidade** – A temperatura de cor deverá ser branca neutra com um valor base de 4200 K e com uma tolerância de  $\pm 300$  K;
- **Eficácia luminosa** – O LED deverá ter uma eficácia luminosa de pelo menos 100 lm/W para uma temperatura de cor  $\pm 300$  K.

Finalmente, por forma a executar-se de forma correta o transporte das luminárias LED, o fornecedor é responsável por acondicionar as mesmas de forma a garantir a sua total integridade.

Cada caixa deve conter uma única luminária identificada de forma inequívoca, com os seguintes dados, inscritos na parte exterior da caixa:

- Nome do fabricante;
- Referência da luminária;
- Referência EDP e de Código SAP.

### 4.13. Características da Iluminação Pública quanto à Distribuição das Luminárias

Neste tipo de projetos devem ser tidos em conta a classificação de vias, bem como os seguintes critérios para os cálculos fotométricos, apresentados pela figura 4.9.:

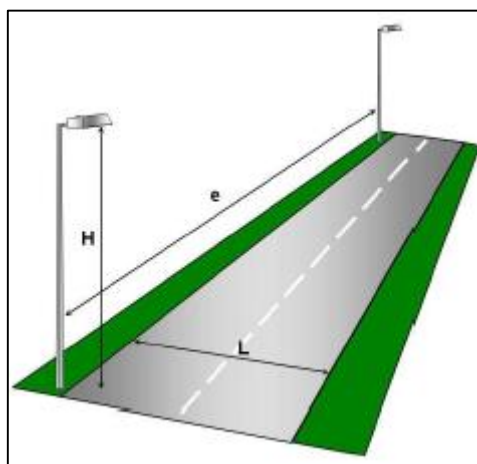
$$H \geq L \text{ e } e \geq 3.5 H \text{ (mínimo)}$$

Sendo:

$L$  = largura da pista de rolamento (mais acostamento quando houver);

$H$  = altura de montagem da luminária;

$e$  = espaçamento entre postes.



**Figura 4.9.** - Configuração típica para projetos especiais IP [CEMIG, 2012]

Tipicamente, nos centros urbanos, há circulação de muitos peões, e, portanto, o espaçamento na via pública tende a ser reduzido devido à distribuição da iluminação pública. Considerando a largura da via ( $L$ ), altura de montagem da luminária ( $H$ ), e, caso exista, a largura do canteiro central ( $D$ ), são utilizadas as seguintes alternativas relativamente à distribuição de postes:

- Posteação unilateral;
- Posteação bilateral alternada;
- Posteação bilateral frente a frente;
- Posteação no canteiro central.

#### 4.13.1. Posteação unilateral

Este modelo deve ser utilizado quando a largura da faixa de rodagem for menor ou igual à altura de montagem da luminária, de acordo com a figura 4.10.

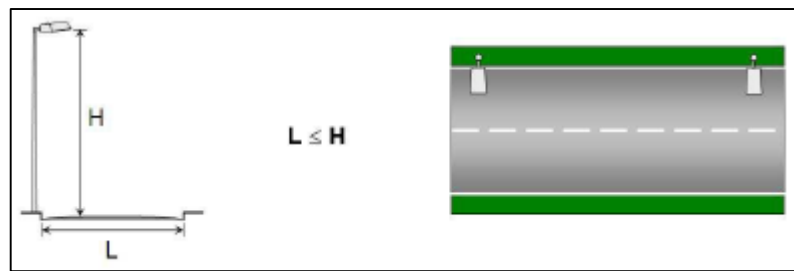


Figura 4.10. - Posteação unilateral [CEMIG, 2012]

#### 4.13.2. Posteação bilateral alternada

Este modelo é aplicado quando a largura da faixa de rodagem estiver entre 1 e 1,6 vezes a altura da montagem da luminária, de acordo com a figura 4.11.

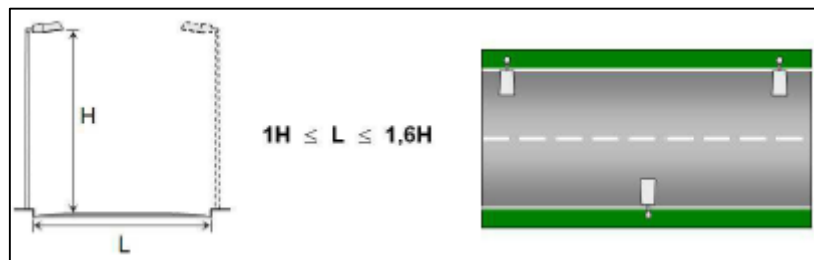


Figura 4.11. - Posteação bilateral alternada [CEMIG, 2012]

#### 4.13.3. Posteação bilateral frente a frente

Este modelo deve ser utilizado quando a largura da faixa de rodagem for 1,6 vezes maior que a altura de montagem da luminária, conforme a figura 4.12.

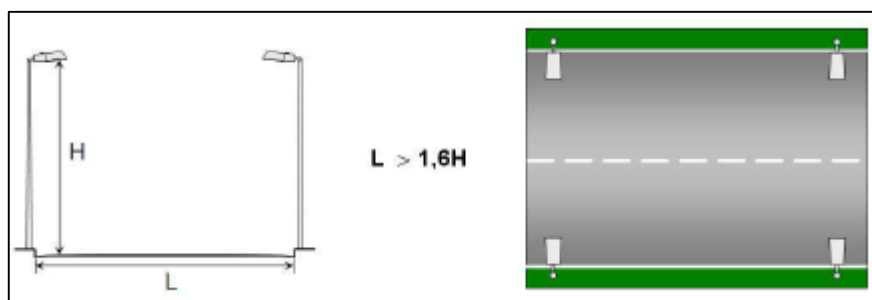


Figura 4.12. - Posteação bilateral frente a frente [CEMIG, 2012]

#### 4.13.4. Posteação no canteiro central

Este modelo deve ser implementado com suporte quando a largura da faixa de rodagem for menor ou igual à altura de montagem e quando a largura do canteiro central (D) não ultrapassar 3 metros, de acordo com a figura 4.13.

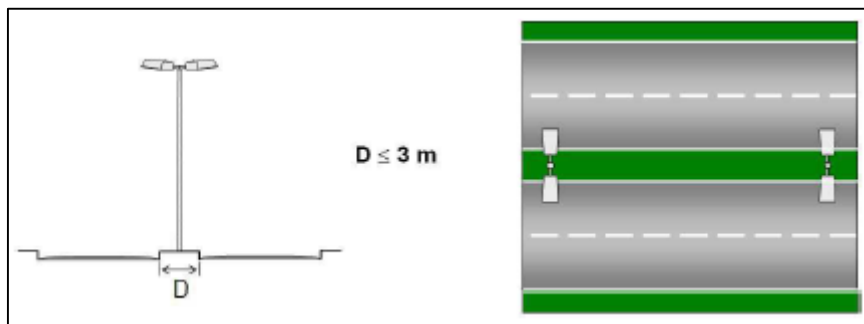


Figura 4.13. - Posteação no canteiro central [CEMIG, 2012]

No caso de haver canteiros centrais com largura entre 3 e 6 metros, ou canteiro central com largura menor que 3 metros e largura de faixa de rodagem maior que 1,6 da altura de montagem, devem ser utilizadas as alternativas com postes e chicotes de acordo com a figura 4.14.

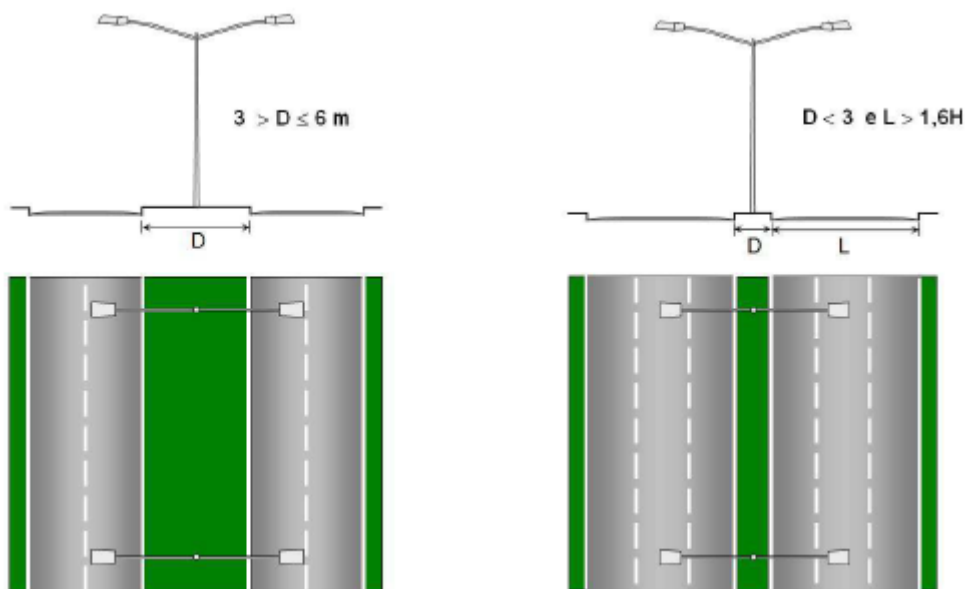
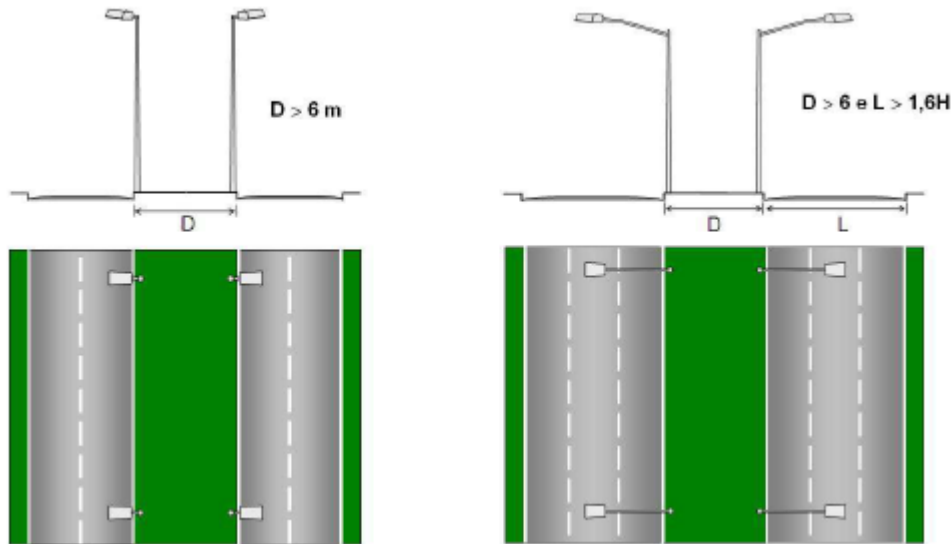


Figura 4.14. - Posteação central com poste chicote [CEMIG, 2012]

Para canteiros centrais com largura igual ou maior que 6 metros, deve ser utilizada uma das alternativas como mostra a figura 4.15.



**Figura 4.15.** - Posteação central em canteiros maior que 6 metros [CEMIG, 2012]

#### 4.14. Conclusão

Neste capítulo demonstrou-se o impacto e importância da iluminação pública, bem como a importância da eficiência energética inserida na mesma. As medidas de eficiência energética devem, assim, ser tidas em conta por forma a cumprir com as metas da UE, pois estas permitem consumos de iluminação mais eficientes e contribuem com diversas vantagens a nível ambiental. Deste modo, foi igualmente abordado o programa ENE 2020, o programa que Portugal criou no sentido de cumprir as metas da União Europeia, cujo objetivo é apostar nas energias renováveis e promover a eficiência energética, para assim, ser garantida a sustentabilidade económica e ambiental para todos.

Posteriormente, procedeu-se ao estudo da legislação para a iluminação pública tendo por base a norma EN 13201, que contém as mais diversas leis aplicadas em vários países da Europa, como é caso de Portugal. Foram, igualmente, dados a conhecer os tipos de lâmpadas existentes e as principais características associadas aos tipos de lâmpadas (fluxo luminoso, potência, eficácia luminosa, etc), essenciais para a sua identificação.

Devido à sua forte ascendência no mercado atual, bem como pelas mais diversas vantagens que possui, foi abordada a temática do LED, tendo sido apresentada a sua comparação com os vários tipos convencionais de lâmpadas. Assim, relativamente a esta tecnologia, foram abordadas: as diferentes características das luminárias do tipo LED, as condições para o seu normal funcionamento, a marcação das mesmas, as principais características de módulos de LEDs e luminárias, o conceito de *driver* de LEDs, e, por fim, os fatores para o correto funcionamento de um LED.

Para concluir o capítulo, foi descrito o modo como deve ser executada a distribuição das luminárias, em que se explicou os vários tipos de posteações existentes e quais os critérios para cada uma delas.

## 5. ESTUDO LUMINOTÉCNICO EFETUADO E RESULTADOS OBTIDOS

### 5.1. Introdução

Através do estudo prévio das principais características da iluminação pública, apresentada no capítulo 4, procedeu-se ao cálculo luminotécnico do respetivo caso de estudo. Inicialmente, analisaram-se os critérios de seleção de luminárias, essenciais para determinar o tipo de classe de via em questão, e, assim, saber qual o tipo de distribuição de postes e quais os tipos de luminárias a selecionar. Por conseguinte, foram selecionadas três luminárias da marca Schröder para efetuar o estudo, por forma a identificar as principais diferenças entre as mesmas e concluir qual a melhor opção a implementar no projeto. Para a concretização desta etapa foi utilizado o *software* DIALux evo 6, que permite determinar qual o modelo ideal de luminárias a implementar na planta, bem como, dar uma perspetiva tridimensional aos edifícios que fazem parte do loteamento. Torna-se, deste modo, possível verificar os modelos ideais de disposição e implementação das luminárias, ao longo das vias de comunicação existentes. À semelhança do que acontece no estudo da rede de baixa tensão, foi realizado o dimensionamento da rede de iluminação pública, cujos cálculos se encontram na memória descritiva do projeto (Anexo VI).

### 5.2. Critérios de seleção das luminárias para o estudo de caso

Inicialmente, foi analisado o nível de luminância média requerido, tendo por base o tipo de via em questão. Verificou-se, assim, que o tipo de via pertence à classe ME, de velocidade rápida ou moderada, corresponde a um tipo de tráfego misto, isto é, comporta tráfego motorizado de baixa e média velocidade, bem como a existência de pedestres e ciclistas. Relativamente às características quanto à distribuição das luminárias, conclui-se que o modelo de posteação é unilateral, pois a largura de via, de aproximadamente nove metros, é inferior à altura de montagem da luminária, que é de dez metros; deste modo haverá luminárias apenas num dos lados de cada via, sendo o espaçamento entre estas de quinze metros. Assim, de acordo com as tabelas de referência da EDP, as luminárias implementadas podem ter entre 150 a 180 W de valor de potência.

#### 5.2.1. Determinação da classe ME

Relativamente ao tipo de classe da via, por forma a esta ser determinada, procedeu-se do seguinte modo, de acordo com a CIE 115 [Documento de Referência EDP, 2011]:

- Atribuir, apropriadamente, um fator de peso a cada trâmite especificado na tabela 5.1.;
- Somar todos os fatores selecionados, obtendo um valor “Total”;

- Introduzir esse valor na equação: Índice (ME) = 6 – Total, obtendo o índice da classe ME;
- Caso seja necessário arredondar o valor de “Total” para o número inteiro mais baixo, ou mesmo limitar o intervalo de valores possíveis entre [0 - 6].

A tabela 5.1. possui os fatores característicos de uma via pública, com os respectivos fatores de peso, a fim de obter o índice da classe ME.

**Tabela 5.1.** - Tabela para a determinação da classe ME [Documento de Referência EDP, 2011]

<b>Seleção das Classes de Iluminação - ME</b>			
<b>Parâmetro</b>	<b>Opções</b>	<b>Fator de Peso</b>	<b>Seleção</b>
<b>Velocidade</b>	Muito Alta	1	0
	Alta	0,5	
	Moderada ou Reduzida	0	
<b>Volume de Tráfego</b>	Muito Elevado	1	- 0,5
	Alto	0,5	
	Moderado	0	
	Baixo	- 0,5	
	Muito baixo	- 1	
<b>Composição do trânsito</b>	Elevada percentagem de não motorizados	2	1
	Misturado	1	
	Apenas Motorizado	0	
<b>Separação das Faixas</b>	Não	1	1
	Sim	0	
<b>Densidade de Cruzamentos</b>	Alta	1	0
	Moderada	0	
<b>Veículos Estacionados</b>	Presente	1	0
	Não Presente	0	
<b>Luminância Ambiente</b>	Alta	1	0
	Moderada	0	
	Baixa	- 1	
<b>Controlo do Trânsito</b>	Fraco	0,5	0
	Moderado ou Bom	0	

Assim sendo, temos: Índice (ME) = 6 – Total = 6 – (1 + 1 – 0,5) = 4,5

O índice é 4, resultado do arredondamento, e, assim, a classe é ME4. Assim, tendo em conta a tabela 4.2. do capítulo 4, é possível concluir que o tipo de via estudada é interurbana - estrada secundária interurbana – segundo a norma EN 13201.1, cuja luminância média é de 0,75 e classe de iluminação ME4.

A tabela 5.2. apresenta os diferentes tipos de classe de via existentes, com os respetivos valores de luminância, aumento limiar (TI) e relação entorno (SR).

**Tabela 5.2.** - Classes de via ME [Documento de Referência EDP, 2011]

Classe da via	Luminância da Superfície da Via em Condições Secas			Deslumbramento Perturbador	Iluminação Envoltente
	Luminância média (Lm ou cd/m <sup>2</sup> )	Uniformidade Global U <sub>0</sub>	Uniformidade Longitudinal U <sub>1</sub>	Aumento Limiar TI (%)	Relação Entorno SR (%)
ME1	2,00	0,40	0,70	10	0,50
ME2	1,50	0,40	0,70	10	0,20
ME3	1,0	0,40	0,70	15	0,50
			0,60		
ME4	0,75	0,40	0,60	15	0,50
			0,50		

Para a iluminação pública funcional, os níveis médios calculados não deverão ultrapassar 120 % nem serem inferiores a 95 % dos níveis de referência da tabela anterior:

- **a** – É permitido um aumento de 5% no valor do TI quando forem usadas fontes de iluminação com baixa luminância (lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão e fluorescentes tubulares, ou então fontes de luz com luminância idêntica ou inferior);
- **b** – Significa que este critério apenas poderá ser aplicado em locais onde não existam zonas de tráfego com os seus próprios requisitos adjacentes às faixas de rodagem. É um valor não ótimo (com uma uniformidade longitudinal mais baixa) normalizado.

No caso de estudo em questão o tipo de classe é ME4a, pois contrariamente ao que está estipulado na alínea b, o local estudado é uma zona de tráfego.

### 5.3. Características das luminárias selecionadas para o estudo de caso

Para este projeto, de acordo com os critérios anteriormente referidos, foram escolhidas três luminárias com características distintas.

Inicialmente, foi selecionado um dado fabricante – neste caso a Schröder – tendo-se descarregado o respetivo catálogo para o *software* DIALux evo 6. Posteriormente, selecionou-se um conjunto de 3 famílias diferentes de luminárias: Akila Road, Piano e Yoa.

Optou-se por estas famílias, pois possuem alguns dos principais requisitos a cumprir relativamente ao contexto do loteamento estudado, dos quais a tensão nominal, a potência requerida e altura dos postes.

Deste modo, após uma cuidada pesquisa e análise, optou-se pelas seguintes luminárias:

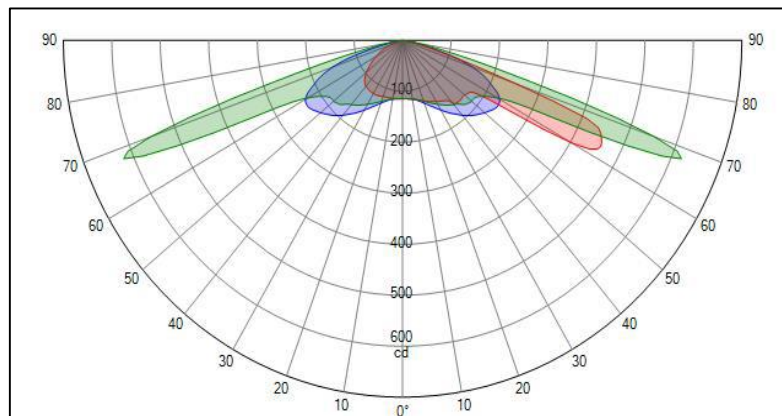
- 1ª Luminária:

Relativamente à luminária selecionada do tipo Akila Road, cuja referência é 331342, com uma potência de 155 W e um fluxo luminoso de 15849 lm, com 96 LED por bloco a uma corrente de 530 mA. Quanto ao tempo médio de vida, tem uma duração de 100000 horas, possui um IRC de 80, a sua temperatura de cor é branco neutro de 4250 K, e a eficiência luminosa é de 102,3 lm/W. A imagem da luminária típica desta família encontra-se na figura 5.1.

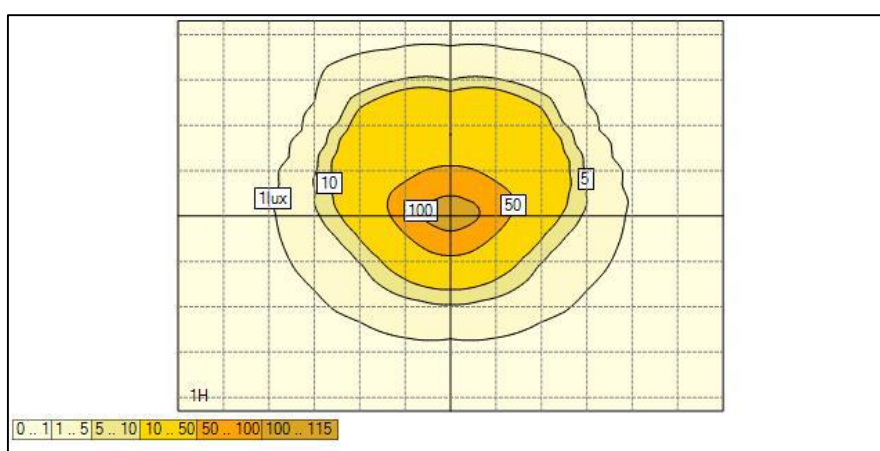


**Figura 5.1.** - Luminária do tipo Akila Road

As figuras 5.2. e 5.3. são relativas aos diagramas polar e Isolux da luminária, respetivamente:



**Figura 5.2.** - Diagrama polar



**Figura 5.3.** - Diagrama Isolux

As luminárias deste tipo resultam da combinação da tecnologia LED com um *driver* que opera com um regime de fluxo luminoso constante e um sistema *dimming*, que permite economizar 75 % de energia comparativamente com luminárias equipadas com tecnologia de descarga, possibilitando haver uma melhor gestão energética e financeira. Este modelo possui motores fotométricos constituídos a partir de módulos LED, oferecendo, assim, gamas que vão dos 6000 aos 40000 lm. Relativamente à temperatura, estas luminárias podem operar em qualquer lugar do mundo, mesmos nas zonas mais quentes, graças à sua condução térmica (200 W/mK).

A nível de estanquicidade, o grau de proteção é o IP 66 e a resistência ao choque tem um grau IK 08. Em termos de materiais, o corpo é em alumínio extrudido pintado, o difusor é de vidro e a cor é RAL 7001 [Schröder, 2017].

- 2ª Luminária:

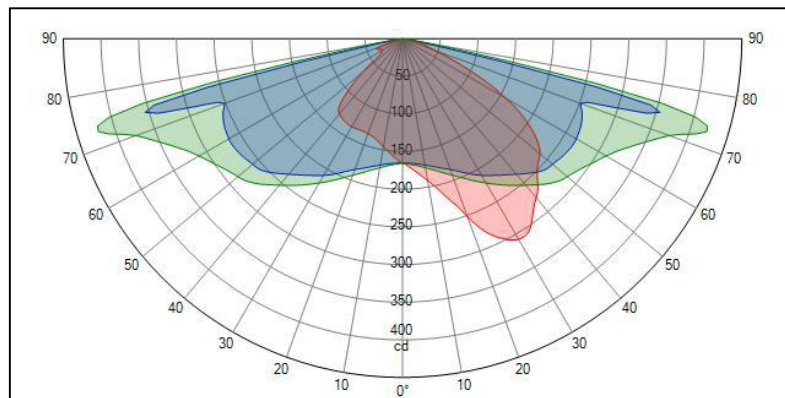
Relativamente à luminária selecionada do tipo Piano, cuja referência é 330422, com uma potência de 154 W e um fluxo luminoso de 17779 lm, com 96 LED por bloco a uma corrente de 500 mA. Quanto ao tempo médio de vida, tem uma duração de 100000 horas, possui um

IRC de 70, a sua temperatura de cor é branco neutro de 4000 K, e a eficiência luminosa é de 115,4 lm/W. A imagem da luminária típica desta família encontra-se na figura 5.4.

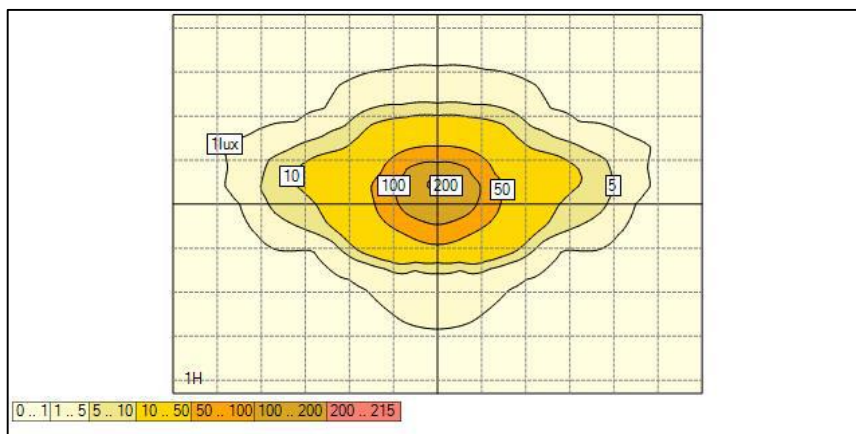


**Figura 5.4.** - Luminária do tipo Plano

As figuras 5.5. e 5.6. são relativas aos diagramas polar e Isolux da luminária, respetivamente:



**Figura 5.5.** - Diagrama polar



**Figura 5.6.** - Diagrama Isolux

A gama Piano é equipada com a segunda geração de motores fotométricos – *LensoFlex 2* – que foram especificamente desenvolvidos para iluminação de espaços onde o bem-estar e segurança das pessoas são essenciais. Este sistema baseia-se no princípio de adição de distribuições fotométricas, em que cada LED associado a uma lente específica contribui para a distribuição final da luminária, sendo, portanto, a quantidade de LEDs que determina o nível luminoso e a distribuição fotométrica. O modelo *LensoFlex2* permite que os LED sejam montados na horizontal e oferece distribuições fotométricas especificamente adaptadas a cada solução.

A nível de estanquicidade, o grau de proteção é o IP 66 e a resistência ao choque tem um grau IK 08. Em termos de materiais, o corpo é em alumínio injetado, o difusor é de vidro plano extra-claro e a cor é AKZO black 200 [Schröder, 2017].

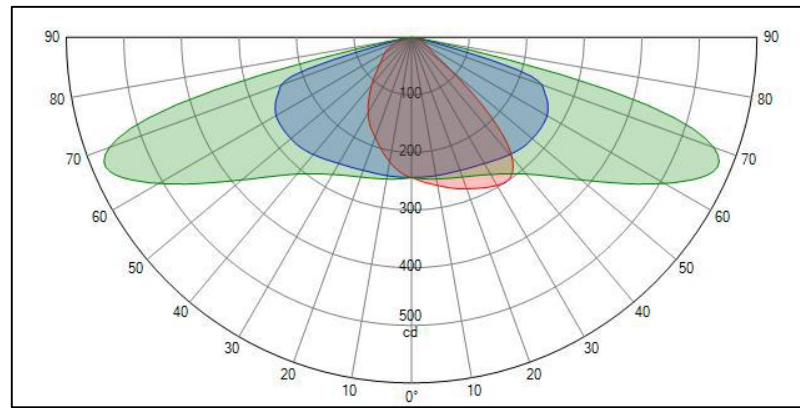
- 3ª Luminária:

Relativamente à luminária selecionada do tipo Yoa, cuja referência é 353012, com uma potência de 153 W e um fluxo luminoso de 17444 lm, com 96 LED por bloco a uma corrente de 500 mA. Quanto ao tempo médio de vida, tem uma duração de 100000 horas, possui um IRC de 70, a sua temperatura de cor é branco neutro de 4000 K, e a eficiência luminosa é de 114 lm/W. A imagem da luminária típica desta família encontra-se na 5.7.

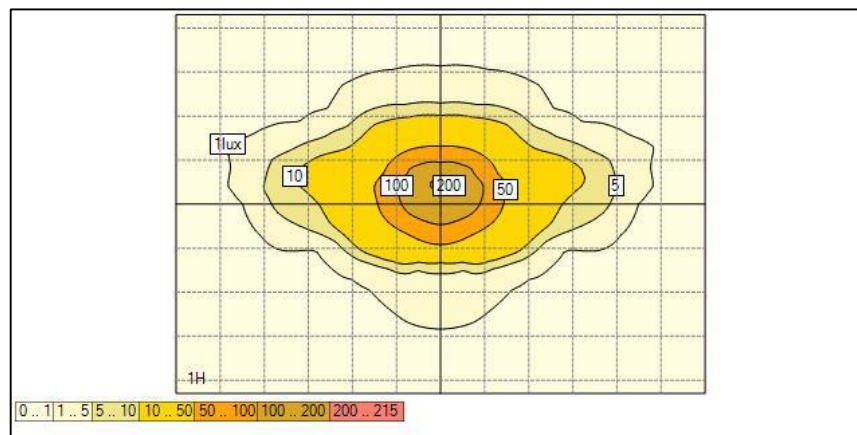


**Figura 5.7.** - Luminária do tipo Yoa

As figuras 5.8. e 5.9. são relativas aos diagramas polar e Isolux da luminária, respetivamente:



**Figura 5.8.** - Diagrama polar



**Figura 5.9.** - Diagrama Isolux

A gama Yoa oferece uma solução completa para iluminar espaços urbanos com eficiência superior e *design* marcante. Este modelo está disponível em dois tamanhos, de forma a garantir coerência estética. Esta solução possui, também, o conceito *LensoFlex2* que oferece um elevado desempenho com fotometria otimizada para cada aplicação específica com o consumo de energia minimizado. Algumas destas luminárias podem ser equipadas com um sistema de *Black Light Control*, permitindo que a emissão de luz na parte de trás da luminária seja minimizada para evitar luz intrusiva em edifícios. Para além disso, o modelo Yoa integra o conceito *Thermix*, desenvolvida pela Schröder, que consiste na otimização de todos os parâmetros na gestão térmica dos LEDs para manter o desempenho ao longo do tempo.

A nível de estanquidade, o grau de proteção é o IP 66 e a resistência ao choque tem um grau IK 08. Em termos de materiais, o corpo é em alumínio injetado, o difusor é de vidro e a cor é AKZO 200 cinza claro areado [Schröder, 2017].

## 5.4. Análise dos resultados obtidos

Seguidamente, encontram-se alguns dos resultados e a respetiva análise dos mesmos, obtidos através do cálculo luminotécnico do *software* utilizado, relativamente ao impacto de cada uma das luminárias selecionadas.

A figura 5.10. ilustra a planta do loteamento industrial estudado.



**Figura 5.10.** - Planta referente ao loteamento industrial (Anexo I)

### 5.4.1. Luminária Akila Road

As imagens da figura 5.11. mostram os valores de luminância, bem como as uniformidades global e longitudinal de uma estrada e de um passeio do loteamento estudado.

Objecto de resultado de superfície (Densidade de luminância)			Objecto de resultado de superfície (Densidade de luminância)		
	Real	Nominal		Real	Nominal
Médio	5.49 cd/m <sup>2</sup>	-	Médio	5.54 cd/m <sup>2</sup>	-
Min	2.43 cd/m <sup>2</sup>	-	Min	3.37 cd/m <sup>2</sup>	-
Máx	7.72 cd/m <sup>2</sup>	-	Máx	6.94 cd/m <sup>2</sup>	-
Mín/Médio	0.44	-	Mín/Médio	0.61	-
Mín/ Máx	0.31	-	Mín/ Máx	0.49	-
Parâmetros			Parâmetros		
Altura	0.00 m		Altura	0.12 m	

**Figura 5.11.** - Dois exemplos de resultados de luminância e uniformidade de uma estrada (à esquerda) e de um passeio (à direita) (Anexo V)

Relativamente à luminária do tipo Akila Road, com base nos cálculos obtidos no *software* Dialux, constata-se que, nas estradas os valores de luminância média, mínima e máxima variam, respetivamente, na ordem dos 5, 3 e 8 cd/m<sup>2</sup>. Relativamente aos valores de U<sub>o</sub>, estes aproximam-se do valor mínimo requerido pela EDP, isto é, valores próximos de 0,4, aproximando-se mesmo de 0,5 em determinadas situações. Por outro lado, os valores de UL aproximam-se, de um modo geral de 0,3, o que é aceitável dado que a tecnologia LED não possui a mesma otimização em termos de uniformidade comparativamente com as fontes de iluminação mais comuns. Quanto aos passeios, os valores de luminância média, mínima e máxima são, aproximadamente, 6, 3, e 7 cd/m<sup>2</sup>, respetivamente, podendo atingir valores na ordem do 4 cd/m<sup>2</sup> em termos de luminância mínima. Os valores de U<sub>o</sub> são bastante satisfatórios variando entre 0,6 e 0,7 aproximadamente, enquanto os resultados de UL são ligeiramente mais baixos, mas, igualmente satisfatórios, variando sensivelmente entre 0,5 e 0,6.

Em suma, pode concluir-se que, para este tipo de luminária, os resultados obtidos tanto a nível de estradas como de passeios são, no geral, bastante aceitáveis relativamente ao que é requerido.

A imagem da figura 5.12. diz respeito à distribuição de cores falsas ao longo do loteamento, relativamente às estradas existentes.



**Figura 5.12.** - Distribuição de cores falsas pelas estradas (Anexo I)

A imagem 5.13. corresponde à legenda de cores falsas com os respectivos valores em  $\text{cd/m}^2$ .



**Figura 5.13.** - Legenda relativa à distribuição de cores falsas

Através da imagem da figura 5.12. é possível verificar a zona mais a norte (junto aos lotes 36, 37, 68 e 69) é aquela onde se concentra o maior índice de fluxo luminoso, pois, como se pode ver, a cor corresponde a um laranja mais escuro, que equivale a valores na ordem dos  $8 \text{ cd/m}^2$ . Por outro lado, na maior parte das estradas, as cores variam entre o amarelo e o laranja (entre  $4$  a  $7 \text{ cd/m}^2$ ), havendo, portanto, um bom índice de luminância ao longo de praticamente todo o loteamento. No entanto, existem algumas zonas onde a cor verde mais se destaca (e em alguns casos o azul), o que significa que há uma menor incidência de fluxo luminoso; esses locais são, normalmente, os cruzamentos e os lados das estradas contrários àqueles onde se encontram as luminárias.

A imagem da figura 5.14. diz respeito à distribuição de cores falsas ao longo do loteamento, relativamente aos passeios existentes.



**Figura 5.14.** - Distribuição de cores falsas pelos passeios de parte do loteamento (Anexo I)

A imagem 5.15. corresponde à legenda de cores falsas com os respectivos valores em  $\text{cd}/\text{m}^2$ .

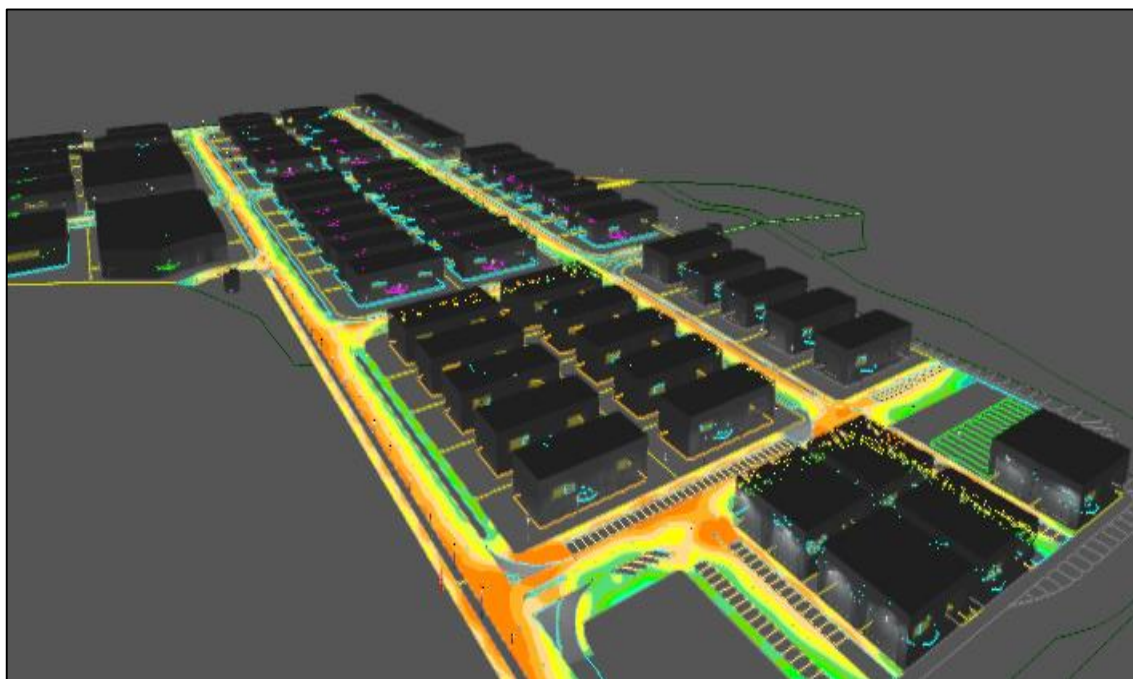


**Figura 5.15.** - Legenda relativa à distribuição de cores falsas

Relativamente aos passeios, pela figura 5.14., é visível que a maior concentração de fluxo luminoso se concentra nos locais onde se encontram instaladas as luminárias, o que é normal visto que os cones de luz são mais direcionados para zonas mais próximas das mesmas. Deste modo, nos passeios em frente aos das luminárias há menor incidência de fluxo luminoso, o que se traduz, maioritariamente, em cores de tom verde, ou seja, varia entre os 3 e 4  $\text{cd}/\text{m}^2$ , sendo no entanto um índice de valores aceitável.

Assim, de um modo geral, é possível afirmar que há uma razoável distribuição de fluxo luminoso ao longo das estradas e dos passeios, sendo a Akila Road uma adequada opção para iluminar o loteamento industrial.

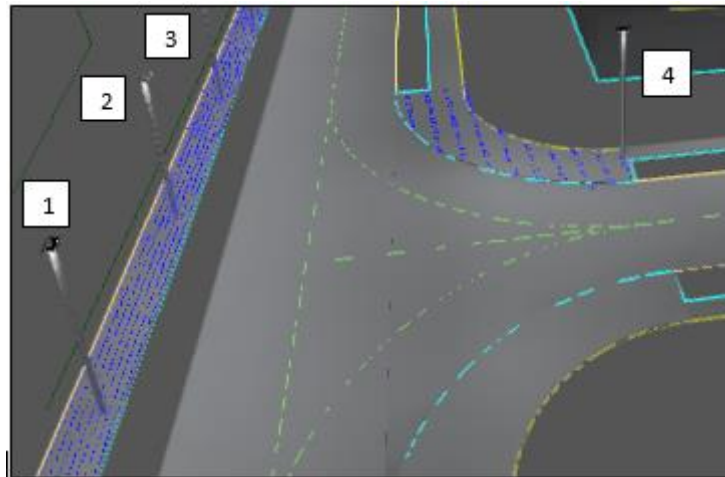
A figura 5.16. mostra uma perspectiva da planta em dimensão 3D, com as respectivas cores falsas das estradas e passeios.



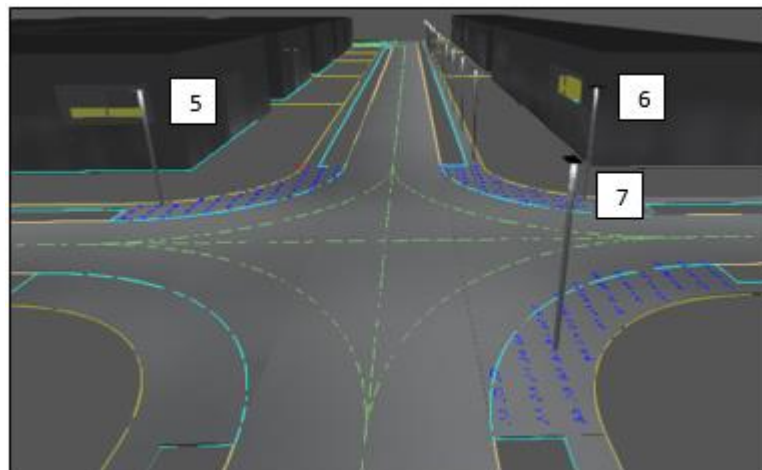
**Figura 5.16.** – Perspectiva 3D da planta do loteamento industrial referente à luminária do tipo Akila Road (Anexo V)

As imagens das figuras 5.14., 5.15. e 5.16. correspondem a alguns locais do loteamento com luminárias do tipo Akila Road implementadas, com os respectivos gráficos numéricos dos valores de luminância em cada ponto, os quais se encontram nos passeios e se podem visualizar na forma de um ‘picotado’ de cor azul.

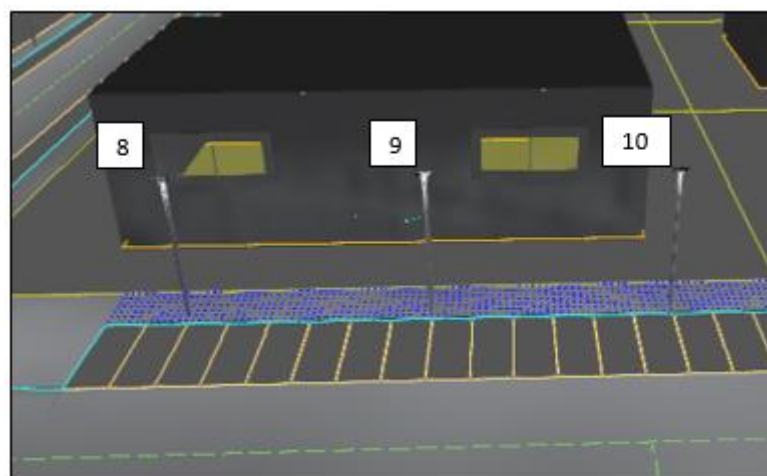
Na figura 5.17. as luminárias mais à esquerda têm valores pontuais na ordem dos  $6,5 \text{ cd/m}^2$ , enquanto a luminária mais à direita possui valores na ordem dos  $6 \text{ cd/m}^2$ . Já na figura 5.18. os valores das luminárias são de 5, 5,7 e de  $6,4 \text{ cd/m}^2$ , e, quanto à figura 5.19., estes variam entre  $6,1$  e  $6,2 \text{ cd/m}^2$ .



**Figura 5.17.** – Imagem 1 em 3D correspondente a um cruzamento do loteamento com algumas luminárias do tipo Akila Road (Anexo V)



**Figura 5.18.** – Imagem 2 em 3D correspondente a um cruzamento do loteamento com algumas luminárias do tipo Akila Road (Anexo V)



**Figura 5.19.** Imagem 3 em 3D correspondente a uma reta do loteamento com algumas luminárias do tipo Akila Road (Anexo V)

A tabela 5.3. possui os valores pontuais de luminância de cada uma das luminárias legendadas nas figuras 5.17., 5.18. e 5.19., do modelo Akila Road.

**Tabela 5.3.** - Valores de Luminância de cada luminária (Anexo V)

Luminária	Luminância (cd/m <sup>2</sup> )
1	6,0
2	6,5
3	6,6
4	6,0
5	4,8
6	5,7
7	6,4
8	6,2
9	6,1
10	6,1

#### 5.4.2. Luminária Piano

As imagens da figura 5.18. mostram os valores de luminância, bem como as uniformidades global e longitudinal de uma estrada e de um passeio do loteamento estudado.

Objecto de resultado de superfície (Densidade de luminância)			Objecto de resultado de superfície (Densidade de luminância)		
	Real	Nominal		Real	Nominal
Médio	8.68 cd/m <sup>2</sup>	-	Médio	9.28 cd/m <sup>2</sup>	-
Min	3.14 cd/m <sup>2</sup>	-	Min	5.16 cd/m <sup>2</sup>	-
Máx	12.4 cd/m <sup>2</sup>	-	Máx	11.1 cd/m <sup>2</sup>	-
Mín/Médio	0.36	-	Mín/Médio	0.56	-
Mín/ Máx	0.25	-	Mín/ Máx	0.46	-
<b>Parâmetros</b>			<b>Parâmetros</b>		
Altura	0.00 m		Altura	0.12 m	

**Figura 5.20.** - Dois exemplos de resultados de luminância e uniformidade de uma estrada (à esquerda) e de um passeio (à direita) (Anexo V)

Relativamente à luminária do tipo Piano constata-se que, nas estradas os valores de iluminância média, mínima e máxima variam, respetivamente, na ordem dos 8, 3 e 12 cd/m<sup>2</sup>. Relativamente aos valores de U<sub>0</sub>, estes aproximam-se do valor mínimo requerido, variando entre os 0,3 e os 0,4. Já em relação a UL, estes aproximam-se de 0,2, que é ligeiramente mais baixo em relação ao verificado com as luminárias Akila Road. Quanto aos passeios, os valores de luminância média, mínima e máxima são, aproximadamente, 9, 5 e 10/11 cd/m<sup>2</sup>, respetivamente. Os valores de U<sub>0</sub> variam sensivelmente entre 0,5 e 0,6, enquanto os valores de UL são da ordem dos 0,5, podendo haver oscilações de local para local.

Em suma, pode concluir-se que, para este tipo de luminária, os resultados obtidos tanto a nível de estradas como de passeios são, no geral, aceitáveis relativamente ao que é requerido, sendo apenas os valores de UL das estradas os mais baixos.

A imagem da figura 5.21. diz respeito à distribuição de cores falsas ao longo do loteamento, relativamente às estradas existentes.



**Figura 5.21.** - Distribuição de cores falsas pelas estradas (Anexo I)

A imagem 5.22. corresponde à legenda de cores falsas com os respetivos valores em  $\text{cd}/\text{m}^2$ .



**Figura 5.22.** - Legenda relativa à distribuição de cores falsas

Pela imagem da figura 5.21. verifica-se que existe ao longo de praticamente todo o loteamento uma cor predominante – o laranja escuro – o que equivale a uma luminância média acima dos

7 cd/m<sup>2</sup>. Visto haver uma cor que prevalece, significa, neste caso, que a uniformidade é muito boa, tanto a nível global como longitudinal. Existem, porém, apenas algumas zonas (embora poucas) em que a cor verde é visível, nomeadamente em algumas partes de cruzamentos, pois não há uma incidência tão significativa de fluxo luminoso nas mesmas.

A imagem da figura 5.23. diz respeito à distribuição de cores falsas ao longo do loteamento, relativamente aos passeios existentes.



**Figura 5.23.** - Distribuição de cores falsas pelos passeios de parte do loteamento (Anexo I)

A imagem 5.24. corresponde à legenda de cores falsas com os respectivos valores em cd/m<sup>2</sup>.

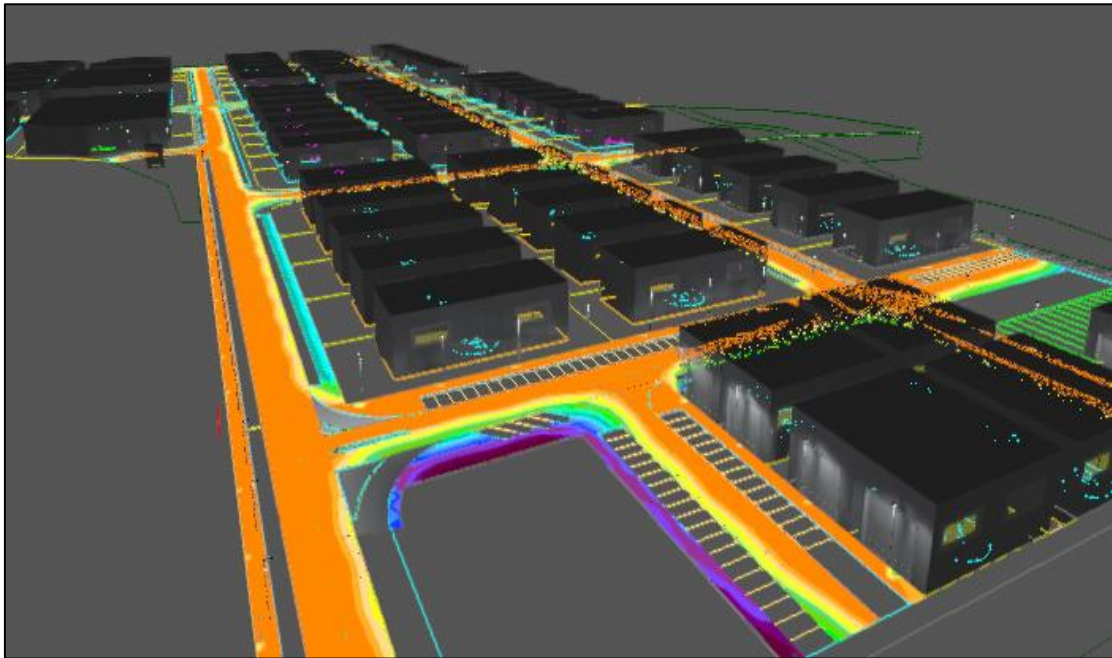


**Figura 5.24.** - Legenda relativa à distribuição de cores falsas

Pela análise da figura 5.23., verifica-se que, à semelhança da situação das estradas, a cor laranja escuro volta a ser predominante, sendo neste caso, apenas nos passeios onde se encontram as luminárias. Em contrapartida, nos passeios opostos aos das luminárias as cores são de tons mais azulados, o que se traduz num índice de fluxo luminoso bastante menor, havendo mesmo alguns casos mais críticos como junto aos lotes 64 a 67 e 68 a 71 em que as cores são em tons de roxo, que corresponde a índices de luminância na ordem dos 0,1 a 1,3  $\text{cd/m}^2$ .

Deste modo, é possível concluir que existe uma distribuição de fluxo luminoso bastante adequada relativamente às estradas, e, quanto aos passeios, existe uma distribuição, de um modo geral, razoável, dado que há um nível alto de luminância nos passeios com luminárias que contrasta com um índice mais baixo nos passeios do lado contrário. Assim, a luminária do tipo Piano é, também, uma opção adequada a ter em conta para o caso de estudo.

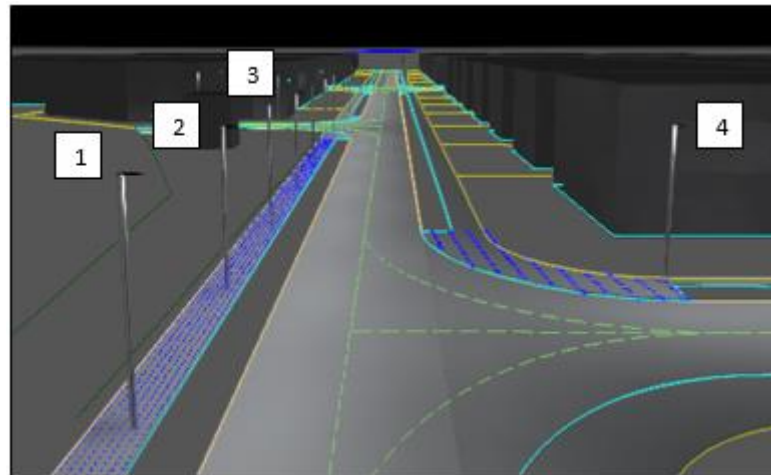
A figura 5.25. mostra uma perspetiva da planta em dimensão 3D, com as respetivas cores falsas das estradas e passeios.



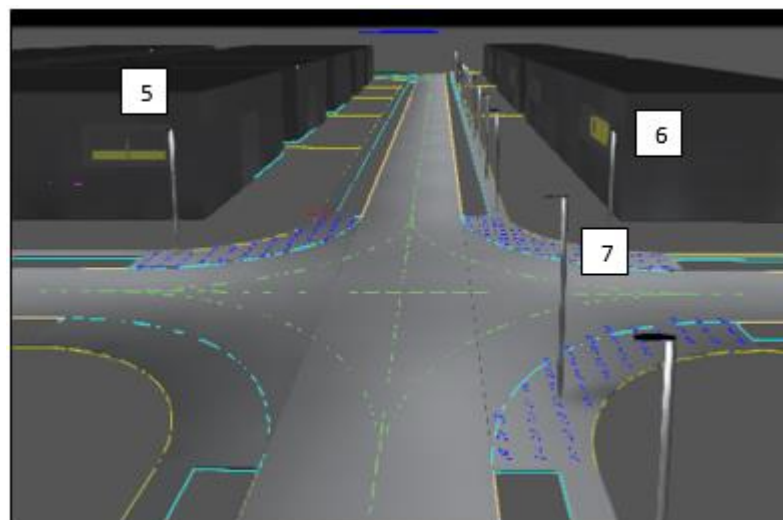
**Figura 5.25.** - Perspetiva 3D da planta do loteamento industrial referente à luminária do tipo Piano (Anexo V)

As imagens das figuras 5.21., 5.22. e 5.23. correspondem a alguns locais do loteamento com luminárias do tipo Piano implementadas, com os respetivos gráficos numéricos dos valores de luminância em cada ponto, os quais se encontram nos passeios e se podem visualizar na forma de um 'picotado' de cor azul.

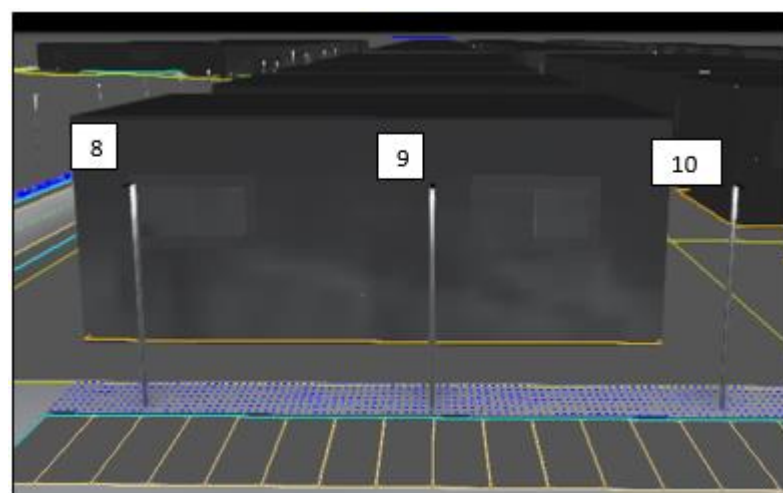
Na figura 5.26. a luminária mais à direita possui um valor pontual de 8,2  $\text{cd/m}^2$ , enquanto as luminárias à esquerda têm valores entre os 9,4 e os 10  $\text{cd/m}^2$ . Já na figura 5.27. os valores das luminárias são de 6,7, 9,2 e 8,1  $\text{cd/m}^2$ , e, quanto à figura 5.28., estes variam entre 8,9, 9,2 e 10  $\text{cd/m}^2$ .



**Figura 5.26.** – Imagem 1 em 3D correspondente a um cruzamento do loteamento com algumas luminárias do tipo Piano (Anexo V)



**Figura 5.27.** Imagem 2 em 3D correspondente a um cruzamento do loteamento com algumas luminárias do tipo Piano (Anexo V)



**Figura 5.28.** Imagem 3 em 3D correspondente a um reta do loteamento com algumas luminárias do tipo Piano (Anexo V)

A tabela 5.4. possui os valores pontuais de luminância de cada uma das luminárias legendadas nas figuras 5.26., 5.27. e 5.28., do modelo Piano.

**Tabela 5.4.** - Valores de Luminância de cada luminária (Anexo V)

Luminária	Luminância (cd/m <sup>2</sup> )
1	9,2
2	9,8
3	9,3
4	8,2
5	6,7
6	9,2
7	8,1
8	8,9
9	9,2
10	10

### 5.4.3. Luminária Yoa

As imagens da figura 5.29. mostram os valores de luminância, bem como as uniformidades global e longitudinal de uma estrada e de um passeio do loteamento estudado.

Objecto de resultado de superfície (Densidade de luminância)			Objecto de resultado de superfície (Densidade de luminância)		
	Real	Nominal		Real	Nominal
Médio	7.87 cd/m <sup>2</sup>	-	Médio	11.6 cd/m <sup>2</sup>	-
Min	1.45 cd/m <sup>2</sup>	-	Min	7.29 cd/m <sup>2</sup>	-
Máx	14.5 cd/m <sup>2</sup>	-	Máx	14.1 cd/m <sup>2</sup>	-
Mín/Médio	0.18	-	Mín/Médio	0.63	-
Mín/ Máx	0.10	-	Mín/ Máx	0.52	-
<b>Parâmetros</b>			<b>Parâmetros</b>		
Altura	0.00 m		Altura	0.12 m	

**Figura 5.29.** - Dois exemplos de resultados de luminância e uniformidade de uma estrada (à esquerda) e de um passeio (à direita) (Anexo V)

Relativamente à luminária do tipo Yoa verifica-se que, nas estradas os valores de luminância média, mínima e máxima variam, respetivamente, na ordem dos 8/9, 1,5 e 15/16 cd/m<sup>2</sup>. Em relação aos valores de U<sub>o</sub> e U<sub>L</sub>, estes são muito baixos, estando na ordem dos 0,2 e 0,1, respetivamente. Quanto aos passeios, os valores de luminância média, mínima e máxima são, aproximadamente, 10/11, 7 e 13/14 cd/m<sup>2</sup>, respetivamente. Já os valores de U<sub>o</sub> e U<sub>L</sub>, por oposição, são bastante melhores comparativamente com os das estradas, atingindo valores da ordem dos 0,6 e 0,5, respetivamente.

Assim, conclui-se que os resultados relativamente às uniformidades para este tipo luminária não são favoráveis no que diz respeito às estradas, sendo apenas aceitáveis os dos passeios.

A imagem da figura 5.30. diz respeito à distribuição de cores falsas ao longo do loteamento, relativamente às estradas existentes.



**Figura 5.30.** - Distribuição de cores falsas pelas estradas (Anexo I)

A imagem 5.31. corresponde à legenda de cores falsas com os respectivos valores em  $\text{cd}/\text{m}^2$ .



**Figura 5.31.** - Legenda relativa à distribuição de cores falsas

Através da imagem da figura 5.30. verifica-se que os resultados obtidos são bastante curiosos, dado que são muito semelhantes aos que foram obtidos com o modelo Plano, pois a cor predominante é o laranja escuro, o que demonstra haver, novamente, uma uniformidade bastante boa ao longo das vias. Por oposição, em algumas zonas dos cruzamentos e nas estradas junto aos lotes 61, 32 e 37 o desfaseamento de cores é bem mais acentuado, havendo mesmo

índices de luminância que vão dos 0,1 até cerca de 1  $\text{cd/m}^2$ , o que corresponde a uma uniformidade global mais baixa.

A imagem da figura 5.32. diz respeito à distribuição de cores falsas ao longo do loteamento, relativamente aos passeios existentes.



**Figura 5.32.** - Distribuição de cores falsas pelos passeios de parte do loteamento (Anexo I)

A imagem 5.33. corresponde à legenda de cores falsas com os respetivos valores em  $\text{cd/m}^2$ .



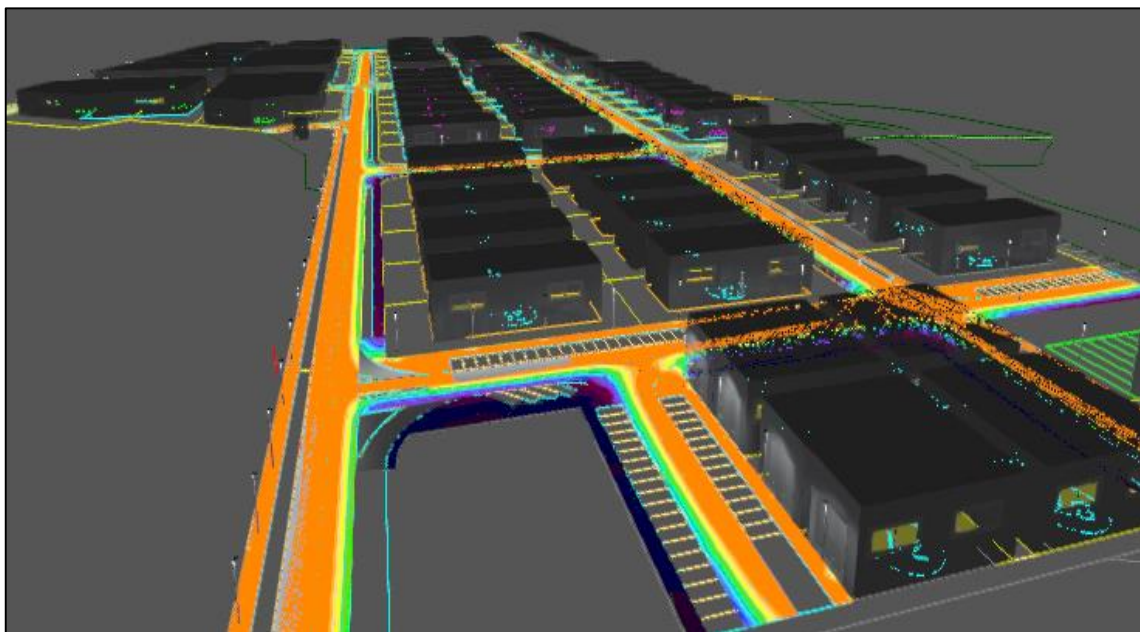
**Figura 5.33.** - Legenda relativa à distribuição de cores falsas

Pela análise da figura 5.32., verifica-se que, à semelhança do que acontece com o modelo Piano, a cor laranja escuro volta a ser predominante nos passeios onde se encontram as luminárias. Em contrapartida, nos passeios opostos aos das luminárias as cores são de tons bastante escuros, o

que se traduz numa taxa de incidência de fluxo luminoso bastante baixo, e, portanto numa luminância muito fraca.

Assim, após a análise das diferentes cores, conclui-se que existe uma distribuição de fluxo luminoso bastante adequada relativamente às estradas. Quanto aos passeios, existe um nível alto de luminância nos passeios com luminárias, mas, em contrapartida, os restantes passeios possuem um índice muito baixo. Deste modo, a luminária do tipo Yoa, apesar de contribuir com bons níveis de luminância no que toca às estradas, acaba por ser uma opção menos adequada para o loteamento, uma vez que há um grande contraste em termos de luminâncias entre os passeios com e sem luminárias.

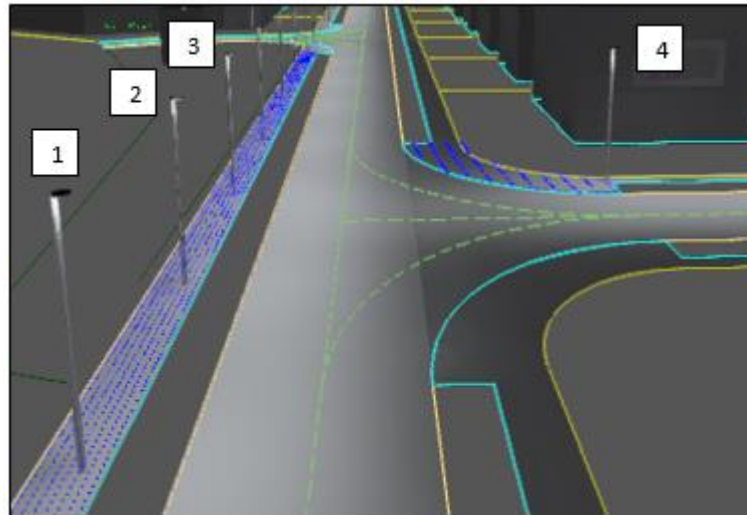
A figura 5.34. mostra uma perspetiva da planta em dimensão 3D, com as respetivas cores falsas das estradas e passeios.



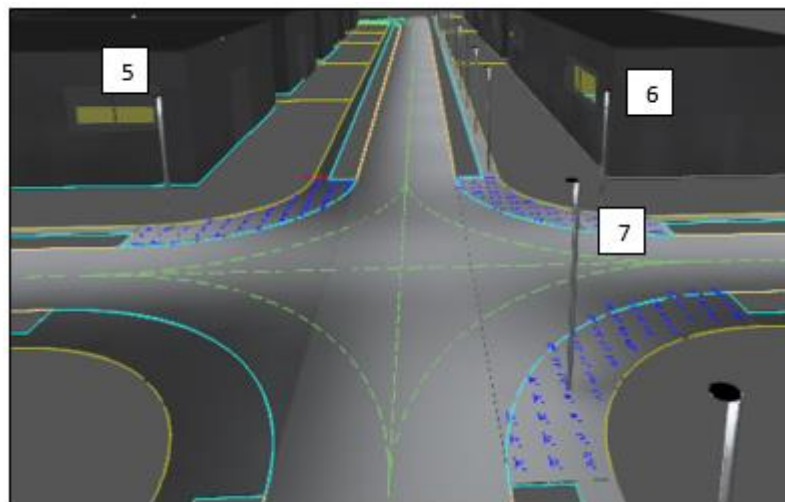
**Figura 5.34.** - Perspetiva 3D da planta do loteamento industrial referente à luminária do tipo Yoa (Anexo V)

As imagens das figuras 5.28., 5.29. e 5.30. correspondem a alguns locais do loteamento com luminárias do tipo Yoa implementadas, com os respetivos gráficos numéricos dos valores de luminância em cada ponto, os quais se encontram nos passeios e se podem visualizar na forma de um ‘picotado’ de cor azul.

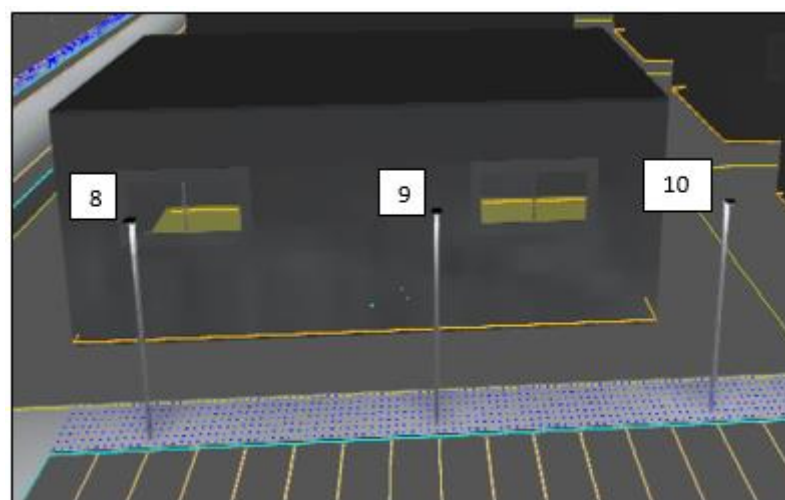
Na figura 5.35. os valores das luminárias variam entre 11 e 12  $\text{cd}/\text{m}^2$ . Já na figura 5.36. os valores das luminárias são de 7,3, 10 e 11  $\text{cd}/\text{m}^2$ , e, quanto à figura 5.37., estes variam entre 11, 12 e 13  $\text{cd}/\text{m}^2$ .



**Figura 5.35.** – Imagem 1 em 3D correspondente a um cruzamento do loteamento com algumas luminárias do tipo Yoa (Anexo V)



**Figura 5.36.** - Imagem 2 em 3D correspondente a um cruzamento do loteamento com algumas luminárias do tipo Yoa (Anexo V)



**Figura 5.37.** - Imagem 3 em 3D correspondente a uma reta do loteamento com algumas luminárias do tipo Yoa (Anexo V)

A tabela 5.5. possui os valores pontuais de luminância de cada uma das luminárias legendadas nas figuras 5.35., 5.36. e 5.37., do modelo Piano.

**Tabela 5.5.** - Valores de Luminância de cada luminária (Anexo V)

<b>Luminária</b>	<b>Luminância (cd/m<sup>2</sup>)</b>
1	12
2	12
3	11
4	11
5	7,3
6	11
7	10
8	11
9	12
10	13

Após a análise relativamente a alguns dos valores de referência obtidos referentes pelos três tipos de luminárias estudadas, foi elaborada uma pequena tabela (tabela 5.6.) com valores médios de luminância e de uniformidade, o que permitiu concluir qual o tipo de luminária ideal para o projeto entre as três selecionadas. Como já foi referido, a luminária Yoa constitui o pior caso, pois como se pode ver na tabela 5.6., os valores de uniformidade das estradas são muito baixos e os níveis de luminância em alguns dos passeios são praticamente de zero cd/m<sup>2</sup>. Assim, a dúvida residia entre as outras duas luminárias.

Ao analisar a tabela 5.6. verifica-se que os valores de luminância das estradas, em ambos os casos, são relativamente próximos, mas, no que toca à uniformidade, os números do modelo Akila Road superam os do Piano. Por outro lado, nos passeios, em relação à luminária Piano, constata-se que há valores muito baixos - exemplo dos passeios 2 e 4 - que contrastam com os restantes, contrariamente ao que acontece com a Akila Road. Deste modo, a luminária Akila Road consiste no modelo ideal a implementar no loteamento, com os níveis de luminância e uniformidade mais equilibrados de entre os três modelos estudados.

Na figura 5.38. encontram-se numerados os locais escolhidos pelo autor onde foram selecionados os diferentes resultados que completam a tabela 5.6.

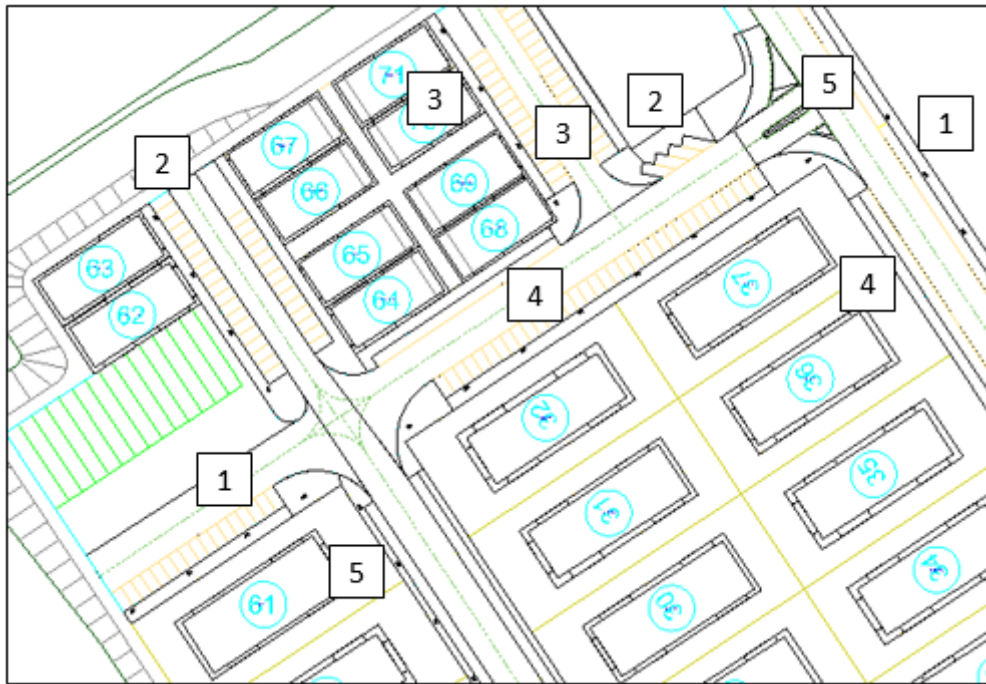
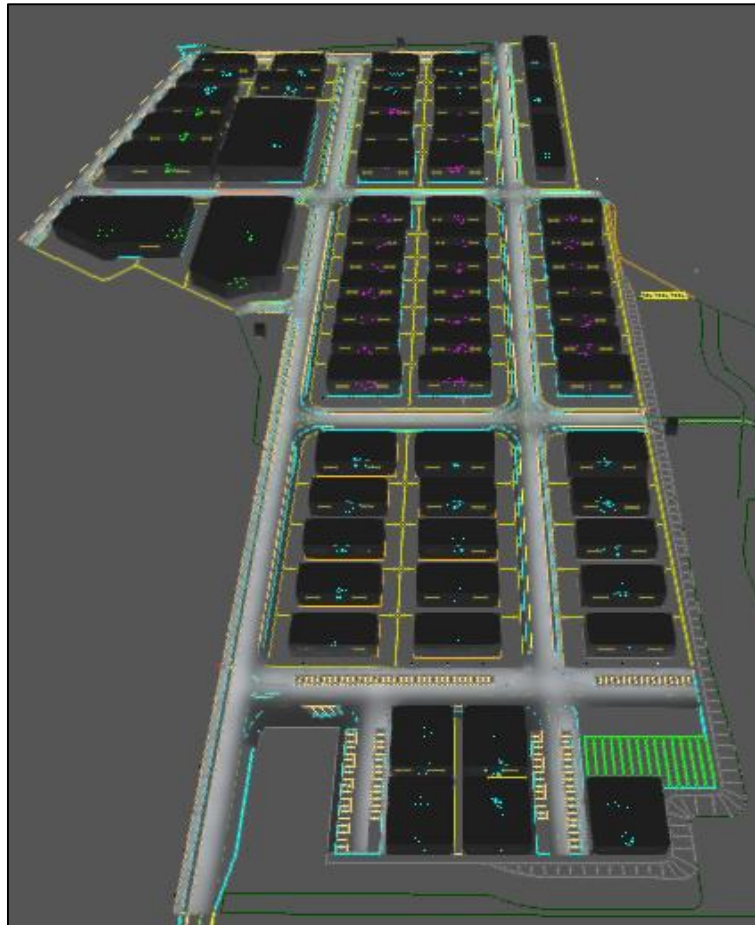


Figura 5.38. - Mapeamento dos locais associados aos resultados da tabela 5.5. (Anexo V)

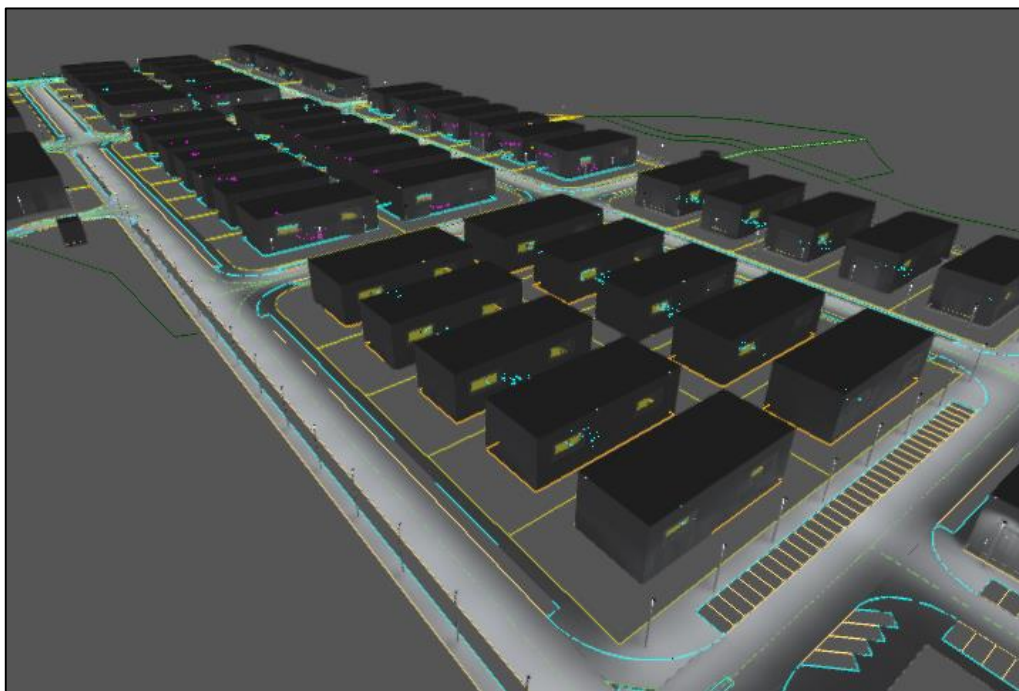
Tabela 5.6. - Valores de referência associados às luminárias de algumas das estradas e passeios do loteamento industrial (Anexo V)

Locais	AKILA ROAD			PIANO			YOA		
	Valores de Referência			Valores de Referência			Valores de Referência		
Estradas	Lmed (cd/m <sup>2</sup> )	Uo	UL	Lmed (cd/m <sup>2</sup> )	Uo	UL	Lmed (cd/m <sup>2</sup> )	Uo	UL
1	4,73	0,52	0,34	6,81	0,29	0,16	6,33	0,09	0,04
2	5,48	0,46	0,32	8,56	0,36	0,24	9,22	0,15	0,05
3	5,2	0,52	0,32	6,88	0,47	0,29	6,25	0,14	0,07
4	5,53	0,62	0,42	7,51	0,42	0,23	7,04	0,13	0,06
5	5,63	0,47	0,3	8,93	0,38	0,24	9,65	0,18	0,11
Passeios	Lmed (cd/m <sup>2</sup> )	Uo	UL	Lmed (cd/m <sup>2</sup> )	Uo	UL	Lmed (cd/m <sup>2</sup> )	Uo	UL
1	5,91	0,57	0,44	9,17	0,41	0,34	10	0,45	0,35
2	3,64	0,67	0,51	1,26	0,69	0,58	0,34	0,82	0,72
3	5,73	0,59	0,47	8,73	0,4	0,35	9,66	0,55	0,42
4	3,82	0,9	0,74	2,5	0,87	0,75	0,7	0,8	0,55
5	6,29	0,76	0,68	9,56	0,66	0,54	10,8	0,65	0,53

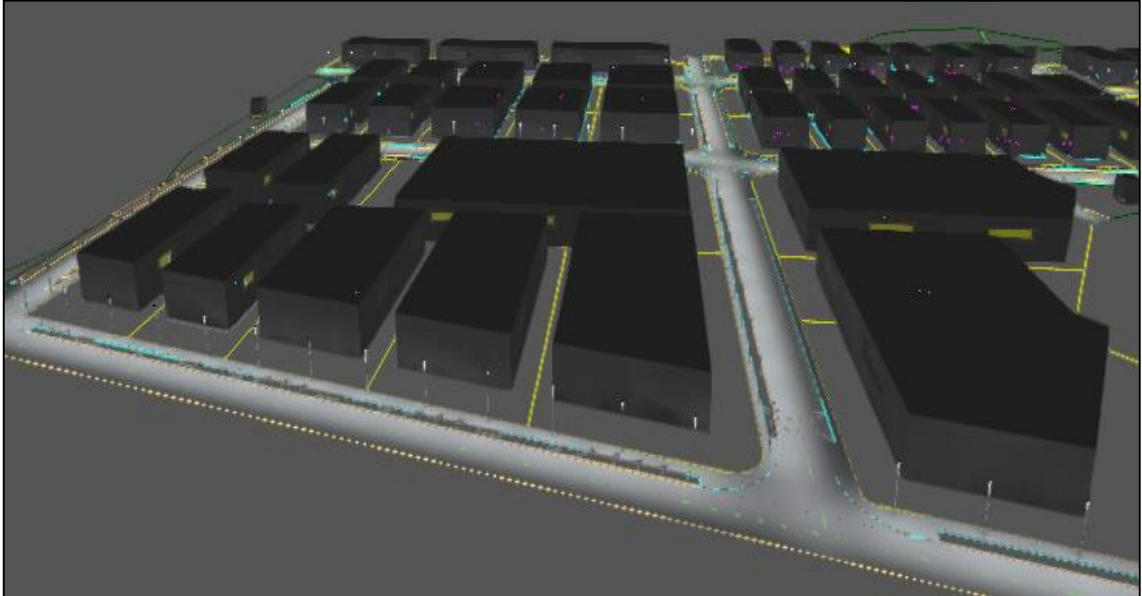
Concluído o estudo luminotécnico do loteamento, seguem-se algumas imagens tridimensionais relativamente ao mesmo. Assim, as figuras 5.39., 5.40., 5.41. e 5.42. são referentes a algumas ilustrações em 3D do loteamento industrial estudado, por forma a serem visualizadas algumas perspetivas da iluminação pública instalada bem como dos variados lotes e postos de transformação existentes.



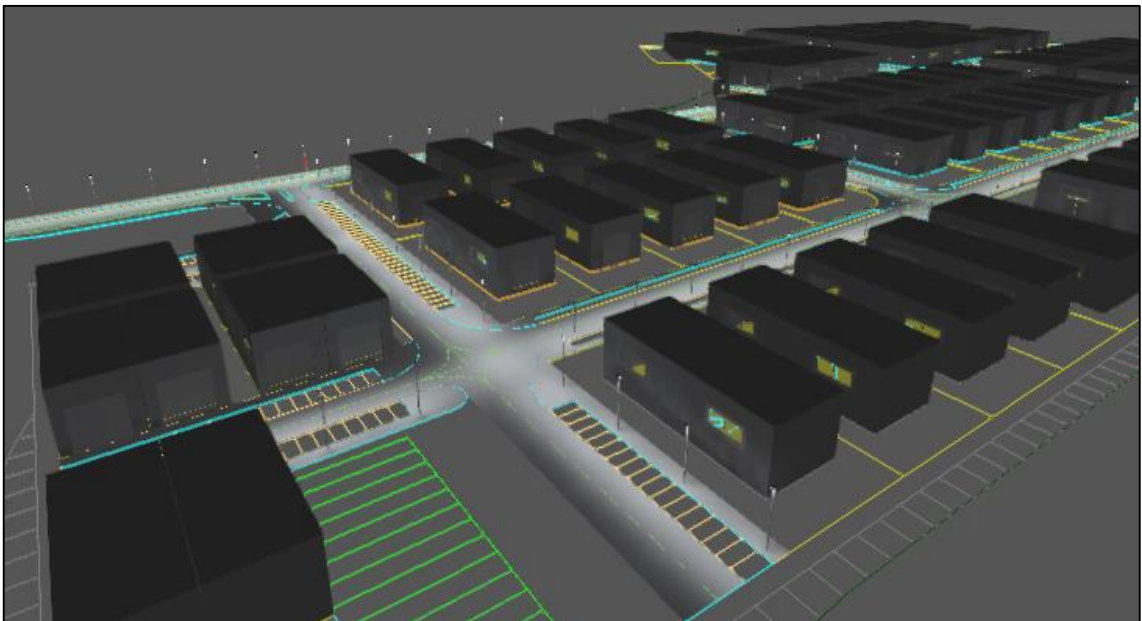
**Figura 5.39.** - Imagem 1 correspondente a uma perspectiva 3D do loteamento (Anexo V)



**Figura 5.40.** - Imagem 2 correspondente a uma perspectiva 3D do loteamento (Anexo V)



**Figura 5.41.** - Imagem 3 correspondente a uma perspectiva 3D do loteamento (Anexo V)



**Figura 5.42.** - Imagem 4 correspondente a uma perspectiva 3D do loteamento (Anexo V)

## 5.5. Conclusão

Através do critério de seleção de luminárias pode concluir-se que as vias são de classe ME4a, sendo estas, portanto, do tipo interurbano segundo a norma EN 13201.1. Quanto às luminárias selecionadas, estas encontram-se dentro dos parâmetros requeridos e possuem as características necessárias, tendo-se, posteriormente, procedido ao cálculo luminotécnico das mesmas no *software* DIALux evo. Após a obtenção dos diferentes resultados e de uma cuidada análise, constata-se que os modelos Akila Road e Piano são as opções mais adequadas a implementar no loteamento industrial, sendo o modelo Yoa o pior caso.

O tipo Yoa destaca-se pela positiva somente no que toca a valores médios de luminância nas estradas, havendo em alguns casos mesmo índices na ordem dos 9/10  $\text{cd/m}^2$ , o que não se verifica nos outros modelos. No entanto, relativamente aos passeios, constata-se que há um enorme contraste entre os valores de luminância média, sendo em alguns casos na ordem dos 10  $\text{cd/m}^2$ , enquanto noutros de aproximadamente zero  $\text{cd/m}^2$ . Por outro lado, os valores de uniformidade são bastante favoráveis nos passeios, contrariamente ao que se verifica no caso das estradas, que são muito baixos, principalmente os de uniformidade longitudinal.

Como foi comprovado, o modelo Akila Road possui os melhores índices de uniformidade, tanto a nível global como longitudinal, bem como o menor desfasamento de cores, pois em termos de luminância esta varia na ordem 4 a 7  $\text{cd/m}^2$  (sendo 4 o valor mínimo e 7 o máximo). Por outro lado, o modelo Piano acaba por competir com o tipo Akila Road, pois, apesar de haver um maior desfasamento de cores entre os passeios com e sem luminárias, nas estradas existe apenas uma cor predominante que corresponde a um muito bom índice de luminância, com valores acima dos 7  $\text{cd/m}^2$ . Porém, no que diz respeito à uniformidade, os valores do modelo Akila Road são superiores aos do tipo Piano, tanto a nível geral como longitudinal, e, além disso, relativamente aos passeios, há um grande contraste em relação aos valores de luminância média das luminárias Piano.

Deste modo, ambos os modelos Akila Road e Piano constituem boas opções para o loteamento estudado, sendo, contudo, o modelo Akila Road o ideal para o estudo de caso, e, por sua vez, o modelo Yoa a opção menos indicada.



## 6. CONCLUSÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

A realização deste trabalho foi importante na medida em que permitiu compreender melhor como se caracterizam as redes subterrâneas de baixa tensão e aparelhagem de corte típicas do dia-a-dia, bem como a sua necessidade. Foi, também, bastante importante na medida em que foram dadas a conhecer as principais características da iluminação pública, nomeadamente em relação às normas de instalação das luminárias e os níveis de luminância admissíveis em cada tipo de via. Foi, igualmente, destacada a importância da tecnologia LED, o modelo de iluminação ideal para o consumidor nos dias de hoje.

Após um intensivo estudo teórico, e, com base no mesmo, foi elaborado um projeto de redes BT com a respetiva iluminação pública. Para tal, inicialmente, foi fornecida ao autor uma planta referente a um loteamento industrial. Através do *software* AutoCAD, foram implementados os respetivos elementos de baixa tensão (postos de transformação, cabos, armários de distribuição), e, posteriormente, com recurso ao *software* Excel procedeu-se ao cálculo das potências e correntes de cada rede, das secções normalizadas, bem como à verificação dos critérios de aquecimento, queda de tensão e proteção de curto-circuitos. Concluído este estudo, verificou-se que as proteções e secções de cabo obtidas são as ideais para o loteamento, uma vez que todos os critérios mencionados foram cumpridos.

Finda a primeira parte do trabalho, procedeu-se, então, à realização do projeto luminotécnico em LED (segunda parte). Deste modo, começou por se analisar os critérios de seleção de luminárias, com o objetivo de determinar o tipo de classe de via, concluindo-se ser do tipo ME (posteriormente obteve-se o respetivo índice ME – ME4a). Seguidamente procedeu-se à pesquisa de variadas luminárias de algumas marcas mundialmente conhecidas do mercado da iluminação, e, após uma cuidada análise das mesmas, optou por se selecionar alguns modelos da marca Schröder. Foram, assim, de acordo com as características pretendidas, selecionados três modelos: Akila Road, Piano e Yoa. Deste modo, recorrendo ao *software* DIALux evo, efetuou-se a instalação dos três tipos de luminárias selecionadas, através de uma distribuição de postes do tipo unilateral. Subsequentemente, realizaram-se os cálculos luminotécnicos, essenciais para determinar a luminária ideal a implementar no projeto. Feitos os cálculos, analisaram-se, posteriormente, os diferentes valores de referência, tendo-se concluído que o modelo ideal é o tipo Akila Road, pois é aquele que permite obter a melhor a combinação de valores entre luminância média, e uniformidades geral e longitudinal, tanto para estradas como passeios. O *software* utilizado permitiu ainda mostrar algumas perspetivas 3D do loteamento, que viriam, depois, a ser apresentadas no trabalho de projeto.

Posto isto, conclui-se que todos os objetivos propostos para este trabalho foram atingidos com sucesso.

Após todo o estudo efetuado ao longo do projeto, em termos de trabalhos futuros, o autor propõe as seguintes melhorias:

- Ter especial atenção aos aspetos ambientais no que diz respeito à instalação de redes BT subterrâneas, nomeadamente no que toca à questão dos materiais implementados no solo, e, também, à forma como as redes são dispostas no mesmo, por forma a evitar determinados tipos de impactos;
- Ser criada uma ferramenta de cálculo mais prática, comparativamente com a que foi utilizada no projeto (Excel), por forma a serem efetuados todos os cálculos necessários ao dimensionamento das proteções de forma mais rápida e eficaz;
- Ser desenvolvida aparelhagem de proteção e corte cujo tempo de atuação das proteções seja o mais baixo possível para evitar ao máximo situações de curto-circuitos e sobrecargas;
- Utilização de luminárias LED com melhores níveis de uniformidade, tanto a nível geral como longitudinal;
- Realização de estudos técnico-económicos com o objetivo de determinar economias energéticas relativamente a lâmpadas, luminárias, aparelhagens de corte e proteção;

Por fim, o autor considera que este projeto foi crucial na sua vida tanto a nível pessoal como académico/profissional, uma vez que permitiu pôr à prova os seus variados conhecimentos, bem como as suas diferentes capacidades. Foi um trabalho que resultou de bastante dedicação, esforço e, sobretudo, de muita resiliência. Ao longo desta jornada, o autor considera, igualmente, ter ampliado os seus conhecimentos e, atualmente, ser capaz de resolver diversos tipos de problemas com maior facilidade e eficácia no dia-a-dia. Deste modo, o mesmo reconhece este trabalho como meritório por tudo aquilo que desenvolveu, ficando, assim, bastante satisfeito e com o sentido de dever cumprido.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aura light (2013). [http://www.auralight.pt/wp-content/uploads/2013/08/Aura-Light\\_Dossier\\_-\\_O-Electricista-43.pdf](http://www.auralight.pt/wp-content/uploads/2013/08/Aura-Light_Dossier_-_O-Electricista-43.pdf). Aura light (página Internet oficial), Portugal.

Brás, N. (2011). *Intervenção em Redes Elétricas de Distribuição de Energia*. Relatório de Estágio, Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra.

CEN (2004). EN 13201-1, *Road Lighting – Part 1: Selection of Lighting Classes* (disponível em [http://www.arpa.fvg.it/export/sites/default/istituzionale/servizi/inquinamento\\_luminoso/allegati/cen\\_tr\\_13201-1\\_2004.pdf](http://www.arpa.fvg.it/export/sites/default/istituzionale/servizi/inquinamento_luminoso/allegati/cen_tr_13201-1_2004.pdf)).

CEN (2015). EN 13201-2, *Road Lighting – Part 2: Performance Requirements* (disponível em [https://kupdf.com/download/bs-en-13201-2-2015\\_598033bfdc0d6023062bb180\\_pdf](https://kupdf.com/download/bs-en-13201-2-2015_598033bfdc0d6023062bb180_pdf)).

CEN (2015). EN 13201-3, *Road Lighting – Part 3: Calculation of Performance* (disponível em [file:///C:/Users/User/Downloads/I.S.EN13201-3-2015%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/I.S.EN13201-3-2015%20(1).pdf)).

CEN (2015). EN 13201-4, *Road Lighting – Part 4: Methods of Measuring Lighting Performance* (disponível em [https://kupdf.com/download/en13201-4\\_59804469dc0d6042092bb17d\\_pdf](https://kupdf.com/download/en13201-4_59804469dc0d6042092bb17d_pdf)).

CEMIG (2012). *Projetos de Iluminação Pública*. Companhia Energética de Minas Gerais, Brasil.

CEN (2003). [https://www.fer.unizg.hr/download/repository/en\\_13201-2\\_.pdf](https://www.fer.unizg.hr/download/repository/en_13201-2_.pdf). Road lighting - Part 2: Performance requirements, Bruxelas.

Documento de Referência EDP (2011). *Eficiência Energética na Iluminação Pública*.

EDP (2007). *Ligação de Clientes de Baixa Tensão*, DIT-C14-100/N (disponível em <https://www.edpdistribuicao.pt/pt/ligacaoRede/baixaTens%C3%A3o/Baixa%20Tenso/DITC14100N.pdf>).

EDP (2007). *Materiais para Derivações e Entradas BT*, DMA-C62-801/N (disponível em <http://www.edpdistribuicao.pt/pt/profissionais/Lists/EDPDocumentosNormativos/Attachments/152/DMA-C62-801N.pdf>).

EDP (2013). *Aparelhos de Iluminação Elétrica e Acessórios*, DMA-C71-111/N (disponível em <http://www.edpdistribuicao.pt/pt/profissionais/Lists/EDPDocumentosNormativos/Attachments/881/DMA-C71-111N.pdf>).

EDP (2015). *Manual de Ligações à Rede Elétrica de Serviço Público* (disponível em [http://www.edpdistribuicao.pt/pt/profissionais/EDP%20Documents/EDP%20Distribui%C3%A7%C3%A3o\\_Manual\\_Liga%C3%A7%C3%B5es\\_2015.pdf](http://www.edpdistribuicao.pt/pt/profissionais/EDP%20Documents/EDP%20Distribui%C3%A7%C3%A3o_Manual_Liga%C3%A7%C3%B5es_2015.pdf)).

Energy Efficiency (2015). <http://blog.isaenergy.pt/2015/12/17/iluminacao-publica-como-gerir-o-maior-consumidor-energetico-nas-autarquias/>. Virtual Power Solutions (página Internet oficial), Coimbra.

Guia Técnico Solidal (2010). Capítulo IV – *Técnica de Localização de Defeitos em Redes Subterrâneas e Acondicionamento de Cabos Elétricos*. Guia Técnico Solidal (catálogo).

História do LED (2011). (disponível em <http://www.golden.blog.br/historia-led/>).

Neves dos Santos, J. (2005). *Condutores e Cabos de Energia*. Apontamentos teóricos, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.

Neves dos Santos, J. e Ferreira, R. (2004). *Redes de Distribuição de Energia Elétrica em Baixa Tensão*. Apontamentos teóricos, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.

Preza de Araújo, L. (2009). *Posto de Transformação* (disponível em <http://www.prof2000.pt/users/lpa>).

Preza de Araújo, L. (2011). *Produção, Transporte e Distribuição de Energia Elétrica* (disponível <http://www.prof2000.pt/users/lpa>).

Ribeiro da Silva (2009). *Projeto de Postos de Transformação – Postos em Cabine*. Voltimum, Portugal.

RSRDEEBT (2006). *Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Elétrica em Baixa Tensão*, Decreto regulamentar n.º90/84.

Santos, C. (2011). *Iluminação Pública e Sustentabilidade Energética*. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Schröder (2017). (disponível em <http://www.schreder.com/pt-pt/produtos>).

Silva, D. (2014). *Medidas de Eficiência Energética em Redes de IP*. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Tecnologia LED (2014). (disponível em <http://www.mega8.pt/tag/iluminacao-2?print=pdf-page>).

Teixeira, A. [http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Ilumina%E7%E3o%20P%FAbl%20ica/Relat%F3rios%20e%20Normas/norma\\_europeia\\_de\\_iluminacao\\_publica\\_en\\_13201.pdf](http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Ilumina%E7%E3o%20P%FAbl%20ica/Relat%F3rios%20e%20Normas/norma_europeia_de_iluminacao_publica_en_13201.pdf). Norma Europeia de Iluminação Pública EN13201.



# **ANEXO I**

## **Planta do Loteamento Industrial**

**Planta do Loteamento Industrial com a Respetiva Rede de Baixa Tensão**

**Planta do Loteamento Industrial com a Respetiva Rede de Iluminação Pública**



# **ANEXO II**

Ficha de Identificação e  
Termo de Responsabilidade

Ficha Eletrotécnica



# **ANEXO III**

## **Esquemas Unifilares dos Postos de Transformação**



# **ANEXO IV**

## Esquemas Unifilares da Rede de Armários



# **ANEXO V**

Ficheiros DIALux Relativos ao Estudo das Luminárias  
LED Seleccionadas para o Projeto



# **ANEXO VI**

## Memória Descritiva