

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



FEUP

Eficiência Energética na Iluminação Pública

Diogo Nunes de Sousa

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Major Energia

Orientador: Prof. Dr. António Carlos Sepúlveda Machado e Moura
Co-orientador: Prof. Victor Paulo Barreira Ribeiro

23 de Janeiro de 2012

© Diogo Nunes de Sousa, 2012

Resumo

Após dois séculos de consumo excessivo de energia, sem se ter em atenção as consequências ambientais e a escassez dos recursos, as últimas duas décadas do século 20 começaram a revelar diferentes condutas de consciencialização das pessoas, na medida em que o planeta estava a sofrer alterações irreversíveis face ao consumismo exagerado da energia.

Em Portugal nos últimos 20 anos o consumo de iluminação pública aumentou 25%, atualmente representa cerca de 3% do consumo total da energia elétrica 1,6TWh, que representa um custo de 170M€.

Hoje em dia este panorama aliado à crise económica mundial que assola o planeta, levou a que se incutisse às pessoas a necessidade de uma utilização racional da energia pelo que muitos países criaram instituições específicas para tratar da questão da eficiência energética. De uma forma geral, estas instituições estabeleceram programas que visam promover a eficiência energética nos sectores industriais, residencial e comercial. Os equipamentos e edifícios passaram a ter que possuir um certificado energético.

A percentagem gasta em energia para iluminação representa cerca de 20% de toda a energia primária gasta, destes 20% estima-se que cerca de 3% seja gasta em iluminação pública, valor que se reflete bastante na fatura elétrica das autarquias.

O presente documento tem como objetivo estabelecer, como referência, uma série de parâmetros técnicos que deve seguir um projeto de IP de modo a se obter uma maior eficiência energética desta tipologia de instalações e, consequentemente, conduzir a uma diminuição das emissões de CO₂ durante o período de utilização das mesmas.

Abstract

After two centuries of excessive energy consumption, without taking into account the environmental effects and resource scarcity, the last two decades of the twentieth century began to reveal different behaviors awareness of people, to the extent that the planet was suffering irreversible changes against the excessive consumption of energy.

In Portugal in the last 20 years the consumption of public lighting increased 25%, currently represents about 3% of total consumption of electricity 1.6 TWh, which represents a cost of € 170M.

Today this view combined with the global economic crisis that devastates the planet, has motivated people to instill the need for a rational use of energy by which many countries have created specific institutions to address the issue of energy efficiency. In general, these institutions have established programs to promote energy efficiency in industrial sectors, residential and commercial. Equipments and buildings have started to have an energy certificate.

The percentage spent on energy for lighting represents about 20% of all primary energy spent, 20% of these it is estimated that about 3% is spent on public lighting, an amount that reflects much of the municipalities in the electric bill.

This document aims to establish, as a reference, a series of technical parameters that must follow an IP project in order to achieve greater energy efficiency of this type of facilities and, consequently, lead to a reduction in CO₂ emissions during the period of their use.

Agradecimentos

Ao meu orientador, o Professor Doutor António Carlos Sepúlveda Machado e Moura, o meu muito obrigada por ter aceite este convite, é com muita honra que tive o prazer de ser orientado por alguém de enorme prestígio.

Ao meu co-orientador, o Professor Victor Paulo Barreira Ribeiro, pela amizade, pelo empenho, pela confiança depositada, pelos níveis de exigência, assim como pela ajuda e dedicação ao longo da realização da dissertação.

A EDP distribuição, Área Operacional de Penafiel e o Engenheiro António Guedes Mesquita por me ter acolhido e recebido de braços abertos, dispondo de material imprescindível para a realização da dissertação.

Aos colegas conhecidos na EDP distribuição, destacando o Engenheiro Daniel Soares Pinto, pelos conselhos de extrema utilidade, assim como pelas palavras amigas na minha estadia na EDP.

Aos meus pais e irmã, a quem dedico este trabalho, pela paciência, pelo suporte económico, pela ajuda, pelo ânimo, enfim... por tudo o que já fizeram por mim e pelo que ainda hão-de fazer ao longo da minha vida, o meu MUITO OBRIGADO!

À minha namorada, que me acompanhou ao longo de todo o meu percurso académico, pela compreensão, pela amizade, pela ajuda, pela paciência e pelo apoio nos momentos mais difíceis.

A todos os meus amigos que conheci na Faculdade durante os 5 anos, e a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos: MUITO OBRIGADO!

Diogo Sousa

Índice

Resumo	iii
Abstract.....	v
Agradecimentos	vii
Índice.....	ix
Lista de figuras	xii
Lista de tabelas	xvi
Abreviaturas e Símbolos	xviii
Capítulo 1	1
Introdução.....	1
1.1 - Enquadramento	1
1.2 - A iluminação Pública e a sua Importância	2
1.3 - Objetivos	2
1.4 - Organização da dissertação	3
Capítulo 2	4
Iluminação Pública e revisão de conceitos	4
2.1 - Eficiência Energética na Iluminação Pública.....	4
2.2 - Evolução da Iluminação Pública	7
2.3 - Conceitos Luminotécnicos.....	10
2.3.1 - Introdução.....	10
2.3.2 - Grandezas Luminotécnicas	10
2.3.2.1 - Fluxo Luminoso	10
2.3.2.2 - Intensidade Luminosa.....	11
2.3.2.3 - Iluminância	12
2.3.2.4 - Luminância	14
2.3.3 - Visão	15
2.3.3.1 - Acuidade Visual	15
2.3.3.2 - Curva de Sensibilidade do Olho	15
2.4 - Componentes da Iluminação Pública	17
2.4.1 - Luminárias	17
2.4.1.1 - Rácio de saída do fluxo - Light Output Ratio (LOR)	18
2.4.2 - Características das Lâmpadas	19
2.4.2.1 - Rendimento Luminoso	19
2.4.2.2 - Temperatura de Cor	19
2.4.2.3 - Restituição de Cor.....	20

2.4.2.4 -	Duração média de vida	21
2.4.3 -	Tipos de Lâmpadas	21
2.4.4 -	Lâmpadas de descarga.....	21
2.4.5 -	LEDs	26
2.4.6 -	Balastros	28
2.4.7 -	Balastros Eletromagnéticos	28
2.4.8 -	Balastros Eletrônicos.....	29
2.4.9 -	Fontes de Alimentação	30
Capítulo 3	31	
Sistemas de Controlo e Gestão de Energia.....	31	
3.1 - Introdução	31	
3.1.1 - Sensores Crepusculares.....	31	
3.1.2 - Relógio Astronómico	32	
3.1.3 - Reguladores de Fluxo a instalar à cabeceira do sistema de IP	33	
3.1.4 - Sistemas de telegestão Avançados	37	
3.1.5 - Sistemas integrantes dos sistemas de telegestão dinâmicos	39	
3.2 - Conclusão	40	
Capítulo 4	41	
Tecnologia LED para Iluminação Pública	41	
4.1 - Introdução	41	
4.2 - Constituição da Luminária LED.....	42	
4.3 - Características	43	
4.4 - Eficiência Energética	44	
4.4.1 - Geometria ótica adequada	45	
4.4.2 - Espectro luminoso otimizado	46	
4.4.3 - Elevado desempenho ao longo do seu tempo de vida útil	46	
4.5 - Comentários Finais.....	47	
Capítulo 5	49	
Projeto de IP com o novo Documento de Referencia	49	
5.1 - Objetivos do Documento de Referencia “Eficiência Energética na Iluminação Pública”	49	
5.2 - Critérios a considerar em projetos de IP	51	
5.2.1 - Otimização.....	52	
5.2.2 - Encadeamento Incomodativo (G)	52	
5.2.3 - Encandeamento perturbador (TI).....	53	
5.2.4 - Fator de Manutenção	53	
5.2.4.1 - Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada	54	
5.2.4.2 - Fator de Sobrevivência da Lâmpada (LSF)	54	
5.2.4.3 - Fator de Manutenção da Luminária (LMF)	55	
5.2.5 - Rácio Envolvente (SR - Surround Ratio)	55	
5.3 - Níveis, Uniformidades e Classes Iluminação	57	
5.3.1 - Nível de Iluminação	57	
5.3.2 - Uniformidade da Iluminação	57	
5.3.3 - Classes de Iluminação	59	
5.3.3.1 - Classe ME	60	
5.3.3.2 - Classe CE	63	
5.3.3.3 - Classe S	66	
5.3.3.4 - Classe A	68	
5.3.3.5 - Classe ES	68	
5.3.3.6 - Classe EV	69	
5.3.3.7 - Classe P	70	
5.4 - Gestão do Processo de Manutenção de IP	72	
5.4.1 - LLMF (Fator de Manutenção do Fluxo Luminoso)	73	
5.4.2 - LSF (Fator de Sobrevivência da Lâmpada)	73	
5.4.3 - LMF (Fator de Manutenção da Luminária).....	74	
5.4.4 - Fator de Manutenção	75	

Capítulo 6	76
Apresentação de Cenários de Estudo e Avaliação Económica.....	76
6.1 - Introdução.....	76
6.2 - Zona Urbana	77
6.2.1 - Caracterização do local.....	77
6.2.2 - Estudo da Situação Existente	77
6.2.2.1 - Estudo Luminotécnico com disposição unilateral.....	79
6.2.2.2 - Estudo Luminotécnico com disposição bilateral oposta	82
6.2.2.3 - Custo Energético Atual	86
6.2.3 - Requalificação pelo Documento de Referencia	86
6.2.4 - Solução Proposta.....	87
6.2.4.1 - Estudo Luminotécnico com Disposição Unilateral	89
6.2.4.2 - Estudo Luminotécnico com Disposição Bilateral Oposta.....	90
6.2.4.3 - Custo Energético para cenário proposto	92
6.3 - Análise de Resultados Cenário 1	92
6.3.1 - Classificação Energética	92
6.3.2 - Resultados Luminotécnicos	93
6.3.3 - Balanços Energético e Económicos	94
6.4 - Zona Rural.....	95
6.4.1 - Descrição local de estudo	95
6.4.2 - Estudo da Situação Atual	96
6.4.2.1 - Estudo Luminotécnico dos Arruamentos.....	97
6.4.2.2 - Estudo Luminotécnico da Rotunda	99
6.4.2.3 - Custo Energético Atual	101
6.4.3 - Requalificação pelo Documento de Referencia	101
6.4.4 - Solução Proposta.....	103
6.4.4.1 - Estudo luminotécnico do Arruamento	103
6.4.4.2 - Estudo Luminotécnico da Rotunda	106
6.4.4.3 - Custo Energético para cenário proposto	107
6.5.1 - Classificação Energética	107
6.5.2 - Resultados Luminotécnico do Cenário 2	108
6.5.3 - Balanços Energético e Económicos	109
6.6 - Análise de Indicadores Económicos.....	110
6.6.1 - Valor Atual Líquido (VAL).....	111
6.6.2 - Taxa Interna de Rentabilidade (TIR)	112
6.6.3 - Período de Recuperação do Investimento (PRI)	112
6.6.4 - Análise de Cenário 1.....	113
6.6.5 - Análise do Cenário 2.....	114
6.6.6 - Conclusão	115
Capítulo 7	117
Conclusões e Trabalhos Futuros.....	117
7.1 - Conclusões	117
7.2 - Importância de um plano Diretor de Iluminação Pública	118
7.3 - Trabalhos Futuros.....	118
Referências	119
Anexos	121
Anexo A.....	122
Anexo B.....	123
Anexo C.....	125

Lista de figuras

Figura 2.1 - Diagrama de custos típico durante a vida útil de um sistema de iluminação [10]	4
Figura 2.2 - Variação do fluxo luminoso VS potência absorvida. [10]	5
Figura 2.3 - Tipos de lâmpadas e principais características[1].....	6
Figura 2.4 - Iluminação no Planeta. [1]	7
Figura 2.5 - Evolução da Iluminação Pública em Los Angeles.[1]	8
Figura 2.6 - Evolução do fornecimento de energia elétrica (Fonte: ERSE)[2]	8
Figura 2.7 - Exemplos de luminárias usadas nas vias e a sua evolução.[1].....	9
Figura 2.8 - Exemplos de luminárias usadas para a iluminação de zonas verdes.[1]	9
Figura 2.9 - Fluxo Luminoso [5]	10
Figura 2.10 - Ângulo sólido [5]	11
Figura 2.11 - Intensidade Luminosa [9]	11
Figura 2.12 - Iluminância sobre uma superfície [3]	12
Figura 2.13 - Ângulos usados no cálculo da iluminância semicilíndrica[30].....	13
Figura 2.14 - Ângulos usados no cálculo da iluminância vertical[30]	14
Figura 2.15 - Esquematização da Luminância [3]	14
Figura 2.16- Esquematização da acuidade visual [3].....	15
Figura 2.17 - Sensibilidade relativa da visão fotópica e escotópica [3]	16
Figura 2.18 - Visão Mesópica[4]	17
Figura 2.19 - Luminária.....	17
Figura 2.20 - DLOR e ULOR [3]	18
Figura 2.21 - Rendimento Luminoso [11].....	19
Figura 2.22 - Aparência das várias temperaturas de cor em Iluminação Pública [3]	20
Figura 2.23 - Exemplos de índices de restituição de cor [5].....	20
Figura 2.24 - Lâmpada de descarga [7].....	22
Figura 2.25 - Desagregação da energia consumida por uma lâmpada de vapor de mercúrio [9].	23
Figura 2.26 - Lâmpada de vapor mercúrio [9]	23
Figura 2.27 - Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão [11].	24
Figura 2.28 - Desagregação da energia consumida por uma lâmpada de vapor de mercúrio de iodetos metálicos [9].	25

Figura 2.29 - Lâmpada de vapor de mercúrio de iodetos metálicos [11].	25
Figura 2.30 - Lâmpada de Vapor de Sódio de Baixa Pressão [7].	26
Figura 2.31 - Obtenção de Luz Branca por Combinação de LEDs [15].	26
Figura 2.32 - Lâmpada de LEDs [17].	27
Figura 2.33 - Balastros Eletromagnéticos [8]	28
Figura 2.34 - Balastro Eletrónico[8]	29
Figura 2.35 - Esquema de um driver de LEDs	30
Figura 3.1 - Sensor crepuscular [21].	32
Figura 3.2 - Variações das Estações do ano no hemisfério norte[22]	32
Figura 3.3 - Relógio astronómico [23]	33
Figura 3.4 - Exemplo de funcionamento de um Regulador de Fluxo Luminoso ao longo do período noturno[24]	34
Figura 3.5 - Reguladores de Fluxo[24]	35
Figura 3.6 - Comparação da percentagem de lâmpadas em funcionamento (esquerda) e da variação do fluxo luminoso (direita) com e sem regulador de fluxo[24].	35
Figura 3.7 - Vantagens dos reguladores de fluxo[24].	36
Figura 3.8 - Esquematização de um sistema de telegestão de uma rede de IP - Esquematização[24]	38
Figura 3.9 - Características dos Sistemas de Controlo[24]	40
Figura 4.1 - Estrutura da Luminária LED[28]	42
Figura 4.2 - Comparação de condutividade térmica empregada nos dissipadores [28]	43
Figura 4.3 - Diferença do IRC da Lâmpada LED e Vapor de sódio alta pressão, 1 e 2 respetivamente[26]	44
Figura 4.4 - Temperatura de Cor[26].	44
Figura 4.5 - Geometria ótica [26]	45
Figura 4.6 - Poluição Luminosa[27]	46
Figura 5.1 - Má e boa Iluminação	50
Figura 5.2 - Cálculo da área para o índice de eficiência energética[3]	50
Figura 5.3 - Classificação energética das instalações de iluminação pública[3]	51
Figura 5.4 - Índice de eficiência energética das instalações de iluminação pública[3]	51
Figura 5.5 - Dimensionamento de uma rede de Iluminação Pública[29]	52
Figura 5.6 - Esquematização dos parâmetros para o cálculo do TI [3]	53
Figura 5.7 - Fator de Manutenção de uma instalação (FM) [3]	54
Figura 5.8 - Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada (LLMF)[3]	54
Figura 5.9 - Fator de Sobrevivência da Lâmpada (LSF)[3]	55
Figura 5.10 - Fator de Manutenção da Luminária (LMF)[3]	55
Figura 5.11 - Faixas longitudinais para o cálculo do SR [3].	56
Figura 5.12 - Largura máxima das faixas para o cálculo do rácio envolvente (SR) [3]	56
Figura 5.13 - Esquematização para a situação em que o cálculo do SR é feito para metade da largura da estrada [3]	56
Figura 5.14 - Parede de tijolo a obstruir a faixa longitudinal exterior de largura W [3].	56

Figura 5.15 - Exemplificação de não uniformidade de iluminação (esquerda) e uniformidade da iluminação junto às paragens de autocarro (centro e direita)[29]	57
Figura 5.16 - Uniformidade Longitudinal[30]	58
Figura 5.17 - Esquema dos critérios de seleção para as áreas de conflito[29]	
Figura 5.18 - Exemplo da mudança de índice da classe de iluminação, numa área de conflito (rotunda), quando o critério usado é a luminância[29]	64
Figura 6.1 - Descrição do local[31].....	77
Figura 6.2 - Dados utilizados no cálculo.....	79
Figura 6.3 - Vista 3D da instalação	79
Figura 6.4 - Curvas Isolux (Iluminâncias Horizontais)	79
Figura 6.5 - Iluminâncias Horizontais	80
Figura 6.6 - Curvas de Isoluminância [cd/m^2]	80
Figura 6.7 - Luminâncias	80
Figura 6.8 - Dados da via com software DIALux.....	80
Figura 6.9 - Representação 3D da via.....	81
Figura 6.10 - Linhas isográficas das iluminâncias.....	81
Figura 6.11 - Valores da Iluminâncias.....	81
Figura 6.12 - Linhas isográficas das luminâncias.....	81
Figura 6.13 - Resultados do cálculo	81
Figura 6.14 - Dados utilizados no cálculo	82
Figura 6.15 - Vista 3D da instalação	82
Figura 6.16 - Curvas Isolux (Iluminâncias Horizontais).....	83
Figura 6.17 - Iluminâncias Horizontais.....	83
Figura 6.18 - Curvas de Isoluminância [cd/m^2].....	83
Figura 6.19 - Valores das luminâncias	83
Figura 6.20 - Perfil da Via.....	84
Figura 6.21 - Representação 3D da Via	84
Figura 6.22 - Linhas isográficas da iluminância	85
Figura 6.23 - Valores da iluminância.....	85
Figura 6.24 - Linhas isográficas da luminância	85
Figura 6.25 - Resultados globais da instalação.....	85
Figura 6.26 - LEDBox 120[37].....	88
Figura 6.27 - Perfil da Via com disposição unilateral	89
Figura 6.28 - Representação 3D.....	89
Figura 6.29 - Linhas isográficas da iluminância	89
Figura 6.30 - Valores da iluminância na estrada.....	90
Figura 6.31 - Linhas isográficas da luminância na estrada	90
Figura 6.32 - Resultados globais da instalação com disposição unilateral	90
Figura 6.33 - Perfil da Via com disposição bilateral oposta	90
Figura 6.34 - Representação 3D.....	91
Figura 6.35 - Linhas isográficas da iluminância	91

Figura 6.36 - Valores da iluminância	91
Figura 6.37 - Linhas isográficas da luminância	91
Figura 6.38 - Resultados globais da instalação com disposição bilateral oposta	92
Figura 6.39 - Cálculo da área para o índice de eficiência energética	92
Figura 6.40 - Descrição do local[31].....	95
Figura 6.41 - Dados utilizados no cálculo.....	97
Figura 6.42 - Representação 3D da via.....	97
Figura 6.43 - Linhas isográficas da iluminância.....	97
Figura 6.44 - Valores da iluminância	98
Figura 6.45 - Linhas isográficas da luminância	98
Figura 6.46 - Valores da iluminância	98
Figura 6.47 - Perfil da Via	98
Figura 6.48 - Representação 3D da via.....	98
Figura 6.49 - Linhas isográficas da iluminância.....	99
Figura 6.50 - Valores da iluminância	99
Figura 6.51 - Linhas isográficas da luminância	99
Figura 6.52 - Resultados globais da instalação	99
Figura 6.53 - Desenho CAD da rotunda.....	100
Figura 6.54 - Linhas isográficas da iluminância.....	100
Figura 6.55 - Linhas isográficas da iluminância.....	100
Figura 6.56 - Valores da iluminância	101
Figura 6.57 - Balastro eletrônico Philips [36]	103
Figura 6.58 - Dados utilizados no cálculo.....	104
Figura 6.59 - Representação 3D da via.....	104
Figura 6.60 - Linhas isográficas da iluminância.....	104
Figura 6.61 - Valores da iluminância	104
Figura 6.62 - Linhas isográficas da luminância	104
Figura 6.63 - Valores da luminância	104
Figura 6.64 - Perfil da via	105
Figura 6.65 - Representação 3D da via.....	105
Figura 6.66 - Linhas isográficas da iluminância.....	105
Figura 6.67 - Valores da iluminância	105
Figura 6.68 - Linhas isográficas da luminância	106
Figura 6.69 - Resultados globais da instalação	106
Figura 6.70 - Linhas isográficas da iluminância.....	106
Figura 6.71 - Linhas isográficas da iluminância.....	106
Figura 6.72 - Valores da iluminância	107
Figura 6.73 - Cálculo da área para o índice de eficiência energética	107

Lista de tabelas

Tabela 2.1 - Tipo de lâmpadas e principais aplicações[10].....	5
Tabela 2.2 - Avaliação económica das tecnologias eficientes de iluminação.[10]	6
Tabela 3.1 - Poupança energética com regulação de fluxo para cada tipo de lâmpada[24]....	36
Tabela 4.1 - Modelos de HB-LED, usando configuração estrela[28]	42
Tabela 4.2 - Lentes conforme a necessidade dos LEDs [28].	43
Tabela 5.1 - Numero de horas por regime de funcionamento	55
Tabela 5.2 - Quadro simplificado das classes de iluminação distribuídas pelas três categorias de estradas definidas para Portugal[29]	59
Tabela 5.3 - Parâmetros de iluminação para uma situação típica, em cada tipo de estrada [29]	60
Tabela 5.4 - Método para a seleção da classe de iluminação ME[29]	61
Tabela 5.5 - Parâmetros da classe de iluminação ME da norma EN 13201-2:2003[29]	62
Tabela 5.6 - Classe da área de conflito correspondente à classe da Estrada adjacente, quando a luminância é o critério usado[29]	63
Tabela 5.7 - Método para a seleção da classe de iluminação CE [29].....	65
Tabela 5.8 - Parâmetros da classe de iluminação CE da norma EN 13201-2:2003 [29]	66
Tabela 5.9 - Classes ME e CE com um nível de iluminação comparável[29]	66
Tabela 5.10 - Método para a seleção da classe de iluminação S[29].....	67
Tabela 5.11 - Parâmetros da classe de iluminação S da norma EN 13201-2:2003[29]	68
Tabela 5.12 - Parâmetros da classe de iluminação A da norma EN 13201-2:2003[29]	68
Tabela 5.13 - Parâmetros da classe de iluminação ES da norma EN 13201-2:2003[29]	69
Tabela 5.14 - Parâmetros da classe de iluminação EV da norma EN 13201-2:2003[29].....	69
Tabela 5.15 - Correspondência do nível de iluminação das diversas classes[29]	70
Tabela 5.16 - Parâmetros da classe de iluminação P da norma EN 13201-2:2003[29]	70
Tabela 5.17 - Método para a seleção da classe de iluminação P[3]	71
Tabela 5.18 - Valores de LLMF para os vários tipos de lâmpadas[3]	73
Tabela 5.19 - Valores de LSF para os vários tipos de lâmpadas[3]	74
Tabela 5.20 - Valores de LMF[3]	75
Tabela 6.1 - Perfil da Via	78
Tabela 6.2 - Característica da Luminária	78
Tabela 6.3 - Lâmpadas	78
Tabela 6.4 - Custo da Iluminação Estrada atual	86

Tabela 6.5 - Custo da Iluminação Passeio atual	86
Tabela 6.6 - Custo Total atual.....	86
Tabela 6.7 - Definição da classe	86
Tabela 6.8 - Caracterização de E1	87
Tabela 6.9 - Caracterização da luminância	87
Tabela 6.10 - Característica da Luminária	88
Tabela 6.11 - Característica da Lâmpada	88
Tabela 6.12 - Custo energético para solução proposta	92
Tabela 6.13 - Valores para o cálculo da interdistância	93
Tabela 6.14 - Classificação Energética.....	93
Tabela 6.15 - Valores das luminâncias e iluminâncias obtidos nos softwares.....	93
Tabela 6.16 - Valores das luminâncias e iluminâncias obtidos nos softwares.....	94
Tabela 6.17 - Custo energético para solução proposta	94
Tabela 6.18 - Diferença de consumo por luminária.....	95
Tabela 6.19 - Custo energético para solução proposta	95
Tabela 6.20 - Descrição da via	96
Tabela 6.21 - Descrição dos arruamentos e da rotunda	96
Tabela 6.22 - Característica da luminária e sua disposição	96
Tabela 6.23 - Característica da lâmpada	97
Tabela 6.24 - Custo energético da solução atual	101
Tabela 6.25 - Definição da classe	101
Tabela 6.26 - Caracterização de E1 e E2	102
Tabela 6.27 - Caracterização da luminância.....	102
Tabela 6.28 - Caracterização de R1	102
Tabela 6.29 - Caracterização da iluminância	103
Tabela 6.30 - Custo energético para solução proposta	107
Tabela 6.31 - Custo energético para solução proposta	108
Tabela 6.32 - Custo energético para solução proposta	108
Tabela 6.33 - Valores das luminâncias e iluminâncias obtidos nos softwares.....	109
Tabela 6.34 - Valores das luminâncias e iluminâncias obtidos nos softwares.....	109
Tabela 6.35 - Custo energético para solução proposta	109
Tabela 6.36 - Custo energético para solução proposta	110
Tabela 6.37 - Custo energético para solução proposta	110
Tabela 6.38 - Consumos Energéticos Anuais.....	113
Tabela 6.39 - Balanço Energético Anual	113
Tabela 6.40 - Indicadores de investimento VAL, TIR e PRI	114
Tabela 6.41 - Consumos Energéticos Anuais.....	114
Tabela 6.42 - Balanço económico anual	114
Tabela 6.43 - Indicadores de investimento VAL, TIR e PRI	115

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas

CD	<i>Candela</i>
DLOR	<i>Rácio de Saída do Fluxo Luminoso Descendente</i>
FM	<i>Fator de Manutenção</i>
FML	<i>Fator de Manutenção da Luminária</i>
FMLL	<i>Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada</i>
FSL	<i>Fator de Sobrevivência da Lâmpada</i>
IP	<i>Iluminação Pública</i>
IRC	<i>Índice de Restituição de Cores</i>
LED	<i>Light Emission Diode</i>
LM	<i>Lúmen</i>
LX	<i>Lux</i>
M€	<i>Milhões de Euros</i>
PRI	<i>Período de Recuperação do Investimento</i>
VAL	<i>Valor Atual Líquido</i>
VSAP	<i>Vapor de Sódio de Alta Pressão</i>
TIR	<i>Taxa Interna de Rentabilidade</i>
T	<i>Temperatura de Cor</i>
ULOR	<i>Rácio de Saída do Fluxo Luminoso Ascendente</i>
U _o	<i>Uniformidade geral</i>
W	<i>Watt</i>

Lista de símbolos

CO ₂	Dióxido de Carbono
h	Horas
K	Kelvin
m	metro
€	Euros
φ	Fluxo Luminoso

Capítulo 1

Introdução

1.1 - Enquadramento

O consumo de energia está na origem de 80% das emissões de gases com efeito de estufa na União Europeia (UE).

Consequentemente, reduzir as emissões de gases com efeito de estufa implica um menor consumo de energia e uma maior utilização de energia limpa.

É nesta ótica que surge a denominada “Estratégia 20-20-20 para 2020” cujo objetivo é reduzir 20% do consumo de energia, reduzir 20% das emissões de GEE (Gases com Efeito de Estufa) e que 20% da energia consumida seja de fonte renovável.

Por outro lado, a Estratégia Nacional para a Energia 2020 (ENE 2020), estabelecida na Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010, de 15 de Abril, enquadra as linhas de rumo para a competitividade, o crescimento e a independência energética do país, através da aposta nas energias renováveis e na promoção integrada da eficiência energética, garantindo a segurança de abastecimento e a sustentabilidade económica e ambiental do modelo energético.

Em desenvolvimento do Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) e da ENE 2020, o Programa de Eficiência Energética na Administração Pública — ECO.AP (Resolução do Conselho de Ministros n.º 2/2011, de 12 de Janeiro), visa obter até 2020, nos serviços públicos e nos organismos da Administração Pública, um nível de eficiência energética na ordem dos 20% em face dos atuais valores.

Nestes objetivos enquadra-se também a utilização racional de energia e a eficiência energético-ambiental em equipamentos de iluminação pública (IP)[3].

1.2 - A iluminação Pública e a sua Importância

Desde os tempos dos primeiros primitivos que pisaram a superfície da terra, em que as necessidades se resumiam a um pequeno número de produtos, até se chegar ao modelo de sociedade que existe hoje, as necessidades humanas elevaram-se de maneira exponencial, sendo criado um complexo de sistemas logísticos que se desenvolvem de forma solidária sendo exigido que funcionem de maneira coordenada e padronizada.

As redes de transportes públicos, o fornecimento de água, o fornecimento dos produtos alimentares, os sistemas de comunicações, o sistema de energia, todos eles precisam uns dos outros para o seu funcionamento e continuidade. Para além disso o habitante das cidades é muito dependente destes serviços, que num período inicial surgiram como mais uma comodidade, e que rapidamente foram integrados no dia-a-dia dos cidadãos, tornando-se eles, ao mesmo tempo, beneficiários e dependentes dos seus fornecedores. Nas grandes cidades esta característica é mais visível, podendo ser vista quando um destes sistemas tem um colapso. Incluído nestes sistemas acima referidos encontra-se a iluminação pública (IP) que tem como principal função prolongar o nosso dia.

Dos 5 sentidos que se possui a visão é que nos dá 80% das informações sobre o nosso mundo. Para que se consiga reconhecer as pessoas, o local, as plantas é necessário um fenómeno físico imprescindível a "Luz". Sem a luz está-se privado de grande parte das nossas capacidades. A técnica de manuseamento e produção do fogo, além de outras funções, nos dava a luz para o período noturno e no interior de locais onde a luz do sol não penetrava. Ampliasse assim o nosso universo, tanto em relação ao espaço como em relação ao tempo.

Consegue-se então realizar atividades variadas à noite. Construir abrigos sem necessidade de luz exterior, aperfeiçoando sempre o sistema de IP até aos dias de hoje, onde pode-se efetuar todo o tipo de atividades tanto de dia como de noite.

Nos dias de hoje a IP pode chegar a todo o lado mesmo a sítios que não possui rede elétrica, sendo possível com a utilização de energias renováveis, como a energia eólica e a energia fotovoltaica cada vez mais em uso por questões económicas e por falta de rede elétrica em determinados locais.

Outras questões que são periodicamente relacionadas com a iluminação pública são o índice de criminalidade, o crescimento do comércio e do turismo, o sentimento de cidadania da população e o realce da arquitetura da cidade leva-nos a deduzir que a interferência da IP na vida das cidades tem um peso considerável que deve ser considerado no projeto da cidade.

1.3 - Objetivos

Nesta dissertação pretende-se estudar e apresentar soluções que permitam o correto dimensionamento das instalações de iluminação pública, apresentando dois casos de estudo cuja a sua aplicação prática é inserida em situações completamente distintas.

Pretende-se com isto, evidenciar as diferenças ao nível do dimensionamento das instalações introduzidas pela utilização do documento de referência para eficiência energética das instalações de iluminação pública, desejando que este trabalho possa desempenhar um papel pedagógico.

Pretende-se também abordar os aspetos relevantes das tecnologias atualmente aplicadas na iluminação pública, dando especial atenção às tecnologias cuja aplicação é recente.

Depois de efetuadas as simulações irá proceder-se à escolha de cenário de estudo mais eficientes, mais económicos e menos poluentes, com a elaboração de um estudo técnico-económico.

1.4 - Organização da dissertação

A divisão desta dissertação foi feita por sete capítulos, sendo o capítulo atual, uma breve introdução ao tema que irá ser abordado pormenorizadamente nos capítulos seguintes.

No capítulo 2 faz-se um estudo sobre a eficiência energética na IP e aborda-se a evolução da iluminação pública, e realiza-se uma revisão dos conceitos luminotécnicos.

No capítulo 3 é efetuada uma análise aos sistemas de controlo e gestão de energia para Iluminação Pública.

No capítulo 4 analisam-se os conceitos essenciais da tecnologia LED.

No capítulo 5 descreve-se a metodologia para um projeto eficiente de iluminação pública.

No capítulo 6 faz-se uma descrição e análise detalhada dos resultados dos cenários de estudo considerados, com uma análise técnica-económica.

No capítulo 7 estão referidas as conclusões retiradas do caso de estudo e são referidas algumas indicações sobre o trabalho futuro que poderá vir a ser desenvolvido.

Capítulo 2

Iluminação Pública e revisão de conceitos

2.1 - Eficiência Energética na Iluminação Pública

A iluminação no seu conjunto usa cerca de 10 a 20% do total da eletricidade consumida nos países industrializados, pelo que deve ser um dos principais alvos na racionalização energética. Com o uso de equipamento eficiente de iluminação, que leva a um aumento do nível de iluminação produzido e em bastantes casos a uma redução de potência, conseguindo-se poupanças substâncias de energia elétrica e qualidade de luz superior. Observando-se a figura 2.1, os custos associados a um sistema de iluminação, podem dividir-se durante a sua vida útil, em custos iniciais de investimento e custos operacionais (manutenção e energia).

A fração maioritariamente dominante do custo de vida numa instalação industrial, num edifício de serviços ou na iluminação, com elevado número de horas de funcionamento é o consumo de energia. Para que haja um uso eficiente de iluminação requer um projeto que integre de forma ótima a iluminação natural e o sistema de iluminação artificial.

Uma instalação de equipamento eficiente inclui, lâmpadas de alto rendimento, balastros eletrónicos, armaduras com reflexão elevada e equipamento de controlo.[10]

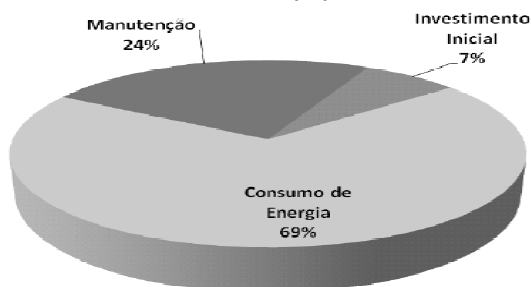


Figura 2.1 - Diagrama de custos típico durante a vida útil de um sistema de iluminação [10]

O desenvolvimento de balastros eletrônicos melhorou o rendimento luminoso das lâmpadas de descarga em cerca de 25%, mas também facilitou aplicação do controlo do fluxo luminoso, nomeadamente nas armaduras fluorescentes, com resultados muito positivos, ao nível do consumo de eletricidade nas situações em que se pretende variar o nível de iluminação artificial, em função da luz natural disponível ou das necessidades existentes. Para ilustrar a situação descrita, apresenta-se o gráfico da figura 2.2, a variação da potência absorvida com o fluxo emitido, para uma armadura com lâmpadas florescentes e balastros eletrónicos[10].

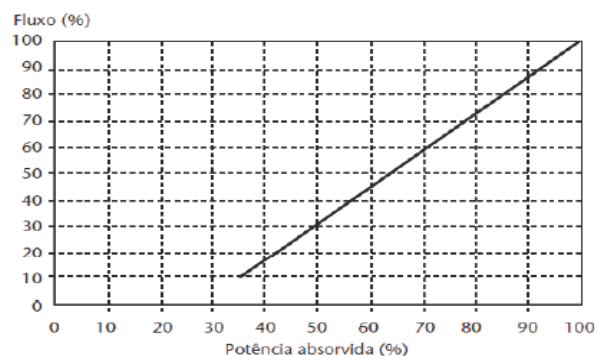


Figura 2.2 - Variação do fluxo luminoso VS potência absorvida. [10]

Apresenta-se algumas características das lâmpadas, tipos de aplicações, principais características e uma avaliação económica das tecnologias eficientes de iluminação.

Na tabela 2.1 observar-se os tipos de lâmpadas existentes e onde podem ser aplicadas.

As lâmpadas Incandescentes onde estão inseridas, as normais e as de halogéneo. As lâmpadas Fluorescentes que incluem, as tubulares e as compactas. Por fim tem-se as lâmpadas de Descargas que inserem, as de vapor de mercúrio, vapores metálicos de halogéneo, vapor de sódio alta pressão e as de vapor de sódio de baixa pressão.

As aplicações de cada tipo de lâmpada estão descritas na tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Tipo de lâmpadas e principais aplicações[10]

<i>Tipos de lâmpadas</i>	<i>Principais aplicações</i>
Incandescentes	
Normais	Iluminação doméstica, interior e decorativa
Halogéneo	Iluminação dirigida e de segurança
Fluorescentes	
Tubulares	Iluminação de serviços e industrial
Compactas	Todas as aplicações das incandescentes
Descarga	
Vapor de mercúrio	Iluminação pública e industrial
Vapores metálicos de halogéneo	Iluminação desportiva e industrial
Vapor de sódio alta pressão	Substitui as de vapor de mercúrio em iluminação pública e industrial com economias de energia significativas

Vapor de sódio baixa pressão	Substitui as de vapor de mercúrio em iluminação industrial de exteriores com economias de energia ainda mais significativas, mas têm fraca restituição de cor
------------------------------	---

Como se observa na tabela da figura 2.3, para que haja uma poupança de energia na iluminação pública, deve-se ter em conta o tipo de lâmpada a selecionar, isto é, selecionar as mais económicas, selecionar balastros eletrónicos, isto para instalações novas. As características das 6 lâmpadas, são bastante diversas, desde o consumo de cada uma, do rendimento luminoso, a vida útil de cada uma, a restituição de cor e a temperatura de cor. As lâmpadas de vapor de mercúrio têm vindo a ser progressivamente substituídas por lâmpadas de Sódio de Alta Pressão, como ilustrado na tabela da figura 2.3 para a mesma potência as lâmpadas (50 a 1000W), as de Sódio de Alta Pressão têm uma eficiência a variar entre os 80 e 150W, sendo que as de Vapor de Mercúrio têm uma eficiência mais baixa que varia entre os 40 e 60W.

	Incandescentes	Iodetos Metálicos	Fluorescentes	Vapor de Mercúrio	Sódio Alta Pressão	Sódio Baixa Pressão
W	200	2000	80	1000	1000	180
Potência	40	100	18	50	50	18
Lm/W	20	90	80	60	150	200
Rend. Lumin.	10	80	44	40	80	120
h	1000	15000	14000	> 2400	24000	18000
Vida Útil	1000	6000	12000		12000	12000
Ra	100	95	98	60	65	< 20
Restit. de Cor	100	65	75	50	20	
K	2700	6000	6500	4000	2200	1800
Temp. de Cor	2700	3000	2700	3000	2000	

Figura 2.3 - Tipos de lâmpadas e principais características[1]

Outras tecnologias eficientes que se devem aplicar em instalações já existentes, estão ilustradas na tabela 2.2. Verifica-se que para que haja mais rendimento e menos consumo, deve-se efetuar a substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão, a instalação de refletores nas armaduras de lâmpadas fluorescentes, a substituição dos balastros convencionais por balastros eletrónicos. Os ganhos que estas substituições eram produzir estão expressos na tabela 2.2.[10]

Tabela 2.2 - Avaliação económica das tecnologias eficientes de iluminação.[10]

Tecnologias Eficientes	Consumo poupado anualmente por armadura (kWh)	Custos de implementação da tecnologia por armadura (Euros)	Payback (anos)
Substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão	272	38	1,40
Instalação de refletores nas armaduras de lâmpadas fluorescentes	224,4	60	2,67
Substituição dos balastros convencionais por balastros eletrónicos	170	40	2,35

2.2 - Evolução da Iluminação Pública

A figura 2.4 ilustra a iluminação urbana e o seu desenvolvimento.[1]

Observando-se a figura 2.4, constata-se que os países mais evoluídos são os que tem maior quantidade de pontos de luz ilustrados na imagem. Verifica-se que a Europa em geral tem muita iluminação, os Estados Unidos são o país com a maior concentração de pontos luminosos, o Brasil tem bastantes pontos luminosos igualmente, finalmente tem a Rússia e o Japão com bastantes pontos luminosos. No lado oposto sem pontos luminosos tem o continente africano, tirando a África do Sul e o continente Asiático também com poucos pontos com luz, excluindo o Japão.



Figura 2.4 - Iluminação no Planeta. [1]

A evolução da Iluminação Pública em Los Angeles (Figura 2.5). A escolha recai sobre a cidade de Los Angeles pois é conhecida como a cidade com mais iluminação durante a noite em todo o planeta, sendo igualmente a cidade que mais tem evoluído no que ao acréscimo da iluminação diz respeito. Verifica-se que entre os anos de 1908 e 1988, isto é, em 80 anos, houve uma evolução brutal, em 1908 havia uma concentração de pontos luminosos no centro da cidade, em 1988 existia já luz em quase toda a cidade. No ano de 2002, observa-se que não existem muitos pontos onde a luz não alcance. Um aspecto importante para a existência desta quantidade de iluminação, é a iluminação dos edifícios que tem um peso significativo na iluminação exterior.

Os edifícios ficam todos iluminados à noite, por questões de segurança, publicidade, trabalho, isto é, empresas que trabalham por turnos, trabalhando de dia e de noite e também por questões de estética, para realçar a arquitetura dos edifícios.



Figura 2.5 - Evolução da Iluminação Pública em Los Angeles.[1]

Em Portugal a iluminação pública representa cerca de 3% do consumo total da energia elétrica, sendo cerca de 1,6 TWh, que se traduz num custo de 170M€. Número de pontos de luz em Portugal ronda os 4 milhões, tendo Portugal cerca de 10 milhões de habitantes, pode-se concluir que existe 1 ponto de luz por cada 3 habitantes. Os pontos de luz, e o consumo têm um acréscimo anual próximo dos 4 a 5% em Portugal. Os sistemas mais utilizados ou mais comuns em Portugal assentam na tecnologia das lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão. Existindo ainda uma quota significativa, da tecnologia de lâmpadas de vapor de mercúrio, que têm vindo a ser progressivamente substituídas.

No gráfico da figura 2.6, ilustra-se que o crescimento da iluminação pública tem acompanhado o crescimento dos níveis de tensão.

	Fornecimento de energia elétrica (GWh)						Previsão 2012
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	
Muito Alta Tensão	1435	1530	1667	1538	1612	1659	1801
Alta Tensão	5459	6276	6360	5812	6092	6271	6662
Média Tensão	14267	14233	14318	13898	14568	14996	14161
Baixa Tensão Especial	3402	3487	3559	3576	3749	3859	3623
Baixa Tensão Normal	19248	19787	19059	19780	20393	20617	19730
Iluminação Pública	1399	1449	1509	1542	1590	1607	1606
Total	45645	46917	46469	46146	48004	49009	47583

Figura 2.6 - Evolução do fornecimento de energia elétrica (Fonte: ERSE)[2]

Δ% Iluminação Pública	3.57%	4.14%	2.19%	3.11%	1.06%	0.0%
------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	------

Conclui-se que houve um aumento do consumo em todos os níveis de tensão de 2006 para 2011. Como é possível observar tem havido um aumento gradual do consumo da IP em Portugal, estando atualmente situado no 1.6 TWh.

Em Portugal, a gestão da iluminação pública é da responsabilidade das Câmaras Municipais no que respeita a níveis e horários de iluminação e ao tipo e número de aparelhos de iluminação e lâmpadas em serviço. Quanto à manutenção das instalações de iluminação pública (Contrato Concessão) compete à empresa distribuidora essa tarefa. A rede de iluminação pública acompanha a rede de distribuição em BT, utilizando lâmpadas conforme a

zona em que está inserida. Nas zonas rurais utilizam-se as VSAP 70 e 100W, nas zonas urbanas utilizam-se VSAP 70, 100, 150 e 250W.

Alguns exemplos de infraestruturas elétricas da iluminação pública, estão representados na figura, sendo que a iluminação da zona viária, tem acompanhado os ganhos de eficiência tecnológico.[1]



Figura 2.7 - Exemplos de luminárias usadas nas vias e a sua evolução.[1]

Verificando a figura 2.7, observa-se a evolução das luminárias utilizadas nas vias de comunicação, passando estas a ser cada vez mais eficientes e mais atraentes esteticamente. No sentido oposto estão as luminárias utilizadas na iluminação de espaços verdes, pois ainda apresentam algumas lacunas de eficiência. Na figura 2.8 tem exemplos das luminárias utilizadas em espaços verdes.



Figura 2.8 - Exemplos de luminárias usadas para a iluminação de zonas verdes.[1]

Alguns destes exemplos ainda são visíveis hoje em dia nos jardins que estão espalhados por Portugal, o que demonstra bem que não tem havido uma evolução significativa nesta área da iluminação.

2.3 - Conceitos Luminotécnicos

2.3.1 - Introdução

Um sistema de iluminação deve ser adequado à tarefa a realizar, uma vez que é um fator essencial para o desempenho humano, além de contribuir para o bem-estar físico e psicológico. Estes sistemas devem ser projetados tendo em conta alguns parâmetros que definem uma iluminação de qualidade e adequada à atividade a realizar. Deste modo o projetista deve avaliar quais as tecnologias que deve utilizar, além de garantirem uma iluminação adequada.

2.3.2 - Grandezas Luminotécnicas

Em luminotecnia consideram-se basicamente 4 grandezas [5]:

- Fluxo luminoso;
- Intensidade luminosa;
- Iluminação ou iluminância;
- Luminância.

O conhecimento destas grandezas permite caracterizar uma instalação de iluminação, isto é, avaliá-la quanto à sua qualidade e adequação ao local assim como medir a sua eficiência.

2.3.2.1 - Fluxo Luminoso

Em todos os sistemas luminosos obtêm-se energia luminosa por transformação de outro tipo de energia [6]. Se chamarmos fluxo radiante à energia radiante emitida por uma lâmpada por unidade de tempo, a parte desse fluxo que produz sensação luminosa ao olho humano é o fluxo luminoso (F ou ϕ) [6]. A unidade de fluxo luminoso é o lúmen (lm). A figura 2.9 mostra a maneira como uma lâmpada emite fluxo luminoso.



Figura 2.9 - Fluxo Luminoso [5]

O valor do fluxo luminoso permite saber a quantidade de luz emitida pela fonte num intervalo de tempo.

$$Q = F \cdot t \quad (2.1)$$

em que:

- Q é a quantidade de luz (lm.s);
- F é o fluxo luminoso (lm);
- t é o intervalo de tempo (s).

2.3.2.2 - Intensidade Luminosa

Para compreender esta grandeza é necessário conhecer o conceito de ângulo sólido.

Ângulo sólido pode ser definido como aquele que, visto do centro de uma esfera, percorre uma dada área sobre a superfície dessa esfera, como se pode ver na figura 2.10.

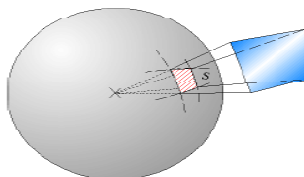


Figura 2.10 - Ângulo solido [5]

Assim o ângulo sólido será dado por:

$$\omega = \frac{S}{r^2} \quad (2.2)$$

em que:

- ω é o ângulo sólido (sr);
- S é a área de superfície esférica (m²);
- r é o raio da esfera (m).

Intensidade luminosa pode então ser definida como fluxo luminoso compreendido na unidade de ângulo sólido no qual é emitido, pressupondo-se que a fonte luminosa é pontual. A unidade de intensidade luminosa é o candela (cd). A figura 2.11 mostra o conceito de fluxo luminoso.

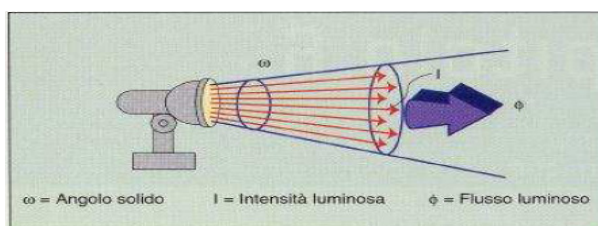


Figura 2.11 - Intensidade Luminosa [9]

A intensidade luminosa é obtida pela expressão:

$$I = \frac{F}{\omega} \quad (2.3)$$

em que:

- I é a intensidade luminosa (cd).

2.3.2.3 - Iluminância

Iluminância ou iluminação é o fluxo luminoso recebido por unidade de área iluminada como representado na figura 2.12. A unidade de iluminância é o lux (lx). Podemos definir um lux como a iluminância de uma superfície de 1m² que recebe, uniformemente repartida, o fluxo de 1 lúmen [6].

Assim, a iluminância é dada por:

$$E = \frac{\phi}{S} \quad (2.4)$$

em que:

- E é a iluminância (lux);
- S é área a superfície iluminada (m²).

A iluminância é um dos fatores mais importantes a ter em conta no dimensionamento de uma instalação de iluminação, pois deve ser adequada ao local.

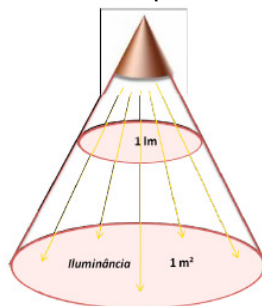


Figura 2.12 - Iluminância sobre uma superfície [3]

Existem quatro medidas de iluminância possíveis:

- Horizontal.
- Vertical.
- Semi-cilíndrica.
- Hemisférica.

➤ Iluminância Horizontal

Os pontos de cálculo devem estar localizados num plano ao nível do chão na área de interesse. Para cada ponto, a iluminância horizontal é calculada pela seguinte fórmula: [30]

$$E = \frac{I \times \cos^3(\epsilon) \times \phi \times MF}{H^2} \quad (2.5)$$

Legenda:

E - Iluminância horizontal num ponto, em lux.

I - Intensidade luminosa na direção do ponto, em candelas (cd), normalizada por kilolumen (klm).

ε - Ângulo de incidência da luz no ponto, em graus.

H - Altura a que se encontra a luminária, em metros.

Φ - Fluxo luminoso inicial da(s) lâmpada(s) da luminária, em klm.

MF - Produto do fator de manutenção do fluxo da lâmpada (LLMF) com o fator de manutenção da luminária (LMF).

➤ Iluminância Hemisférica

Os pontos de cálculo são novamente localizados num plano ao nível do chão, na área de interesse. Para o cálculo da iluminância hemisférica num determinado ponto, recorre-se à seguinte equação:

$$E = \frac{I \times [\cos^3(\varepsilon) + \cos^2(\varepsilon)] \times \Phi \times MF}{4 \times H^2} \quad (2.6)$$

➤ Iluminância Semicilíndrica

Os pontos de cálculo devem estar localizados num plano a 1,5 metros acima da superfície da área de interesse. Para cada ponto, a iluminância semicilíndrica é calculada pela seguinte fórmula:

$$E = \frac{I \times [1 + \cos(\alpha)] \times \cos^2(\varepsilon) \times \sin(\varepsilon) \times \Phi \times MF}{\pi \times (H - 1.5)^2} \quad (2.7)$$

Legenda:

α - Ângulo entre o plano vertical que contém o caminho do raio incidente, com o plano vertical em ângulos retos à superfície rebatida do semicilindro (Figura 2.14).

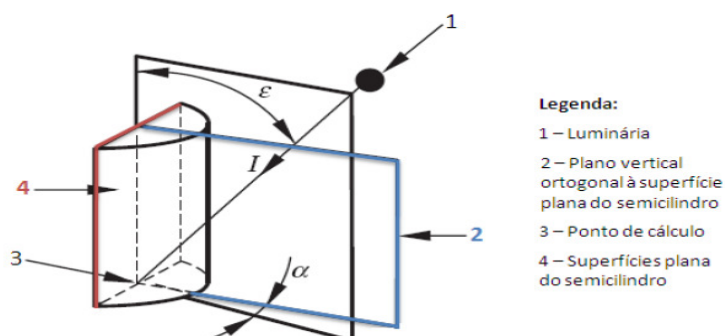


Figura 2.13 - Ângulos usados no cálculo da iluminância semicilíndrica[30]

➤ Iluminância Vertical

Os pontos de cálculo devem igualmente estar localizados num plano a 1,5 metros acima da superfície da área de interesse. Para cada ponto, a iluminância vertical é calculada pela seguinte fórmula:[30]

$$E = \frac{I \times \cos(\alpha) \times \cos^2(\epsilon) \times \sin(\epsilon) \times \phi \times MF}{(H-1.5)^2} \quad (2.8)$$

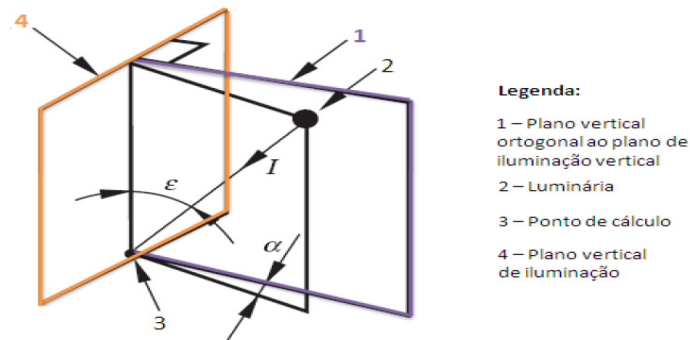


Figura 2.14 - Ângulos usados no cálculo da iluminância vertical[30]

2.3.2.4 - Luminância

Luminância é o quociente entre a intensidade luminosa emitida a uma fonte luminosa ou por uma superfície refletora e sua área aparente. A unidade de luminância é o cd/m² e o seu valor é obtido pela seguinte expressão:

$$L = \frac{I}{S_a} \quad (2.9)$$

em que:

- L é a luminância (cd/m²);
- S_a é a área de superfície aparente (m²).

A figura 2.15 ajuda a explicar melhor o conceito de luminância.

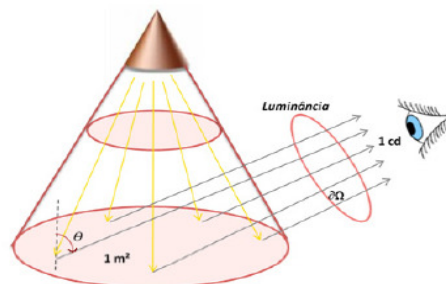


Figura 2.15 - Esquematização da Luminância [3]

A distribuição da luminância no campo de visão das pessoas numa área de trabalho, proporcionada pelas várias superfícies dentro da área (luminárias, janelas, teto, parede, piso e superfície de trabalho), deve ser considerada como complemento à determinação das iluminâncias (lux) do ambiente, a fim de evitar ofuscamento [7].

2.3.3 - Visão

2.3.3.1 - Acuidade Visual

A acuidade visual relaciona-se com a capacidade de resolução espacial de dois pontos e depende da densidade dos recetores na retina e do poder de refração do sistema das lentes óticas. Por outras palavras a acuidade visual é a capacidade que o olho tem de reconhecer separadamente, com nitidez e precisão, objetos muito pequenos e próximos entre si. As distâncias na retina são referidas em termos de ângulo visual (θ). Assim, dizemos que a capacidade do olho em distinguir dois pontos está associada a um certo valor de ângulo visual. Quantitativamente, podemos dizer que a acuidade visual é o inverso do ângulo mínimo sob o qual os olhos conseguem distinguir um pormenor [3].

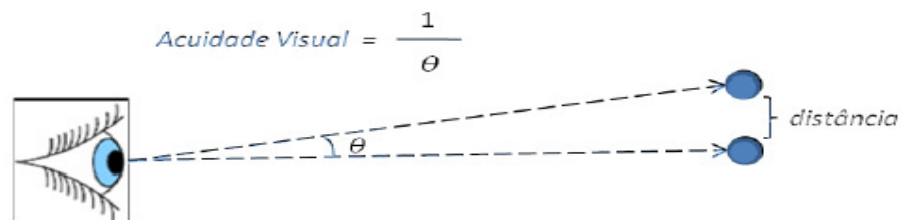


Figura 2.16- Esquematização da acuidade visual [3]

Quando, por exemplo, são realizados testes visuais com letras e números de diferentes tamanhos num consultório oftalmológico, está a ser pesquisada a acuidade visual do paciente. O olho (na região da fóvea) possui uma capacidade de focagem elevada que permite discriminar duas linhas afastadas por 0,3 mm a uma distância de 1 metro.

Existem vários fatores que irão influenciar a acuidade visual, tais como [3]:

- *Adaptação* - capacidade que o olho humano possui para se ajustar a diferentes níveis de intensidade luminosa, mediante os quais a pupila irá dilatar ou contrair.
- *Acomodação* - é o ajustamento das lentes do cristalino do olho de modo a que a imagem esteja permanentemente focada na retina.
- *Contraste* - é a diferença de luminância entre um objeto que se observa e o seu espaço envolvente.
- *Idade* - A capacidade visual de uma pessoa diminui com a idade, uma vez que, com o passar dos anos o cristalino endurece perdendo a sua elasticidade, o que torna mais complicada a tarefa de focalização das imagens dos objetos.

2.3.3.2 - Curva de Sensibilidade do Olho

Define a sensibilidade do olho ao longo do dia.

A curva define desde as condições de boa iluminação ($> 3 \text{ cd/m}^2$) que ocorrem durante o período diurno, onde a visão é mais nítida, detalhada e as cores se distinguem perfeitamente,

(denominada de visão fotópica, atingindo um valor máximo aos 555nm - amarelo-esverdeado).

Quando os níveis de luminância são inferiores a 0,25 cd/m², a sensação de cor não existe e a visão é mais sensível aos tons azuis e à luz (denominada de visão escotópica, com um valor máximo aos 493nm – azul-esverdeado).

Nas situações existentes entre estes valores, a capacidade para distinguir as cores diminui em conformidade com a diminuição da quantidade da luz, variando a sensibilidade aos tons amarelados para os tons azuis (denominada de visão mesópica).

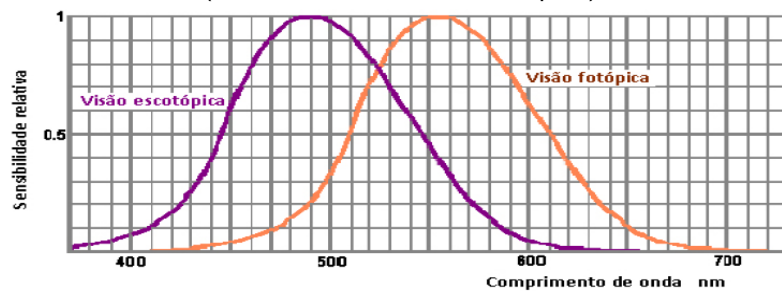


Figura 2.17 - Sensibilidade relativa da visão fotópica e escotópica [3]

➤ Visão escotópica

É o termo científico para referir a visão humana no escuro, sendo que nestas condições o olho humano utiliza os bastonetes para perceber a luz. A gama de sensibilidade dos bastonetes torna o olho mais sensível à luz azul durante a noite, enquanto a luz vermelha é quase exclusivamente percebida na visão fotópica (visão diurna). A máxima eficácia é 1700 lm/W num comprimento de onda de 507 nm[3].

➤ Visão fotópica

É o termo científico para a visão colorida dos humanos, sob condições normais de luminosidade durante o dia. O olho humano usa três tipos de cones para perceber a luz em três bandas respectivas de cor. Os pigmentos dos cones têm um valor máximo de absorção em comprimentos de onda de cerca de 445 nm (azul), 540 nm (verde) e 575 nm (amarelo). As suas gamas de sensibilidade sobrepõem-se para proporcionar uma visão contínua (mas não linear) ao longo do espectro visual. A máxima eficácia é 683 lm/W num comprimento de onda de 555 nm (amarelo)[3].

➤ Visão mesópica

Encontra-se nos extremos da visão fotópica e escotópica. Nesta situação, quer os bastonetes quer os cones estão ativos.

Acontece tipicamente ao entardecer e em condições noturnas com um luar intenso, e inclui quase todas as situações de iluminação externa.

À medida que os níveis de iluminação diminuem a visão focal diminui assim como a percepção das cores. Existe, neste caso, uma deslocação da sensibilidade espectral desde o amarelo-esverdeado dos cones para o pico de comprimento de onda dos bastonetes, do azul-esverdeado[4].

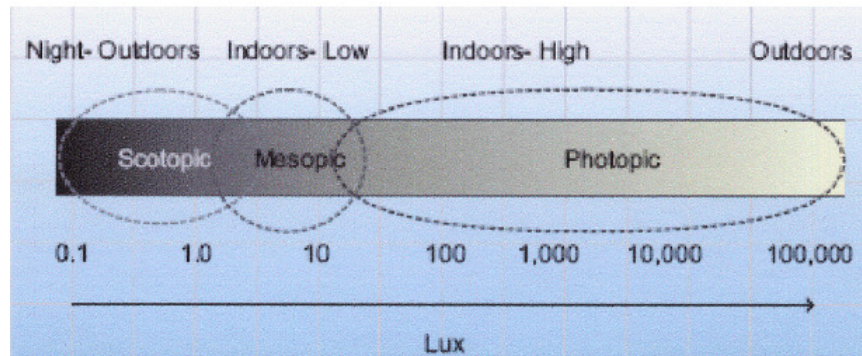


Figura 2.18 - Visão Mesópica[4]

2.4 - Componentes da Iluminação Pública

2.4.1 - Luminárias

Uma luminária ou armadura tem como funções o controle da distribuição da luz emitida por uma ou mais lâmpadas, deve incluir todos os elementos necessários para a fixação e proteção das lâmpadas e para a sua ligação ao circuito de alimentação [20] isto é, lâmpadas, balastros, refletores, arrancadores, refletores, difusores, etc..

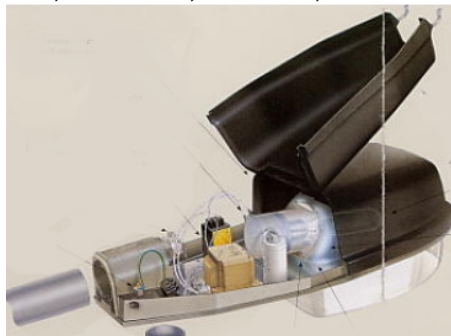


Figura 2.19 - Luminária

Existem no mercado diversos modelos de armaduras, diferindo no tipo de lâmpadas que usam, na maneira como distribuem a luz e no tipo de montagem.

A iluminação produzida por uma luminária pelo modo como esta a distribuiu:[3]

- Direta: mais de 90% da luz é distribuída para baixo (*downlighting*);
- Indireta: mais de 90 % da luz é distribuída para cima (*uplighting*);
- Semi-direta: entre 60 a 90% da luz é distribuída para baixo e o restante para cima;
- Difusa: percentagens semelhantes de luz são distribuídas para cima e para baixo;
- Destaque: A direção e abertura de projeção são ajustadas para cada objetivo.

Outra propriedade das armaduras é o seu ângulo de cut-off, que é o ângulo formado entre a horizontal do teto e uma reta imaginária que, sendo tangente à lâmpada, passe pelo extremo do refletor.

Uma das principais características das armaduras a ter em conta pelos projetistas no momento do projeto luminotécnico é o índice de proteção da armadura, que deve ser adequado ao local onde esta será montada. O índice de proteção de uma armadura indica a forma como está protegida contra os agentes externos, tais como a humidade, a água e a poeira. Segundo o sistema IP, o índice de proteção é indicado por dois algarismos, o primeiro indicando o grau de proteção contra a penetração de corpos sólidos, e o segundo o grau de proteção contra a água [20].

2.4.1.1 - Rácio de saída do fluxo - Light Output Ratio (LOR)

O rácio de saída do fluxo luminoso (LOR) pode ser entendido como o quociente entre o fluxo luminoso (ϕ) total de uma luminária (medido em condições práticas específicas com as suas lâmpadas e equipamento auxiliar), e a soma dos fluxos luminosos individuais dessas mesmas lâmpadas, quando operadas fora da luminária com o mesmo equipamento auxiliar e condições práticas[3].

$$LOR = \frac{\phi_{saída\ da\ luminária}}{\sum \phi_{fonte\ de\ luz\ individual}} \quad (2.10)$$

Para a realização de um projeto de iluminação pública eficiente, convém conhecer-se dois conceitos derivados do LOR, ou seja:

- Rácio de Saída do Fluxo Luminoso Ascendente - *Upward Light Output Ratio* (ULOR).
- Rácio de Saída do Fluxo Luminoso Descendente - *Downward Light Output Ratio* (DLOR).

O *ULOR* de uma luminária é o rácio entre o fluxo emitido para cima pela luminária, com a soma dos fluxos luminosos individuais dessas mesmas lâmpadas quando operadas fora da luminária.

O *DLOR* de uma luminária é o rácio entre o fluxo emitido para baixo pela luminária, com a soma dos fluxos luminosos individuais dessas mesmas lâmpadas quando operadas fora da luminária[3].

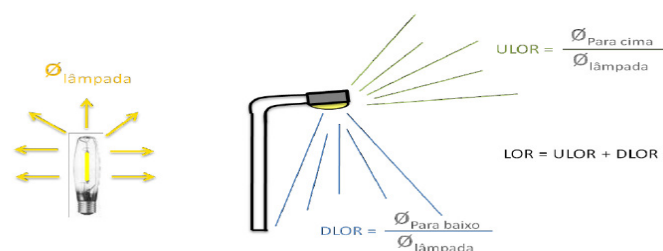


Figura 2.20 - DLOR e ULOR [3]

2.4.2 - Características das Lâmpadas

Os tipos de lâmpadas usados atualmente são numerosos e podem ser usados para diversos tipos de aplicação. No entanto cada tipo de lâmpadas possui características diferentes que devem ser tidas em conta para a sua escolha.

As principais características luminotécnicas de uma lâmpada são:

- Rendimento luminoso;
- Temperatura de cor;
- Restituição de cores;
- Luminância;
- Duração de vida média.

Assim, antes de efetuar um estudo sobre os tipos de lâmpadas existentes no mercado, será útil estudar estas características.

2.4.2.1 - Rendimento Luminoso

Rendimento luminoso ou eficiência luminosa é o quociente entre o fluxo luminoso emitido pela lâmpada e a potência elétrica absorvida pela lâmpada [5]. A unidade de medida é o lúmen por Watt (lm/W). Uma lâmpada proporciona uma maior eficiência luminosa quando a energia consumida para gerar um determinado fluxo luminoso é menor do que da outra [8].

A figura 2.21 ajuda a explicar melhor o conceito de rendimento luminoso.



Figura 2.21 - Rendimento Luminoso [11]

2.4.2.2 - Temperatura de Cor

Em termos visuais é bastante difícil a avaliação comparativa entre a sensação da tonalidade de cor das diversas lâmpadas. Com efeito, definiu-se o conceito de Temperatura de Cor (Kelvin) para classificar a luz. Para um melhor entendimento deste conceito, é pertinente definir, em primeira instância, um outro conceito básico importante, o corpo negro. Um corpo negro é um objeto que, idealmente, absorveria toda a radiação eletromagnética que lhe chegasse. Este corpo emite um espectro de luz em função da temperatura, sendo esta radiação térmica o que o define como um corpo negro radiante.

Elevadas temperaturas de cor (T) correspondem a cores frias, logo, quanto mais elevada for, mais fria será a cor. Na iluminação de espaços públicos podemos considerar três gamas de temperaturas de cor (não se aplica às lâmpadas coloridas):

- Quente ($T < 3300K$).
- Intermédia ($3300K < T < 5000K$).

- Fria ($T > 5000K$).

Na figura seguinte encontram-se alguns exemplos da temperatura de cor e respetiva aparência.

Temperatura (K)		Aparência
$T < 3300$	Quente (branco alaranjado)	
$3300 < T < 5000$	Intermédio (branco)	
$T > 5000$	Fria (branco azulado)	

Figura 2.22 - Aparência das várias temperaturas de cor em Iluminação Pública [3]

2.4.2.3 - Restituição de Cor

A restituição de cores é uma expressão que designa, sob o aspeto da reprodução cromática, o efeito da radiação emitida por uma fonte, nos objetos que ilumina. Este efeito é comparado ao aspeto cromático dos mesmos objetos iluminados, por uma fonte de referência (luz do dia). Ou seja, o IRC indica a capacidade que uma fonte luminosa possui em restituir fielmente as cores de um objeto ou de uma superfície iluminada. Este índice varia entre 0 (nenhuma fidelidade) e 100 (máxima fidelidade). Quanto maior o IRC, melhor o equilíbrio entre as cores. Quanto maior a diferença na aparência de cor do objeto iluminado em relação ao padrão, menor será o seu IRC.

Qualidade desejada	Valor limite de IRC	Exemplos de aplicação
A apreciação das cores tão exacta quanto possível, é essencial. Excelente restituição de cores.	$IRC > 90$	Controle, selecção, exame, ... Laboratórios Indústria textil Tipografias Produtos agrícolas
Restituição de cores de boa qualidade. Necessidade de uma iluminação agradável.	$IRC > 80$	Escritórios; escolas Estabelecimentos comerciais
Restituição de cores aceitável.	$IRC > 70$	Escritórios; escolas Estabelecimentos comerciais
Restituição de cores medíocre, mas aceitável.	$60 < IRC < 70$	Indústria: armazém, mecânica.
Nenhuma exigência de restituição de cores.	$IRC < 60$	Indústria: fundições, armazéns de peças.

Figura 2.23 - Exemplos de índices de restituição de cor [5]

A temperatura de cor apenas se refere à sua cor e não à sua composição espectral que irá influenciar a capacidade de reproduzir a cor do objeto. Assim se explica o facto de lâmpadas com a mesma temperatura de cor possuírem um índice de restituição de cor diferente.

2.4.2.4 - Duração média de vida

A duração de vida média de uma lâmpada é o numero de horas após o qual 50% de um lote significativo de lâmpadas deixa de emitir fluxo luminoso [9].

Este valor é indicado pelo fabricante e é um valor aproximado que pode ser afetado por diversos fatores, tais como o número de vezes que se liga e desliga, a tensão de funcionamento, a temperatura ambiente e a presença de vibrações [7].

2.4.3 - Tipos de Lâmpadas

Desde as lâmpadas incandescentes várias tecnologias foram desenvolvidas para sistemas de iluminação. Assim foram surgindo novos tipos de lâmpadas mais eficientes mas também com outras características luminotécnicas.

As lâmpadas podem ser agrupadas nas seguintes categorias:

- Lâmpadas Incandescentes;
- Lâmpadas de Descarga;
- Lâmpadas de Indução;
- LED's

Uma vez que o estudo se incide sobre a iluminação pública só serão analisadas algumas lâmpadas de descarga e LED's, visando os seus princípios de funcionamento e principais características.

2.4.4 - Lâmpadas de descarga

Este tipo de lâmpadas é constituído por um tubo de descarga contendo um gás ou vapor metálico e dois elétrodo colocados nos extremos do tubo como indicado na figura 2.24. Quando uma tensão é aplicada aos elétrodo dá-se uma descarga elétrica produzindo excitação dos eletrões o que leva à ionização do gás, o que por sua vez dá origem à emissão de luz.

A ionização do gás dá-se apenas quando a descarga elétrica é elevada, pelo que estas lâmpadas necessitam de um arrancador que gera uma sobretensão quando se liga a lâmpada. Os elétrodo podem também ser aquecidos previamente reduzindo a sobretensão necessária ao arranque.

Outro equipamento necessário para o uso deste tipo de lâmpadas é o balastro, que limita a corrente fornecida à lâmpada após o arranque. Após a formação do arco a impedância da lâmpada desce e o balastro impede a ocorrência de um curto-circuito.

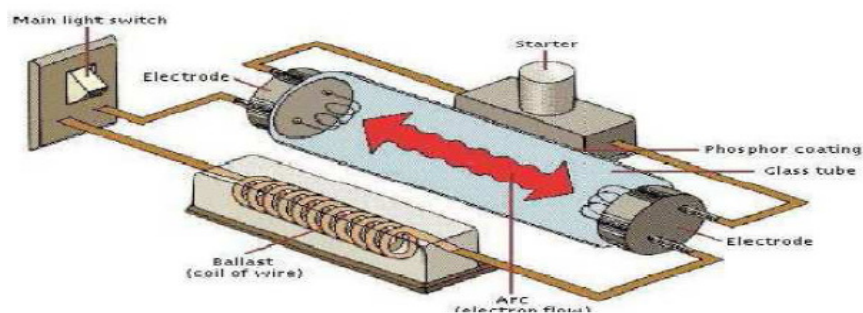


Figura 2.24 - Lâmpada de descarga [7]

Este tipo de lâmpadas divide-se em lâmpadas de descarga num gás ou vapor de metálico de alta pressão e de baixa pressão [9]. Das lâmpadas de descarga de alta pressão fazem parte os seguintes tipos:

- Lâmpadas de vapor de mercúrio;
- Lâmpadas de luz mista;
- Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão;
- Lâmpadas de vapor de mercúrio de iodetos metálicos.

Nas lâmpadas de descarga de baixa pressão incluem-se os seguintes tipos:

- Lâmpadas fluorescentes (lâmpada de vapor de mercúrio de baixa pressão);
- Lâmpadas fluorescentes compactas;
- Lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão.

Lâmpadas de vapor de mercúrio

Nas lâmpadas de descarga de alta pressão empregou-se durante muitos anos, como fonte de descarga, o vapor de mercúrio, ao qual se adicionava uma pequena quantidade de gás inerte de fácil vaporização a fim de facilitar o arranque, uma vez que à temperatura ambiente o mercúrio é líquido. Não precisam de arrancador.

A lâmpada de vapor de mercúrio emite uma luz de aparência branca-azulada, com uma emissão na região visível dos comprimentos de onda do amarelo, verde e azul, faltando porém a radiação vermelha.

Neste tipo de lâmpadas 50% da potência é transformada em radiação, dos quais 15% corresponde a radiação visível, 15% correspondem a radiação infravermelha e 20% a radiação ultravioleta. A outra metade da potência consumida corresponde a perdas como indica a figura 2.25. Através do emprego de uma fina camada de pó fluorescente na superfície interna do invólucro exterior, parte da radiação ultravioleta é convertida em radiações visíveis. Para tal finalidade utiliza-se uma composição química fluorescente especialmente rica na emissão de radiações vermelhas, o que contribui para melhorar bastante a aparência de cor da luz emitida por estas lâmpadas. A melhoria do rendimento não é apreciável (cerca de 10%) dado que a sensibilidade da vista à radiação vermelha é fraca [9].

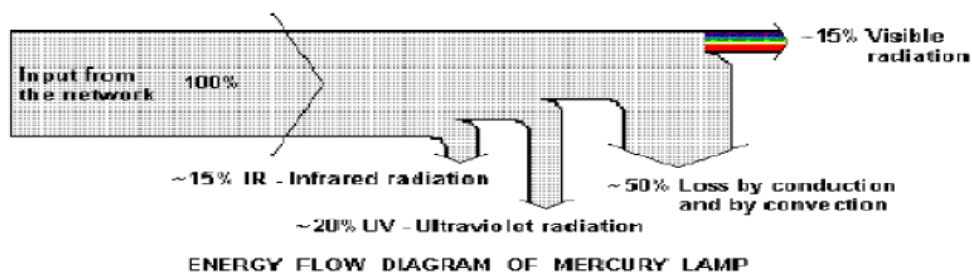


Figura 2.25 - Desagregação da energia consumida por uma lâmpada de vapor de mercúrio [9].

Este tipo de lâmpadas é utilizado para iluminação de ruas, locais públicos, áreas industriais e recintos desportivos. O tempo de arranque é de 4 minutos e o re-arranque faz-se em 6 minutos.

As principais características deste tipo de lâmpadas são [8][9]:

- Rendimento Luminoso: 36 a 60 lm/W;
- Temperatura de cor: 3550 a 4200 K;
- IRC: ~ 50;
- Tempo de vida útil: 10000 a 24000 horas.

A figura 2.26 mostra uma lâmpada de vapor de mercúrio.



Figura 2.26 - Lâmpada de vapor mercúrio [9]

Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão

Estas lâmpadas são idênticas às de mercúrio de alta pressão com a vantagem de o vapor de sódio emitir uma maior percentagem de radiação visível.

O tubo de descarga numa lâmpada de vapor de sódio de alta pressão contém um excesso de sódio, para dar condições de saturação do vapor quando a lâmpada funciona. Também é usado um excesso de mercúrio para proporcionar um gás de proteção, e o xénon é incluído, sob baixa pressão, para facilitar o arranque e limitar a condução do arco de descarga para a parede do tubo.

Tal como na lâmpada de vapor de mercúrio, também na de vapor de sódio metade da potência é convertida em radiação. Mas enquanto a energia da radiação visível obtida é de cerca de 15% no caso da descarga de vapor de mercúrio, no caso da de sódio é o dobro: cerca de 30%. Além disso esta radiação apresenta uma cor amarelo-alaranjada característica, que a torna mais sensível à nossa vista, pelo que, de um modo geral, a iluminação resultante

do emprego desta lâmpada causa uma impressão muito mais agradável do que a lâmpada de vapor de mercúrio [9].

Embora o preço da lâmpada de vapor de sódio de alta pressão seja um pouco mais elevado do que a de vapor de mercúrio, o seu elevado rendimento torna-a gradualmente mais solicitada em numerosas aplicações. O tempo de arranque deste tipo de lâmpadas é de 5 minutos e o re-arranque faz-se em 1 minuto.

As principais características deste tipo de lâmpadas são [8] [9] [11]:

- Rendimento Luminoso: 80 a 150 lm/W;
- Temperatura de cor: 2000 a 2500 K;
- IRC: 60 a 69; 80 para as lâmpadas de luz branca;
- Tempo de vida útil: 8000 horas. A Osram já produz lâmpadas que duram até 32000 horas.

A figura 2.27 mostra uma lâmpada de vapor de sódio de alta pressão.



Figura 2.27 - Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão [11].

Lâmpadas de vapor de mercúrio de iodetos metálicos.

As lâmpadas de vapor de mercúrio e as lâmpadas de vapor de sódio não são apropriadas sempre que seja exigido um elevado índice de restituição de cores.

As investigações técnicas permitem concluir que pode obter-se uma boa restituição de cores quando a fonte de luz emite radiação nas três cores primárias: vermelho, verde e azul. Então introduziu-se no tubo de descarga uma mistura de iodetos de sódio, índio e tálio. O mercúrio mantém-se no tubo de descarga mas pouco contribui para que seja obtida a radiação desejada. O resultado é uma fonte de luz com uma razoável restituição de cores.

Devido ao custo de fabricação da lâmpada o seu emprego fica limitado à iluminação exterior por projetores, nomeadamente de estádios e campos desportivos, nos casos em que seja importante obter um bom índice de restituição de cores.

Este tipo de lâmpadas pode atingir um nível de restituição de cores próximo do ideal introduzindo no gás de uma lâmpada de descarga de vapor de mercúrio de alta pressão uma mistura de cloreto e iodeto de estanho.

Esta lâmpada pode ser utilizada em todas as circunstâncias que exijam a necessidade de uma boa restituição de cores, incluindo a iluminação de interiores, no entanto o seu custo de fabrico é também elevado.

A figura 2.28 indica o tipo de radiações emitidas por uma lâmpada de vapor de mercúrio de iodetos metálicos.

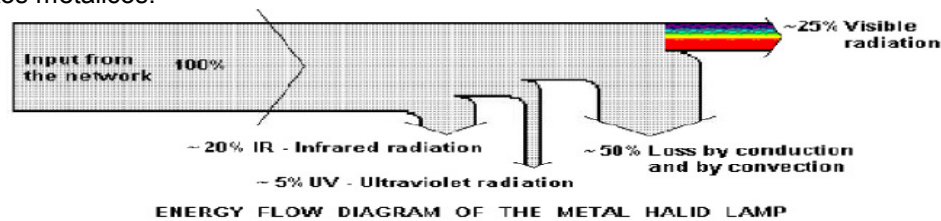


Figura 2.28 - Desagregação da energia consumida por uma lâmpada de vapor de mercúrio de iodetos metálicos [9].

Este tipo de lâmpada tem um tempo de arranque de 4 minutos e tempo de re-arranque de 10 minutos.

As principais características deste tipo de lâmpadas são [8] [9] [11]:

- Rendimento Luminoso: 50 a 100 lm/W;
- Temperatura de cor: 3000 a 7000 K;
- IRC: 80 a 100;
- Tempo de vida útil: 3000 a 12000 horas.

A figura 2.29 mostra uma lâmpada de vapor de mercúrio de iodetos metálicos.



Figura 2.29 - Lâmpada de vapor de mercúrio de iodetos metálicos [11].

Lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão

As lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão são comparáveis às lâmpadas fluorescentes na forma como são construídas mas funcionam usando vapor de sódio em vez do vapor de mercúrio.

Nestas lâmpadas o arranque apenas pode ser efetuado com a ajuda de um gás inerte. Apenas quando a descarga no gás inerte produz calor suficiente para vaporizar o sódio se iniciará a descarga pelo que requerem uma tensão de arranque elevada e um tempo de arranque relativamente longo antes de ser atingido o rendimento máximo.

Outra característica é o tipo de luz que a lâmpada produz, pois enquanto o vapor de mercúrio a baixa pressão excitado produz principalmente radiação ultravioleta, a qual é transformada em luz visível à custa de substâncias fluorescentes, o vapor de sódio produz luz diretamente.

A mais interessante característica das lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão consiste no seu extremamente elevado rendimento luminoso. Como estas lâmpadas têm uma duração de vida muito longa constituem a fonte de luz mais eficiente e económica.

A desvantagem óbvia destas lâmpadas consiste na sua restituição de cores extremamente pobre, sendo praticamente nula [9].

Estas lâmpadas têm tempo de arranque de 10 minutos e são usadas em iluminação pública.

As principais características deste tipo de lâmpadas são:

- Rendimento Luminoso: 80 a 200 lm/W;
- Temperatura de cor: 2800 K;
- IRC: 0;
- Tempo de vida útil: 5000 a 6000 horas.

Na figura 2.30 mostra uma lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão e é visível o tipo de luz que esta emite.

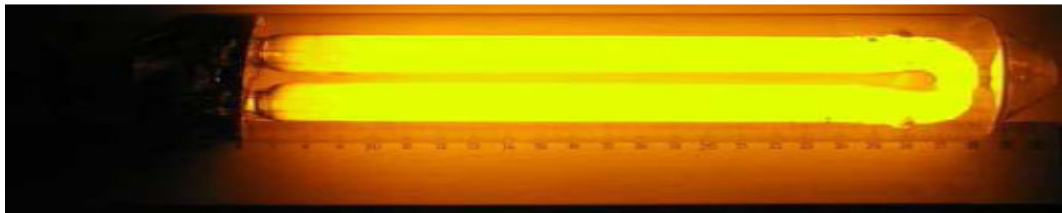


Figura 2.30 - Lâmpada de Vapor de Sódio de Baixa Pressão [7].

2.4.5 - LEDs

Devido ao baixo consumo de energia, robustez, longo tempo de vida útil e não conterem mercúrio os díodos emissores de luz (LEDs) representam novas oportunidades nas aplicações para iluminação. Há duas maneiras diferentes de obter luz branca com LEDs. Uma das formas consiste numa combinação de fósforo excitado por uma emissão de radiação azul ou ultravioleta. A outra forma de obter luz branca com LEDs é pela combinação de LEDs monocromáticos com diferentes cores como mostra a figura 2.31. Este segundo método revela-se mais eficiente e flexível, uma vez que variando os comprimentos de onda de cada LED monocromático obtêm-se diferentes resultados no que diz respeito a rendimento, fluxo luminoso e IRC [14].

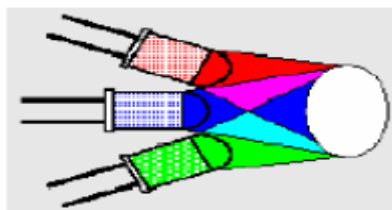


Figura 2.31 - Obtenção de Luz Branca por Combinação de LEDs [15].

Os LEDs podem ser de baixa (0,1W), média (0,2W a 0,5W) e de alta potência (acima de 0,5W). Em geral, os de baixa e média potência são utilizados para sinalização e efeitos decorativos. Os de alta potência já podem ser aplicados em iluminação geral.

As principais vantagens dos LEDs, relativamente às restantes fontes de luz são [15][16]:

- Maior vida útil e consequente baixa manutenção;
- Baixo consumo (relativamente às lâmpadas de incandescência) e uma eficiência energética (em torno de 50 lm/Watt);
- Não emitem luz ultra-violeta (sendo ideais para aplicações onde este tipo de radiação é indesejada, como por exemplo, locais onde existam quadros e obras de arte);
- Não emitem radiação infravermelha, fazendo por isso que o feixe luminoso seja frio.
- Resistência a impactos e vibrações: Utiliza tecnologia de estado sólido, portanto, sem filamentos e sem vidro, aumentando a sua robustez.
- Maior segurança, já que trabalham em baixa tensão (< 33V). Proporcionam segurança para os utilizadores durante a sua instalação e utilização.

Por outro lado, as desvantagens apresentadas são [15]:

- Custo de aquisição elevado, caso a aplicação seja desadequada;
- O índice de restituição de cor (IRC) pode não ser o mais adequado;
- Necessidade de fonte de alimentação ou *interface* (transformador ou um “driver”) que converta as características de alimentação de uma tomada comum para um padrão adequado ao funcionamento do led.
- Necessidade de dispositivos de dissipação de calor, nos leds de alta potência (a quantidade de luz emitida pelo led diminui com o aumento da temperatura).

As principais características deste tipo de lâmpadas são [15] [17]:

- Rendimento Luminoso: 40 a 85 lm/W;
- Temperatura de cor: 3000 a 6000 K;
- IRC: 60 a 90;
- Tempo de vida útil: 50000 horas.



Figura 2.32 - Lâmpada de LEDs [17].

2.4.6 - Balastros

Os balastros são equipamentos necessários para o funcionamento de lâmpadas de descarga. A função destes equipamentos passa por limitar a corrente de funcionamento, produzir a tensão de arranque e pré-aquecer os elétrodo de modo a facilitar a emissão de eletrões para iniciar a descarga.

Os balastros podem ser de dois tipos: eletromagnéticos ou eletrónicos.

2.4.7 - Balastros Eletromagnéticos

Estes balastros são constituídos por um núcleo laminado de aço silício (com baixas perdas) e bobinas de fio de cobre esmaltado, impregnados com resina de poliéster adicionado com carga mineral, tendo um grande poder de isolamento e dissipação térmica [8]. Devido à presença das bobinas tem fator de potência baixo. Assim nas instalações onde exista grande número de lâmpadas fluorescentes e se opte por este tipo de balastros é necessário o uso de equipamentos auxiliares para compensação do fator de potência.

Há vários tipos de balastros magnéticos disponíveis. Os mais usuais são apropriados para o funcionamento com arrancadores, menos vulgares são os destinados ao funcionamento com lâmpadas de arranque rápido, com elétrodo pré-aquecidos e com circuito semi-ressonante. Tem um fator de potência indutivo.

Em relação às perdas os balastros magnéticos podem ser classificados em 3 Classes: B (baixas perdas), C (standard), e D (altas perdas) [18].

A figura 2.33 mostra alguns balastros eletromagnéticos.



Figura 2.33 - Balastros Eletromagnéticos [8]

Uma das medidas da UE em resposta ao protocolo de Quioto foi a redução da energia consumida pelos sistemas de iluminação fluorescente, banindo gradualmente e até ao ano 2005 os balastros eletromagnéticos de menor eficiência, substituindo-os por outros de maior eficiência energética. Os balastros da classe D, de maior consumo energético, deixaram de poder ser utilizados a partir de 20 de Maio de 2002 e desde de Novembro de 2005 passou a ser proibida a venda dos balastros da classe C (magnéticos standard) [19].

2.4.8 - Balastros Eletrônicos

Os balastros eletrônicos são constituídos por condensadores e bobinas para alta frequência, resistências, circuitos integrados e outros componentes eletrônicos. Operam em alta frequência (de 20 kHz a 50 kHz), o que proporciona maior fluxo luminoso com menor potência de consumo, transformando assim os balastros eletrônicos em produtos economizadores de energia e com maior eficiência que os eletromagnéticos [8].

Estes balastros podem ser classificados nas seguintes classes: A1 (balastros eletrônicos com regulação), A2 (balastros eletrônicos com baixas perdas) e A3 (balastros eletrônicos standard).

A figura 2.34 mostra um balastro eletrônico.



Figura 2.34 - Balastro Eletrônico[8]

As principais vantagens dos balastros eletrônicos, relativamente aos eletromagnéticos são [18]:

- Aumento do rendimento luminoso;
- Eliminação do flicker: numa lâmpada funcionando a 50 Hz a luz extingue-se duas vezes por ciclo na passagem da corrente por zero. Isto produz o flicker, o qual provoca cansaço visual, assim como o efeito estroboscópico, com efeitos potencialmente perigosos no caso de existirem máquinas rotativas. Com o funcionamento da lâmpada a alta frequência a emissão de luz é contínua, eliminando-se portanto o flicker;
- Eliminação do ruído audível: como os balastros eletrônicos funcionam acima da gama audível de frequências, o problema do ruído é eliminado. O familiar ruído dos balastros convencionais é provocado pelas vibrações mecânicas das chapas laminadas do seu núcleo, e possivelmente também pela bobine, vibrações estas que se propagam à armadura e à superfície na qual está fixada, ampliando ainda mais o ruído;
- Menor potência absorvida: um balastro eletrónico consome menos potência e portanto dissipa menos calor do que um balastro magnético convencional. Esta redução de potência é possível porque: a alta frequência, a lâmpada pode funcionar a uma potência mais baixa, com a mesma emissão de fluxo; as perdas num balastro eletrónico são muito menores do que as perdas num balastro magnético. Podem conseguir-se reduções de custo da energia de 20 a 25%;
- Aumento da duração de vida da lâmpada: um balastro eletrónico efetua um pré-aquecimento dos elétrodos antes de aplicar um impulso controlado de tensão, diminuindo o

desgaste do material emissor de elétrons dos elétrodos. Isto aumenta a duração de vida da lâmpada;

- Controlo versátil do fluxo luminoso: existem balastros eletrónicos que permitem a regulação do fluxo luminoso. Isto permite uma poupança considerável de energia nas situações em que a iluminação está ligada a um sistema de controlo automático;
- Diminuição de peso e de tamanho;
- Não necessitam de equipamento para compensação do fator de potência.

2.4.9 - Driver LED

Entende-se por *Driver* de LEDs todo o circuito controlador dos LEDs e tem como função efetuar a conversão da energia elétrica da rede, em tensão contínua, de forma a alimentar todos os componentes eletrónicos da luminária de LEDs e a controlar a corrente fornecida nos vários modos de funcionamento dos LEDs. Adicionalmente, alguns *drivers* permitem ainda efetuar o *dimming* nos LEDs, controlar as comunicações e implementar inclusive capacidades de inteligência artificial. Existem dois tipos de drivers de LEDs:

- Corrente constante.
- Tensão constante.

A Figura 2.35 representa a configuração mínima de um sistema driver de LEDs. Temos um conversor AC/DC para converter a tensão sinusoidal da rede em tensão contínua e de seguida um conversor DC/DC que irá fornecer ao secundário a tensão necessária para o correto funcionamento dos LEDs.

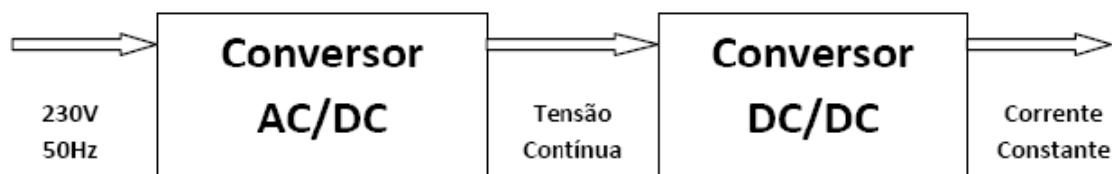


Figura 2.35 - Esquema de um driver de LEDs

Capítulo 3

Sistemas de Controlo e Gestão de Energia

3.1 - Introdução

Os sistemas de controlo são dispositivos que regulam a operação do sistema de iluminação em resposta a um sinal externo. Estes sistemas automáticos permitem otimizar a utilização das instalações de iluminação pública, resultando normalmente em economias de energia significativas, sem prejuízo dos níveis de conforto e segurança visual necessários em cada local e/ou atividade.

Existem dois tipos de controlo:

- **“Tudo ou nada”**, associados aos seguintes sistemas de comando:
 - Sensores crepusculares.
 - Relógios astronómicos.
- **Reguláveis**, aqui são considerados:
 - Reguladores de fluxo.
 - Sistemas de telegestão.

3.1.1 - Sensores Crepusculares

Nos sistemas de iluminação pública é importante saber em que altura o nível de iluminação está suficientemente escuro, para ativar as luzes. Este controlo não pode ser efetuado de forma eficaz utilizando temporizadores, uma vez que em dias de chuva ou nevoeiro intenso pode ser necessário ativar o sistema de iluminação por razões de segurança.

Além disso o horário do próprio nascer e pôr-do-sol não é constante, muda todos os dias. Pelas razões apontadas, a solução que reúne maior consenso é aquela que utiliza sensores de luz ambiente também conhecidos como crepusculares.

A célula fotoelétrica existente no interruptor crepuscular irá reagir à mudança de luminosidade, ligando ou desligando a iluminação conforme o nível estipulado, permitindo, desta forma, gerir racionalmente o funcionamento dos circuitos de iluminação pública. A colocação da fotocélula poderá ser à cabeceira enviando o sinal a um conjunto de luminárias, ou então poderá ser parte integrante de cada ponto de iluminação individual. A utilização da fotocélula à cabeceira dos circuitos poderá trazer inconvenientes, nomeadamente quando uma determinada rua tem diferentes circuitos de iluminação controlados por diferentes fotocélulas. Esta situação poderá causar que o ligar e desligar dos circuitos não se efetue em sincronismo. O mesmo se poderá passar quando temos uma fotocélula por luminária. Existe, ainda, a solução de utilizar um sistema misto: utilização de sistemas à cabeceira para ligar e desligar, e fotocélulas individuais nas luminárias para regular o fluxo de cada luminária de acordo com as condições de iluminação ambiente. No entanto os sistemas individuais de controlo de iluminação por luminária produzem efeitos negativos nos processos de manutenção, apenas colmatados com sistemas avançados de telegestão[24].



Figura 3.1 - Sensor crepuscular [21]

3.1.2 - Relógio Astronómico

O relógio astronómico é uma solução de comando *on-off* cujo horário de funcionamento encontra-se enquadrado na variação do ciclo solar ao longo do ano (Figura 3.2). Apenas em locais das redes de IP onde a localização do sensor crepuscular não é a ideal ou mais correta, é que resulta um menor consumo energético do sistema de iluminação. Adicionalmente também evita o problema de ruas que são controladas por diferentes células, que podem provocar um arranque não sincronizado.

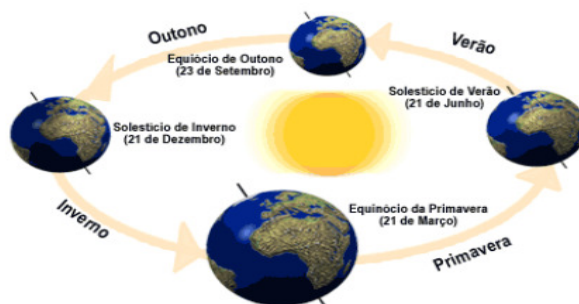


Figura 3.2 - Variações das Estações do ano no hemisfério norte[22]

Estes equipamentos (Figura 3.3) são programadores eletrônico-digitais utilizados para o controlo automático de ligações e cortes de iluminação pública em função do pôr e do nascer do sol, respetivamente.



Figura 3.3 - Relógio astronómico [23]

A grande vantagem em relação a um sistema interruptor horário antigo é que adapta o controlo da rede de IP ao horário respeitante à altura do ano. Ou seja, ao passo que no sistema antigo, caso não se fizesse um ajustamento manual do relógio, a iluminação pública ligava e desligava sempre à mesma hora programada, o que acontece com o relógio astronómico é que a ação *on-off* será determinada pelas suas coordenadas geográficas. Por exemplo, o sinal transmitido para acender a iluminação pública será emitido mais cedo no Inverno do que no Verão, sem qualquer tipo de intervenção humana.

O relógio astronómico tem as seguintes características de funcionamento[23]:

- Cálculo diário, para as ações ligar / desligar, considerando a latitude e longitude, em graus e minutos, do local onde se encontra.
- Válido para qualquer região geográfica de qualquer hemisfério tendo apenas que o programar previamente.
- Alteração automática do horário de inverno e verão.
- Possibilidade de outro tipo de programação que não a programação astronómica (*default*).
- Possibilidade de inclusão no ciclo de funcionamento astronómico de uma programação diferente para dias festivos e feriados.

Tal como os sensores crepusculares, o relógio astronómico poderá funcionar como sistema de controlo da rede de IP isolado, ou então poderá ser um equipamento auxiliar aos reguladores de fluxo e/ou sistemas de telegestão, tendo como função transmitir o sinal de ligação e corte das lâmpadas do sistema de iluminação.

3.1.3 - Reguladores de Fluxo a instalar à cabeceira do sistema de IP

Os sistemas de regulação de fluxo luminoso permitem a regulação da intensidade luminosa em períodos de menor atividade. Em períodos noturnos de menor tráfego, estes sistemas permitem diminuir o nível de luminância, não limitando a abrangência dos dispositivos luminosos.

Um regulador de fluxo pode estar integrado num sistema de telegestão complexo, estando às ordens do Sistema Central de Gestão (CSM), ou então inicia o seu ciclo de ignição

após um sinal transmitido por um sensor de luminosidade, ou por um relógio astronômico, aumentando gradualmente a tensão até atingir o valor pré-estabelecido de funcionamento. Quando esse nível de tensão não é mais necessário, o regulador baixa a tensão de alimentação das lâmpadas. As transições entre as várias condições de operação devem ser lentas, para que a alteração do nível de iluminação se torne impercetível ao utilizador.



Figura 3.4 - Exemplo de funcionamento de um Regulador de Fluxo Luminoso ao longo do período noturno[24]

Aplicando às lâmpadas uma tensão inferior (verde) à nominal de funcionamento (vermelho), a corrente é reduzida, originando a diminuição da potência absorvida pela rede de IP. A programação da regulação do fluxo deverá ser feita consoante a época do ano e a área onde o sistema de iluminação está instalado.

De maneira a funcionar corretamente e a manter as suas características ao longo do tempo, as fontes luminosas devem ser alimentadas com uma tensão que não exceda em 5% o seu valor nominal. Os reguladores de fluxo, para além de variarem a intensidade luminosa, têm também esta função de estabilização da tensão, que para além de aumentar o tempo de vida da lâmpada (reduzindo, assim, os custos de manutenção), asseguram economias diretas no consumo (5 a 7%) ao fazer a regulação da tensão que excede o seu valor nominal[24].

Quaisquer que sejam as condições de operação, a tensão de saída deverá ser mantida num intervalo de $\pm 1\%$ do valor de funcionamento definido, mesmo com consideráveis variações do valor da tensão.

Atualmente estão identificados tipos de sistemas de regulação de fluxo luminoso, para instalação à "cabeceira", dos circuitos de iluminação pública[24]:

- Reguladores de fluxo eletrónicos que utilizam eletrónica de potência.
- Reguladores de fluxo que utilizam auto-transformadores, cuja comutação é efetuada por:
 - Circuitos eletromecânicos (relés/contactores), que por sua vez são acionados eletronicamente. A regulação dos auto-transformadores é efetuada por patamares discretos, A resposta destes auto-transformadores é em escada com patamares fixos de tensão de saída (ajuste discreto da tensão de saída de acordo com o número de patamares).

- Circuitos estáticos eletrônicos (Triacs, IGBTs12 , Alternistor e tirístores), que, por sua vez, são controlados pelo módulo eletrônico de controlo. A resposta destes auto-transformadores é em escada com patamares fixos de tensão de saída (ajuste discreto da tensão de saída de acordo com o número de patamares).
- Auto-transformadores motorizados que regulam a tensão necessária a injetar no secundário do auto-transformador principal, de modo a fornecer a tensão necessária para subtrair ou adicionar à tensão do primário (tensão de saída). A subtração da tensão é conseguida com a injeção de uma tensão em inversão de fase. Tratando-se de um tipo de regulação dinâmica e não discreta (sem patamares predefinidos), este regulador permite implementar subidas e descidas em rampa programáveis. Além disso, consegue uma maior compensação da variação da tensão de entrada.



Figura 3.5 - Reguladores de Fluxo[24]

Estudos realizados indicam que o tempo de vida médio da grande maioria das lâmpadas aumenta com a utilização dos reguladores de fluxo e que a depreciação do fluxo luminoso, durante esse tempo de vida, é menor (Figura 3.6). No entanto para que isso esteja garantido é necessário um acompanhamento rigoroso das parametrizações do regulador de fluxo, de modo a garantir a tensão mínima nas lâmpadas durante todo o tempo de vida do regulador[24].

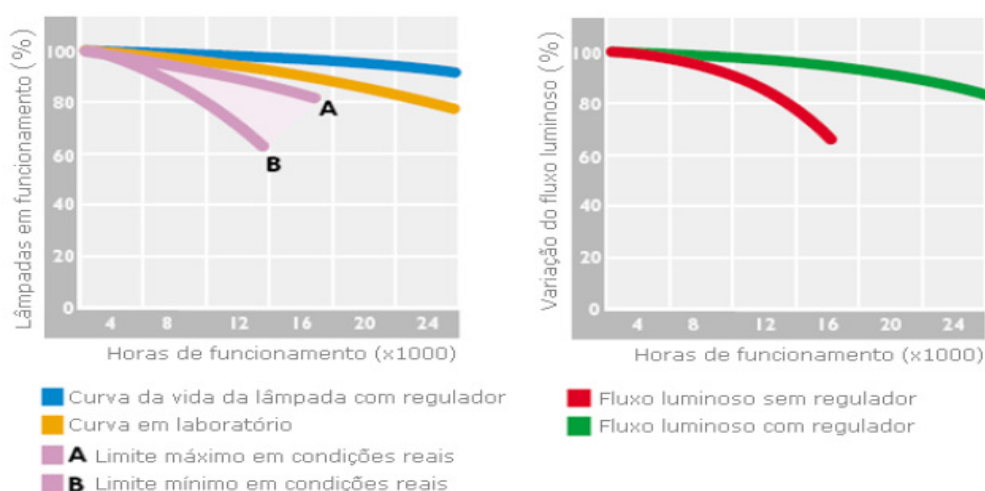


Figura 3.6 - Comparação da percentagem de lâmpadas em funcionamento (esquerda) e da variação do fluxo luminoso (direita) com e sem regulador de fluxo[24].

Praticamente todas as lâmpadas de descarga utilizadas em iluminação pública podem ser reguladas, sem que isso interfira com as suas propriedades e características. No entanto,

consoante o tipo de lâmpada, cuja tensão de alimentação é regulada, a poupança alcançada irá ser diferente. Na tabela seguinte estão referenciadas as poupanças típicas atingidas, associadas a cada tipo de lâmpada.

Tabela 3.1 - Poupança energética com regulação de fluxo para cada tipo de lâmpada[24].

Tipo de Lâmpada	Tensão Mínima	Poupança Energética
Vapor de Mercúrio	200[V]	26-30%
Vapor de sódio de alta pressão	183[V]	45-50%
Vapor de sódio de baixa pressão	190[V]	35%
Fluorescentes com equipamentos de controlo	190[V]	35-45%
CFLs	190[V]	30-35%
Iodetos Metálicos	183[V]	40%

Observa-se que reguladores de fluxo existentes no mercado conseguem proporcionar poupanças energéticas entre 25 a 50%, sem ter de recorrer ao método arcaico de desligar alguns pontos de luz da rede de iluminação. Esta técnica negligencia a necessidade de uniformidade da iluminação, ao provocar cones de sombra perigosos para os utilizadores. Adicionalmente, consegue-se com a regulação de fluxo, uma diminuição considerável da poluição luminosa, bem como as vantagens esquematizadas na Figura 3.7.



Figura 3.7 - Vantagens dos reguladores de fluxo[24]

Contudo, existem alguns aspetos que deverão ser considerados. Temos que ter em atenção que a maioria dos sistemas de regulação de fluxo à cabeceira (junto ao PT) trabalha com o controlo da tensão (redução da tensão). Assim, em circuitos com mais de um tipo de lâmpadas e com grandes probabilidades de terem diferentes idades (horas de serviço) o resultado em cada lâmpada, dessa regulação, pode ser diferente. Adicionalmente, para PTs que controlem menos do que 50 luminárias, a utilização de reguladores de fluxo torna-se economicamente pouco atrativa.

Outra questão importante é a extensão da rede de IP. Na Tabela 3.1 está indicada a tensão mínima para cada tipo de lâmpada. Se a regulação é feita à cabeceira e não ponto a ponto, a diferença de potencial no início da linha e no final poderá ser consideravelmente diferente. Ou seja, as lâmpadas que realmente tiverem a tensão mínima admissível aos seus terminais permanecerão ligadas, ao passo que as outras apagar-se-ão. Em caso de falha na rede, algumas lâmpadas poderão não ter, inclusive, um valor de tensão de ignição suficiente para o seu reacendimento. Por fim, os reguladores de fluxo são aparelhos eletrônicos cujas comutações para a variação de tensão são efetuadas através de equipamento eletromecânicos e de eletrônica de potência. Logo, à redução dos custos de manutenção, devido ao aumento do tempo de vida da lâmpada, ter-se-á de contrapor a manutenção destes equipamentos ativos no circuito. Adicionalmente, à semelhança dos balastros eletrônicos com capacidade de regulação de fluxo, terão também de ser considerados sistemas de apoio à manutenção de modo a permitir colocar no circuito IP o patamar de tensão mínimo durante os processos de manutenção.

3.1.4 - Sistemas de telegestão Avançados

Um recente estudo de três anos elaborado pelo departamento público de transportes da Holanda, efetuou testes à redução do nível de iluminação em estradas, durante as horas de tráfego reduzido e com boas condições climáticas, implementando um sistema dinâmico adaptativo, às condições existentes, para controlo da iluminação pública. Concluíram que um sistema dinâmico de iluminação pública pode ser aplicado, com reduções na luminosidade até 50%, atingindo poupanças de energia na ordem dos 30% a 40% e aumentando o tempo em serviço dos sistemas de iluminação. Além disso, permite alavancar a utilização racional de energia melhorando o balanço entre a segurança e o conforto[24].

Torna-se assim evidente que se pode dar um grande salto qualitativo na área da iluminação pública, com a implementação de sistemas de telegestão de controlo adaptativo e monitorização de IP, evitando, por exemplo, os custos associados aos processos de manutenção.

Um sistema de telegestão adaptativo com inteligência artificial e integrado numa rede inteligente permitirá[25]:

- Ter uma rede IP mais eficiente capaz de se adaptar às necessidades de cada momento. Pode-se assim gerir o nível de iluminação em função da presença a nível rodoviário e de presença humana pedestre.
- Adaptar a cor e os restantes parâmetros luminotécnicos em função das condições ambientais.
- Adaptar o fluxo luminoso em função da iluminação ambiente.
- Detecção de derrube ou impacto.

Desta forma, adaptar-se-á às reais necessidades de iluminação, tornando-a energeticamente eficiente, em balanço com a segurança e conforto.

Adicionalmente, é possível com estes sistemas monitorizar a “idade” e o estado atual das várias lâmpadas, localizando eventuais falhas. Em suma, os sistemas de telegestão fazem o controlo, a medição e o diagnóstico de um sistema de iluminação, comunicando e utilizando essa informação através de meios e equipamentos. Vão muito para além do envio de comandos e obtenção de *feedback*, uma vez que, permitem reduzir o consumo e os custos de manutenção, aumentando a qualidade de iluminação para os utilizadores.

A informação atualizada a todo o momento leva a uma previsão e planeamento bastante preciso, o que proporcionará uma manutenção mais eficiente e menos dispendiosa.

O sistema de Telegestão (Figura 3.8) é constituído por[24]:

- Sistema Central de Gestão (CMS).
- Controlador de Segmento (SC).
- Controlador da Luminária Exterior (OLC).

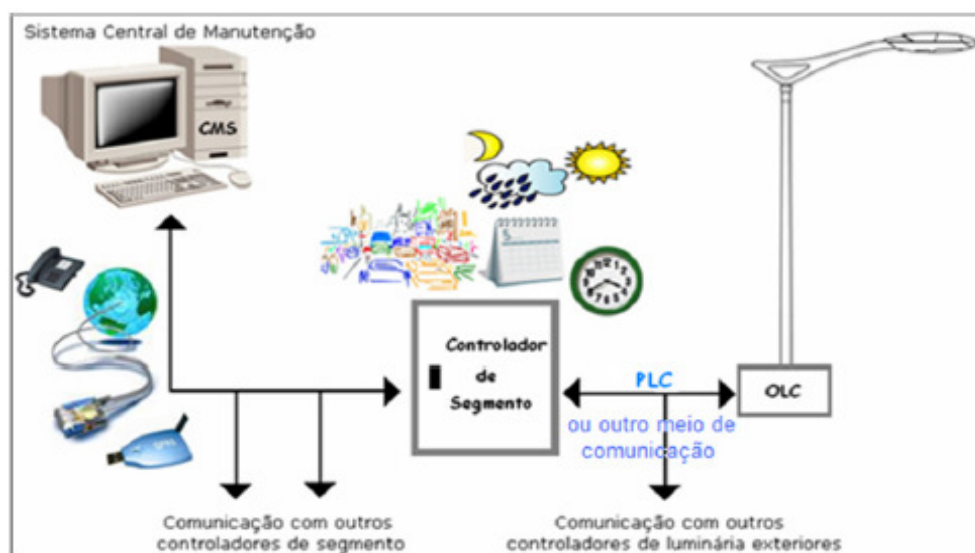


Figura 3.8 - Esquematização de um sistema de telegestão de uma rede de IP - Esquematização[24]

O controlador exterior da Luminária (OLC - *Outdoor Luminaire Controller*) é o aparelho que faz o controlo do balastro/*driver* programável da fonte de luz e de todos os sensores existentes na luminária, proporcionando um sistema de iluminação dinâmico. Atualmente este controlador também já é apresentado como parte integrante da luminária.

As luminárias estão ligadas a uma cabina exterior de alimentação e comunicam através do controlador de segmento (SC - *Segment Controller*).

O sistema central de gestão (CMS - *Central Management System*) é usado para controlar os vários segmentos do sistema de IP, gerindo a informação transmitida pelos controladores (da luminária e de segmento)[24].

3.1.5 - Sistemas integrantes dos sistemas de telegestão dinâmicos

Tirando partido de todos os controladores (de luminária e de segmento) e dos sistemas de comunicação, a plataforma de telegestão dinâmica deverá permitir interagir e parametrizar todos os serviços, bem como recolher dados sobre o estado de funcionamento da própria luminária e dos segmentos. Por exemplo, o sistema deverá permitir[25]:

- Monitorizar e configurar o estado de todos os parâmetros da luminária, nomeadamente os parâmetros de configuração dos sensores e o seu estado de atuação;
- Configurar as temporizações das variações do fluxo luminoso em funções do estado dos sensores;
- Estabelecer comunidades de luminárias por ruas, concelhos, distritos, etc. Nestas comunidades as luminárias deverão:
 - Ser configuradas por grupo;
 - Reagir à informação dos sensores em grupo ou individualmente;
 - Gerir as informações dos sensores em grupo ou individualmente;
 - Ajustar níveis de fluxo em função dos dados dos sensores em grupo ou individualmente;
 - Recolher toda a informação considerada útil da luminária:
 - Identificação da luminária;
 - Potência da luminária;
 - Endereço de rede;
 - Comunidade a que pertence;
 - Configuração atual dos sensores;
 - Tipo de gestão (em comunidade ou individual);
 - Parametrizações das sensibilidades dos sensores;
 - Relações lógicas do estado dos sensores;
 - Relações das informações dos sensores com a parametrização do fluxo luminoso;
 - Recolha de alarmes e sua correlação. Deverá existir uma aplicação para apresentação das listas de alarmes. O nível dos alarmes deverá ser configurado em quatro níveis de criticidade (por exemplo: a sinalização de derrube deverá ter criticidade máxima);
 - Configurar o sistema de regulação de fluxo.

3.2 - Conclusão

Os sistemas de controlo definidos, na introdução deste capítulo, como “tudo ou nada” (sensores crepusculares e relógios astronómicos) são utilizados como interruptores *on-off* nas redes de IP. Basicamente a sua função é apenas determinar quando o sistema deve ligar, desligar, ou regular a intensidade luminosa. São por isso simples e baratos. Podem existir isoladamente ou integrado na rede, desempenhando a sua função normalmente, ou então poderão estar associados aos outros tipos de sistemas de controlo (reguladores de fluxo e sistemas de telegestão). Estes últimos são equipamentos/sistemas bem mais complexos e dispendiosos. No entanto, são os que conseguem proporcionar as maiores poupanças em termos de consumo e consequentemente da faturação, bem como na manutenção das redes de iluminação pública, permitem ainda a promoção da eficiência energética compensando a perda de segurança e conforto.

Relativamente aos sistemas e protocolos de comunicação ainda não existe nenhuma norma, pelo que atualmente cada fabricante apresenta o seu sistema proprietário. Por este fato, a implementação massiva encontra-se condicionada.

Características	Sensor Crepuscular	Relógio Astronómico	Regulador de Fluxo	Sistema de Telegestão
Função <i>on-off</i>	✓	✓	✓	✓
Possibilidade de <i>dimming</i>	✗	✗	✓	✓
Calendarização ou Programação	✗	✓	✓	✓
Aumento do tempo de vida das lâmpadas	✗	✗	✓	✓
Detecção de falhas	✗	✗	✗	✓
Cálculo das poupanças de energia e CO2	✗	✗	✗	✓
Armazenamento da informação	✗	✗	✗	✓
Comunicação com o gestor da rede de IP	✗	✗	✓	✓
Poupança	★	★	★★★★★	★★★★★★★★
Custo	★	★	★★★★	★★★★★★★★

Figura 3.9 - Características dos Sistemas de Controlo[24]

Capítulo 4

Tecnologia LED para Iluminação Pública

4.1 - Introdução

A iluminação pública abrange diversas áreas, nomeadamente a iluminação viária e de espaços públicos em geral, contribuindo de forma decisiva para o aumento da segurança. Desempenha igualmente um papel social, assegurando uma redução do crime em geral e fomentando a utilização noturna dos espaços públicos nos centros das cidades e zonas turísticas, tanto para fins comerciais como sociais.

Existem portanto inúmeros aspetos a ter em consideração num projeto de iluminação pública. A segurança e percepção de segurança são fatores chave para os peões. Para os condutores, a iluminação apresenta um enorme conjunto de benefícios, em especial ao nível da redução do número de acidentes rodoviários noturnos, aumentando ainda o conforto visual e a capacidade de tráfego de uma determinada rodovia. Comparativamente com a grande maioria das tecnologias convencionais existentes atualmente no mercado, a mais recente evolução da tecnologia LED garante uma melhor qualidade de iluminação, o que corresponde a um enorme contributo nesse sentido.

Adicionalmente, ao assegurar uma maior eficiência e desempenho em termos energéticos, a tecnologia LED reduz direta e indiretamente o consumo e, consequentemente, as emissões de CO₂ para a atmosfera, um fator preponderante para se alcançar a necessária sustentabilidade energética, em consonância com o programa 20-20-20 até 2020 da UE (na sequência das propostas apresentadas pela Comissão Europeia em Janeiro de 2007, todos os Chefes de Estado e de Governo se comprometeram a reduzir as emissões de CO₂ para a atmosfera, a aumentar a quota-parte de energias renováveis e a aumentar a eficiência energética da UE em pelo menos 20% até 2020), permitindo igualmente uma maior poupança financeira.

A tecnologia LED está na linha da frente no combate à poluição ambiental (para além dos pontos já focados, é importante salientar o facto de a tecnologia LED não utilizar

componentes tóxicos na sua composição, ao contrário do que acontece com algumas das tecnologias tradicionais usualmente utilizadas, como por exemplo o mercúrio e o sódio de alta pressão) e ao desperdício de energia, contribuindo decisivamente para que as metas acordadas se concretizem. Estas são metas ambiciosas mas absolutamente necessárias para que no futuro possamos viver num mundo melhor, mais verde e sustentável[26].

4.2 - Constituição da Luminária LED

Basicamente o conjunto que compõe uma Lâmpada a *LED* conforme a Fig. 4.1, é formado pelos seguintes equipamentos:

- LED
- Fonte de alimentação
- Lentes
- Dissipadores de Calor.

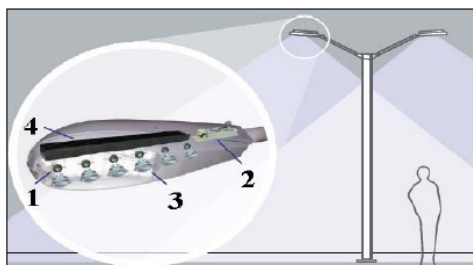


Figura 4.1 - Estrutura da Luminária LED[28]

- *LEDs* - Dependendo do tipo da situação, o projetista deverá estipular qual será o modelo de LED mais adequado para a aplicação que deseja. O diferencial de cada modelo está relacionado à eficiência, tamanho, temperatura de cor e operação. A Tabela 4.1 destaca essas diferenças de um determinado fabricante.

Tabela 4.1 - Modelos de HB-LED, usando configuração estrela[28]

Configuração estrela				
Modelos	LED I	LED II	LED III	LED IV
Temperatura de Co: (K)	5.500	5.500	5.500	6.500
Fluxo Luminoso (lm)	45	65	120	200
Corrente (mA)	350	700	700	1.000

- Fonte de Alimentação - Ao estipular a escolha da fonte de alimentação a serem implementados na luminária, alguns fatores como tensão de entrada, proteções contra sobretensão, reguladores de luminosidade e fatores de correção deverão ser levados em conta no projeto.
- Lente - Para obtenção de um melhor rendimento em níveis de iluminação utiliza-se lentes com o objetivo de direcionar, concentrar (maior quantidade de luz produzidas

em uma determinada direção) e também para uma melhor distribuição do feixe luminoso, conforme a Tabela 4.2 de um determinado fabricante.

Tabela 4.2 - Lentes conforme a necessidade dos LEDs [28].

				
Características	Lente I	Lente II	Lente III	Lente IV
Ângulo (°)	10	6 / 12 / 24	10 / 30 / 45	12 / 30 / 50

- Dissipador de Calor - Para melhor dissipação de calor é necessário usar dissipadores adequados à instalação que serão submetidos, de tal forma que se tenha um bom aproveitamento dos LEDs para manter por maior tempo suas características luminosas. A Figura 4.2 mostra a condutividade de alguns materiais empregados nos dissipadores de calor.

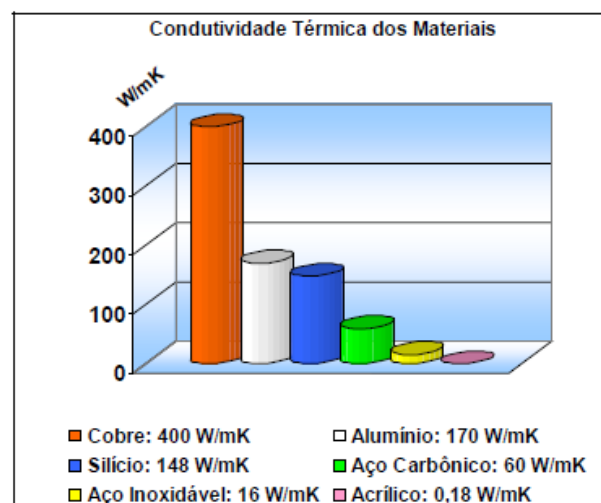


Figura 4.2 - Comparação de condutividade térmica empregada nos dissipadores [28]

4.3 - Características

A obtenção de uma melhor qualidade de iluminação recorrendo à tecnologia LED é conseguida fundamentalmente à custa de dois fatores chave:

- Índice de Restituição Cromática (IRC) elevado
- Vasto leque de temperaturas de cor disponíveis
 - Índice de Restituição Cromática

Um elevado nível de IRC equivale a uma melhor percepção das cores reais dos objetos, o que se traduz em melhor qualidade de iluminação e, consequentemente, em maior segurança e percepção de segurança. As imagens seguintes ilustram claramente as diferenças existentes entre um cenário de iluminação pública rodoviária com base em tecnologia LED (IRC>75) e um outro mais tradicional, com base na tecnologia vapor de sódio de alta pressão (IRC<25)[26].



Figura 4.3 - Diferença do IRC da Lâmpada LED e Vapor de sódio alta pressão, 1 e 2 respetivamente[26]

- **Temperatura de cor**

A existência de diferentes temperaturas de cor permite um maior conforto visual, em consonância com o ambiente envolvente. Isto traduz-se naturalmente em melhor qualidade de iluminação.

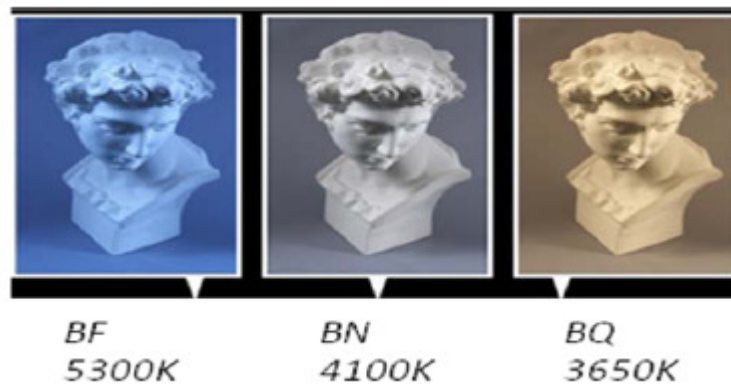


Figura 4.4 - Temperatura de Cor[26]

As cores mais frias (temperaturas de cor mais elevadas) são mais adequadas para a iluminação rodoviária. As cores mais quentes (temperaturas de cor mais reduzidas) são mais adequadas para a iluminação de centros históricos. No entanto, em termos práticos, qualquer uma das opções é válida em qualquer cenário, sem comprometer de forma alguma a qualidade de iluminação e a eficiência energética.

4.4 - Eficiência Energética

A obtenção de uma elevada eficiência energética com base na tecnologia LED assenta principalmente nos seguintes pressupostos:

- Geometria ótica adequada
- Espectro luminoso otimizado
- Elevado desempenho ao longo do seu tempo de vida útil

4.4.1 - Geometria ótica adequada

A sua reduzida dimensão e o fato de apenas radiarem num dos hemisférios permite otimizar a geometria ótica de forma relativamente simples e extremamente eficaz, maximizando dessa forma o fator de utilização, ou seja, a capacidade de converter fluxo luminoso em iluminação útil no plano que se pretende iluminar, este fator pode ser igualmente avaliado em termos de luminância, tudo dependendo da aplicação em causa.

Este fato contribui decisivamente para a redução do consumo energético, uma vez que, comparativamente com as tecnologias convencionais habitualmente utilizadas, são necessários menos *lumens* para se atingirem os mesmos níveis de iluminação. Em termos concretos, a tecnologia LED apresenta tipicamente um fator de utilização cerca de 85 a 90% superior ao que é conseguido com o recurso à lâmpadas vapor de sódio de alta pressão.

A figura seguinte ilustra as diferentes zonas de incidência (assinalado a amarelo está a área que se pretende iluminar, ou seja, a iluminação útil).

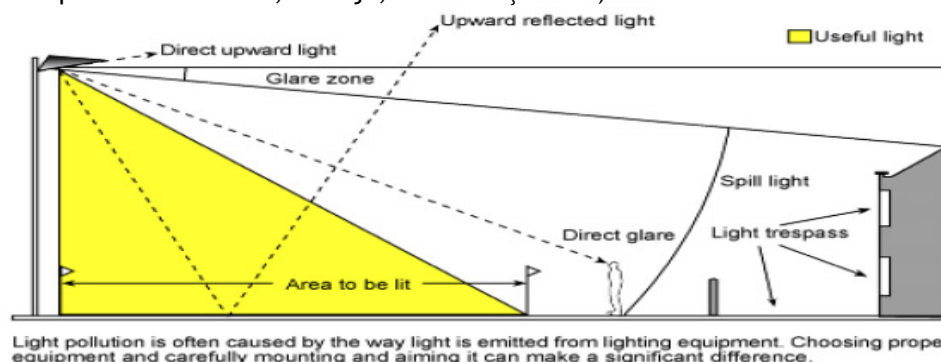


Figura 4.5 - Geometria ótica [26]

Como consequência da obtenção de um fator de utilização elevado, os níveis de encandeamento são por norma extremamente reduzidos, uma questão central em termos de segurança rodoviária. O mesmo acontece com os níveis de poluição luminosa, o que se traduz diretamente em melhor qualidade de vida.

A tecnologia LED quando utilizada nas vias públicas, para além de possibilitar um direcionamento mais eficaz dos feixes de luz, também evita a poluição luminosa que é causada pelo desperdício de luz artificial no período da noite. Sendo projetada de maneira incorreta o céu fica coberto por uma enorme bolha luminosa, tirando a nitidez das estrelas, conforme a figura 4.6. A razão deste efeito negativo está no modo como é projetada a luz. Na iluminação a LED este efeito é minimizado, pois a sua iluminação é direcionada, sendo considerada ideal[26].



Figura 4.6 - Poluição Luminosa[27]

4.4.2 - Espectro luminoso otimizado

Na sua generalidade, atendendo aos níveis de luminância habitualmente utilizados, a iluminação pública coloca-nos na região de visão mesópica.

As propriedades de todas as fontes de luz são atualmente quantificadas com base na resposta fotópica do olho humano. Em condições mesópicas, esta quantificação está totalmente desajustada dos valores de desempenho reais.

Uma das grandes vantagens na utilização da tecnologia LED prende-se com o facto de a sua resposta espectral estar sintonizada com a sensibilidade do olho humano na região mesópica, o que potencia de forma clara e significativa o seu desempenho.

A sensibilidade nesta região depende dos níveis de luminância existentes. Enquanto que para níveis de luminância mais baixos esta se aproxima da região escotópica, para níveis de luminância mais elevados aproxima-se da região fotópica[26].

4.4.3 - Elevado desempenho ao longo do seu tempo de vida útil

A depreciação dos sistemas de iluminação ao longo do seu tempo de vida útil é um dos fatores mais importantes a ter em consideração em qualquer projeto luminotécnico e que tem um enorme impacto no consumo energético. O fator de manutenção qualifica e quantifica essa depreciação, incidindo diretamente sobre o nível de iluminação no plano, tipicamente a iluminância.

Em condições normais de funcionamento, a tecnologia LED apresenta tipicamente níveis de depreciação de fluxo luminoso bastante reduzidos, na ordem de 1 a 2% para os sistemas de elevado desempenho. A tecnologia vapor de sódio de alta pressão tem tipicamente depreciações de 20 a 30%.

Quanto à taxa de sobrevivência (FSL), não é aplicável no caso da tecnologia LED. Com efeito, uma vez que esta tecnologia não apresenta um final de vida catastrófico (ou seja, os LEDs não se apagam por completo), foi necessário encontrar uma nova forma de quantificar o seu tempo de vida útil. A ASSIST (*Alliance for Solid-State Illumination Systems Technologies*) determinou que 70% é o limiar a partir do qual é possível ao olho humano detetar uma

redução de fluxo luminoso. Assim, ficou especificado que uma redução efetiva de 30% do fluxo luminoso em relação ao valor inicial define o fim do tempo de vida útil de um LED. Dito de outra forma, quando se diz que um LED atingiu o fim de vida às 60.000H estamos na prática a dizer que ainda tem pelo menos 70% do fluxo inicial. [26].

Em termos de depreciação da luminária (FML), ao não ser utilizado qualquer tipo de refletor, o nível de degradação no caso da tecnologia LED é sempre inferior. Por outro lado, uma vez que não emitem radiação Ultravioleta nem Infravermelhos, não danificam as proteções nem atraem insetos. As condições climáticas (chuva) e as operações de manutenção que poderão ser efetuadas ocasionalmente, com vista à limpeza das luminárias, eliminam praticamente por completo este problema[26].

Em suma, o fator de manutenção é tipicamente muito mais elevado nos sistemas LED, rondando os 75 a 80%. Pelo contrário, no caso da tecnologia VSAP o fator de manutenção ronda habitualmente os 45%. Face a esta disparidade de valores, podemos concluir que a tecnologia LED é muito mais estável ao longo do seu tempo de vida útil do que a tecnologia vapor de sódio de alta pressão. Dito de outra forma, a utilização da tecnologia VSAP obriga a sobredimensionar bastante todo o projeto de iluminação, de forma a compensar a acentuada degradação registada e a permitir que sejam cumpridos os níveis especificados pelas normas, o que se traduz em consumo energético desnecessário. Para além do enorme desperdício de energia que isso representa, apenas contribui para aumentar o desconforto na utilização dos espaços públicos iluminados desta forma, uma vez que se irão registar variações acentuadas nos níveis de iluminação (o que equivale a uma deficiente qualidade de iluminação[26].

4.5 - Comentários Finais

Os mais recentes avanços da tecnologia LED vieram cimentar em definitivo a sua utilização em iluminação de espaços públicos (onde se destaca a iluminação rodoviária), como resposta às limitações impostas pela maior parte das tecnologias tradicionais (em especial a vapor de sódio de alta pressão). A tecnologia LED assegura uma redução significativa do consumo energético, uma elevada eficiência energética e qualidade de iluminação de nível superior, sem precedentes. A redução da emissão de CO₂ para atmosfera e a poupança financeira são um reflexo disso mesmo.

Eficiência energética

A obtenção de uma elevada eficiência contribui igualmente para a redução do consumo energético, uma vez que é necessário recorrer a uma menor quantidade de energia para se atingirem os mesmos objetivos. Isso é conseguido à custa de um sistema de iluminação eficiente, centrado num módulo ótico inovador e de elevado desempenho. Em termos concretos, isto traduz-se numa geometria ótica e na emissão de um espectro luminoso

otimizados e adaptados às necessidades, assim como num elevado desempenho global ao longo do seu tempo de vida útil.

Com base nesta geometria ótica, fica assegurada a obtenção de um fator de utilização mais elevado, tipicamente entre 85 e 90% do que é possível obter com a tecnologia de sódio de alta pressão. Dito de outra forma, para o mesmo nível de iluminação no plano, apenas será necessária cerca de metade do fluxo luminoso. O fator de manutenção mais elevado nos sistemas LED, contribui decisivamente para este nível de eficiência.

Melhor qualidade de iluminação

Uma melhor qualidade de iluminação contribui decisivamente para o aumento da segurança rodoviária e para um maior conforto de utilização das vias públicas. A tecnologia LED assegura uma qualidade de iluminação de nível superior, assente fundamentalmente num Índice de Restituição Cor elevado ($IRC > 75$). Um nível de IRC elevado permite uma melhor perceção das cores reais dos objetos e, conseqüentemente, uma maior segurança rodoviária. Este facto resulta habitualmente numa redução efetiva da quantidade de luz necessária para se iluminar o espaço pretendido, o que se traduz igualmente numa redução do consumo energético. Esta é uma das razões pela qual os projetos de iluminação baseados nas tecnologias tradicionais, em especial a VSAP, recorrem a um aumento efetivo da potência luminosa. Com efeito, atendendo ao reduzido valor de IRC que esta tecnologia apresenta ($IRC < 25$), esse aumento é absolutamente necessário como forma de compensar a fraca qualidade de iluminação, o que se traduz num maior desconforto e dificuldade em distinguir os objetos que nos rodeiam, aumentando dessa forma a sensação de insegurança.

Como conclusão, a tecnologia LED apresenta excelentes qualidades e argumentos com vista à sua utilização em iluminação de espaços públicos, em especial a rodoviária, podendo contribuir de forma decisiva para um mundo seguramente mais seguro, confortável e sustentável.

Capítulo 5

Projeto de IP com o novo Documento de Referencia

5.1 - Objetivos do Documento de Referencia “Eficiência Energética na Iluminação Pública”

O documento tem como objetivo estabelecer, como referência, uma série de parâmetros técnicos que deve seguir um projeto de IP de modo a se obter uma maior eficiência energética desta tipologia de instalações e, conseqüentemente, conduzir a uma diminuição das emissões de CO₂ durante o período de utilização das mesmas.

O documento apontará para a classificação energética de uma instalação de IP com recurso a um código de letras (como acontece já em alguns eletrodomésticos e também nos edifícios, por exemplo) e referenciará o modo e o conteúdo de apresentação de um projeto de IP eficiente do ponto de vista energético e lumínico[3].

O Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento criou um Documento de Referência para a eficiência energética na iluminação pública, com os seguintes objetivos:

- Dotar os Municípios/Decisores de um instrumento que aponte para soluções sustentáveis do ponto de vista de eficiência energética na iluminação, independentemente da fonte ou da tecnologia utilizada.
- Valorizar e dinamizar o projeto luminotécnico
- Estimular os fabricantes do sector para a busca de soluções mais eficientes
- Servir de referência para novas instalações e para requalificações
- Servir de referência para a realização de projetos no âmbito do Qren ou outros programas
- Convergência com o PNAEE, normas internacionais e Portaria 454.

- Classificação criteriosa das vias de acordo com o método simplificado da CIE 115/2010, que se baseia na norma EN13201
- Adaptação dos níveis de iluminação às correspondentes classificações das vias, com limites.
- Disciplinar e uniformizar o fator de manutenção global (FM), recorrendo a tabelas de referência
- Os equipamentos devem cumprir com as especificações da EN 13032 e especificações técnicas das autarquias ou concessionárias das redes, senão devem ter obrigatoriamente certificado ENEC.
- Limitação do fluxo luminoso para cima, reduzindo a poluição luminosa e a luz intrusiva.

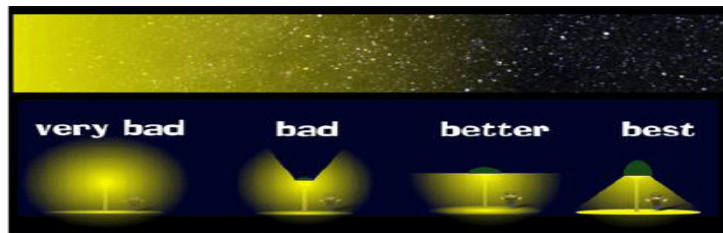


Figura 5.1 - Má e boa Iluminação

- Introdução de um índice de eficiência energética

$$\varepsilon = S \text{ (m}^2\text{)} \times E \text{ (lux)} / P \text{ (watts)} \quad (5.1)$$

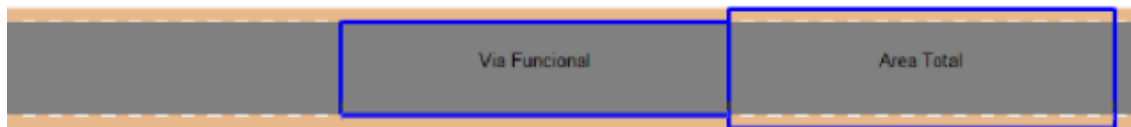


Figura 5.2 - Cálculo da área para o índice de eficiência energética[3]

S - Área total resultante do produto do valor da interdistância entre pontos de luz e largura total da via e passeios, no caso do perímetro urbano, de fachada a fachada.

E - Iluminância porque sem tipo de piso difícil a luminância

P - Potência total das luminárias mais auxiliares

- Classificação Energética de uma instalação IP
 - A classificação energética só se aplicará à iluminação pública funcional

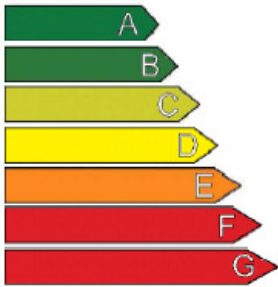
Classificação Energética das Instalações de Iluminação Pública	
Mais Eficiente  Menos Eficiente	
Instalação:	
Localidade/Rua:	
Horário de funcionamento:	
Consumo de energia anual (kWh/ano):	
Emissões de CO ₂ anual (KgCO ₂ /ano):	
Índice de eficiência energética (ϵ):	
Nível de iluminação média em serviço E_m (lux):	
Uniformidade (%):	
Temperatura de Cor (K):	
Opção por visão mesópica:	
Programação da RFL:	

Figura 5.3 - Classificação energética das instalações de iluminação pública[3]

Funcional	Eficiência Energética
A	$\epsilon > 40$
B	$40 \geq \epsilon > 35$
C	$35 \geq \epsilon > 30$
D	$30 \geq \epsilon > 25$
E	$25 \geq \epsilon > 20$
F	$20 \geq \epsilon > 15$
G	$\epsilon \leq 15$

Figura 5.4 - Índice de eficiência energética das instalações de iluminação pública[3]

5.2 - Critérios a considerar em projetos de IP

Os Principais objetivos de um sistema de IP são:

- Fornecer informação visual para uma fácil e segura circulação, dos peões e dos condutores, nos espaços públicos de lazer, nas estradas e ruas.
- Segurança da ordem pública e mitigação de atividades ilícitas.
- Proporcionar visão noturna.
- Criação de ambientes agradáveis e acolhedores, em zonas comerciais, parques, jardins e centros históricos.
- Promover ambiências simbólicas e psicológicas

- Funcionar como elemento de interação social
- Funcionar como linguagem visual
- Interagir com a paisagem urbana noturna

Neste sentido, a Iluminação Pública é um instrumento de conforto, segurança e atratividade numa cidade ao mesmo tempo que potencia a percepção ambiental e influencia o comportamento humano, o sistema de IP não é mais um processo técnico e uni disciplinar mas sim um processo político e multidisciplinar.

5.2.1 - Otimização

Há que ter em conta novas considerações de projeto e construção das redes de IP, como por exemplo, uma potencial diminuição do número ou potência de fontes de luz a utilizar em novos projetos. Isto é conseguido otimizando o espaçamento, os esforços mecânicos, as características das fontes de luz e a altura dos postes.

Um outro aspecto positivo que resulta do aumento da altura dos postes é a diminuição do vandalismo, com a conseqüente redução dos custos de manutenção.

Os postes de iluminação são definidos nas séries da norma EN 40 e podem ter um tempo de vida superior a 50 anos.

Desta forma, poder-se-á obter um menor número de postes e luminárias, mantendo ou até mesmo melhorando a visibilidade noturna com custos mais reduzidos.

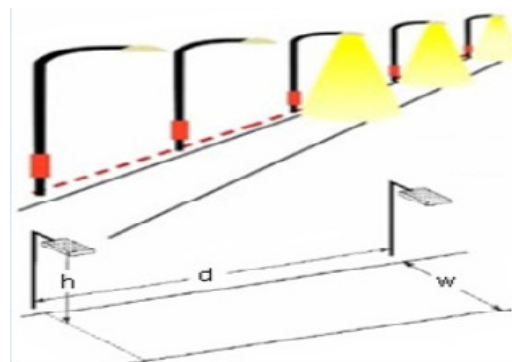


Figura 5.5 - Dimensionamento de uma rede de Iluminação Pública[29]

5.2.2 - Encadeamento Incomodativo (G)

Corresponde à perda de faculdades de visualizar os objetos, agudeza visual, provocando simultaneamente fadiga ocular, em condições dinâmicas[3]:

$$G = IEL + VRI \quad (5.2)$$

G = Índice de deslumbramento incomodativo

IEL = Índice específico da luminária

VRI = valor real da instalação

5.2.3 - Encandeamento perturbador (TI)

O incremento limite (TI) é uma medida que permite quantificar a perda de visibilidade causada pelo encandeamento das luminárias de iluminação pública. Neste caso um objeto que está no limite da visibilidade deixa de ser visível devido ao encandeamento. Caso se pretenda que o objeto seja visível nestas condições, há que aumentar o nível de contraste. Este incremento corresponde ao TI[3].

$$TI = \frac{65}{(\bar{L})^{0.8}} \times L_v \% \quad (5.3)$$

$$L_v = 10 \sum_{k=1}^n \frac{E_k}{\theta_k^2} = \frac{E_1}{\theta_1^2} + \frac{E_2}{\theta_2^2} + \dots + \frac{E_k}{\theta_k^2} + \dots + \frac{E_n}{\theta_n^2} \quad (5.4)$$

Legenda:

$\bar{L}$ - Luminância média da estrada (cd/m²).

L_v - Luminância encandeante (*veiling luminance*) equivalente (cd/m²).

E_k - Iluminância (em lux, baseada no fluxo inicial da lâmpada em lumens) produzida pela luminária k, num plano normal à linha de visão e à altura do olho do observador.

θ_k - Ângulo, em graus, do arco entre a linha de visão e a linha desde o observador ao centro da luminária k.

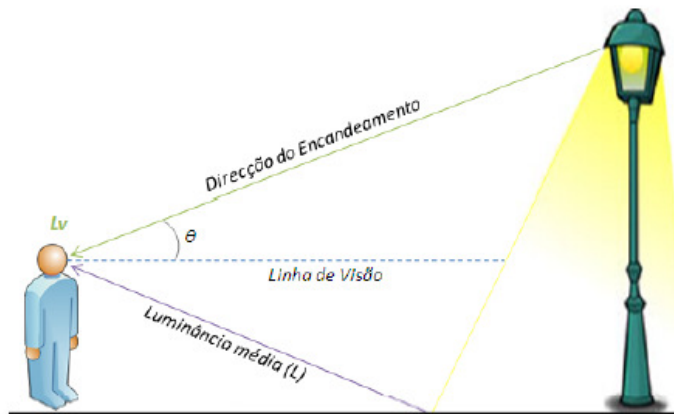


Figura 5.6 - Esquematização dos parâmetros para o cálculo do TI [3]

5.2.4 - Fator de Manutenção

O fator de manutenção (FM) - grau de conservação de uma instalação. É o rácio da iluminância num determinado momento ($E(t)$), com a iluminância inicial (E_0).[3]

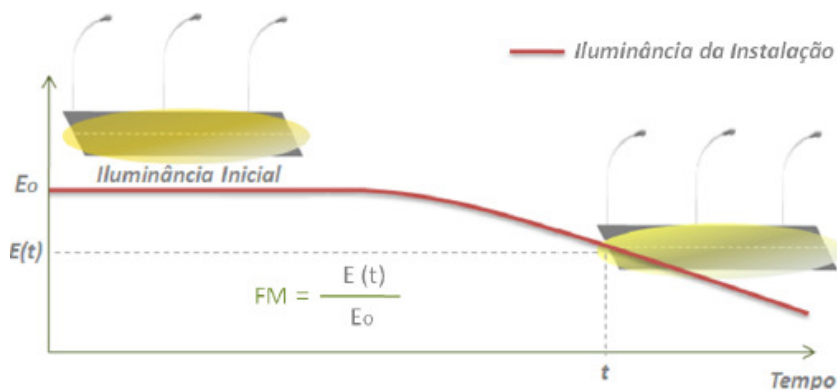


Figura 5.7 - Fator de Manutenção de uma instalação (FM) [3]

O valor do fator de manutenção poderá afetar significativamente a potência da lâmpada a instalar, bem como o número de luminárias necessárias para alcançar os valores de iluminância/luminância especificados[3].

Em que:

$$FM = F_{MLL} \times F_{SL} \times F_{ML} \quad (5.5)$$

5.2.4.1 - Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada

O fator de manutenção da luminosidade da lâmpada (LLMF - *Lamp Luminance Maintenance Factor*) é dado pelo rácio entre o fluxo luminoso da lâmpada num dado momento da sua vida ($\phi(t)$) e o fluxo luminoso inicial (ϕ_0). [EN 12665:2002]

Ou seja[3]:

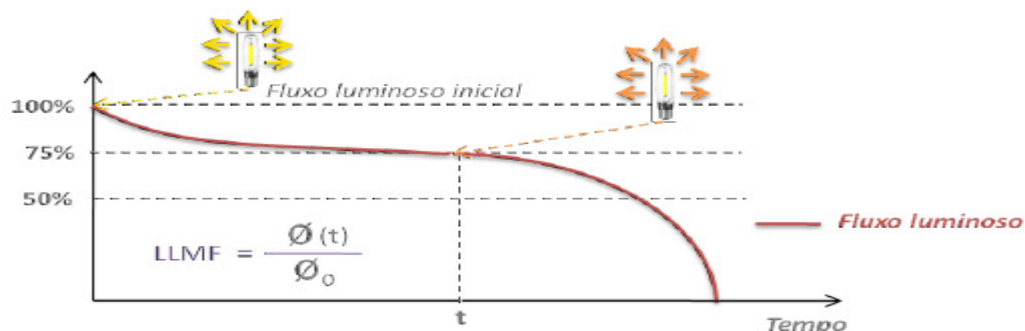


Figura 5.8 - Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada (LLMF)[3]

5.2.4.2 - Fator de Sobrevivência da Lâmpada (LSF)

O fator de sobrevivência da lâmpada (LSF - *Lamp Survival Factor*) é definido pela fração do número total de lâmpadas que continuam a funcionar num dado momento e sob determinadas condições. [EN 12665:2002]

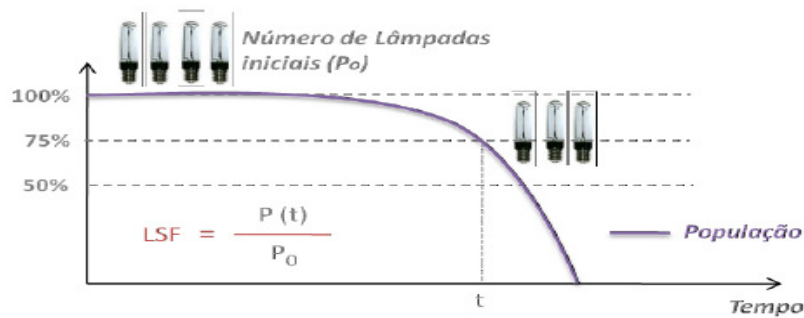


Figura 5.9 - Fator de Sobrevivência da Lâmpada (LSF)[3]

O fator de sobrevivência de uma lâmpada depende bastante da quantidade de horas de funcionamento. A Tabela mostra os diversos regimes de funcionamento que uma rede de IP pode ter[3].

Tabela 5.1 - Numero de horas por regime de funcionamento

Regime de Funcionamento	Horas/ano
Contínuo	8760
Toda a noite (crepúsculo até amanhecer)	4380
Crepúsculo até à meia noite (24h)	2600
Crepúsculo até as 22h (5noites/semana)	1300
4horas/semana	208

5.2.4.3 - Fator de Manutenção da Luminária (LMF)

O fator de manutenção da luminária (LMF - *Luminaire Maintenance Factor*) é o rácio do LOR de uma luminária num dado momento (LOR(t)), com o LOR dessa mesma luminária no seu início de vida (LOR₀)[3].

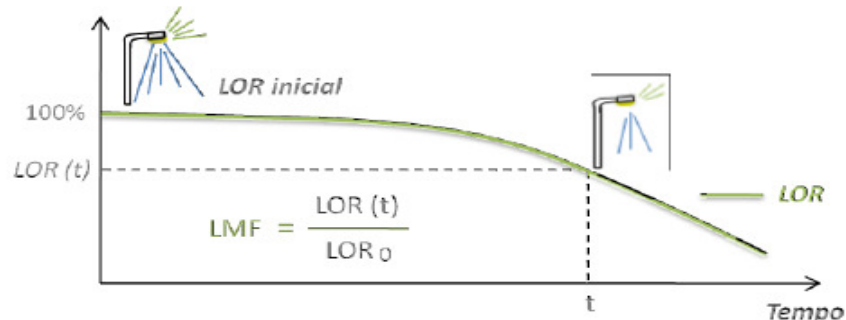


Figura 5.10 - Fator de Manutenção da Luminária (LMF)[3]

5.2.5 - Rácio Envolvente (SR - Surround Ratio)

Um dos principais objetivos na iluminação pública é providenciar uma boa iluminação na superfície das ruas e estradas, de modo a que os obstáculos sejam facilmente identificáveis.

No entanto, a parte superior de objetos mais altos na estrada e os objetos que se encontram nas laterais das faixas de rodagem (particularmente em secções curvas) são vistos apenas se existir uma boa iluminação na envolvente da estrada, ou seja, na sua vizinhança. Com efeito, uma iluminação adequada da zona envolvente à estrada possibilita ao condutor uma melhor perceção da sua situação, fazendo ajustamentos devidos de velocidade e trajetória a tempo[3].



Figura 5.11 - Faixas longitudinais para o cálculo do SR [3]

A função do rácio envolvente (SR) é assegurar que o fluxo luminoso direcionado para a periferia das estradas seja suficiente para tornar perfeitamente visível os corpos aí existentes. Assim, incrementa-se, por exemplo, a segurança dos peões nos passeios. O SR é definido como sendo a iluminância média horizontal nas duas faixas longitudinais exteriores aos limites laterais de uma faixa de rodagem de viaturas, dividida pela iluminância média horizontal de duas faixas longitudinais dessa estrada.

A largura de cada uma dessas faixas longitudinais definidas, para o cálculo do rácio envolvente, terá de ser a mesma. O seu valor será o mínimo dos valores das seguintes três hipóteses[3]:

- 5 Metros

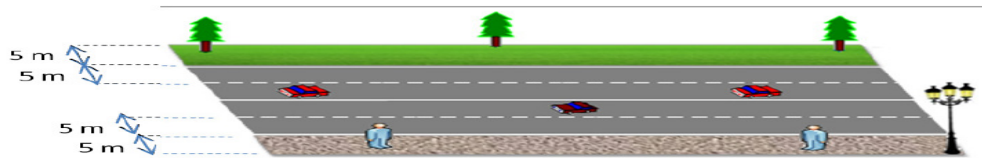


Figura 5.12 - Largura máxima das faixas para o cálculo do rácio envolvente (SR) [3]

- Metade da largura da estrada



Figura 5.13 - Esquematização para a situação em que o cálculo do SR é feito para metade da largura da estrada [3]

- Largura da faixa exterior ao limite da estrada que não esteja obstruída

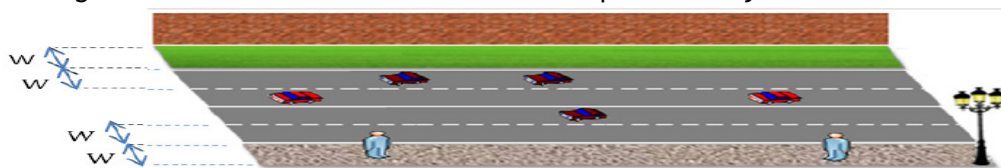


Figura 5.14 - Parede de tijolo a obstruir a faixa longitudinal exterior de largura W [3]

Em qualquer um dos casos o rácio envolvente (SR) poderá ser calculado através da iluminância média ($\bar{E}$) das várias faixas, pela seguinte expressão:

$$SR = \frac{\bar{E}_1 + \bar{E}_4}{\bar{E}_2 + \bar{E}_3} \quad (5.5)$$

5.3 - Níveis, Uniformidades e Classes Iluminação

5.3.1 - Nível de Iluminação

É imprescindível que o nível de iluminação do sistema de Iluminação Pública a instalar, seja o mais adequado para a zona e o tipo de utilizadores em questão. Com efeito, pessoas com idades superiores a 45 anos requerem mais 30% de nível luminoso para o reconhecimento facial, do que as pessoas com idades inferiores. [29]

O relatório técnico CEN/TR 13201-1: 2004 orienta na seleção das zonas onde as classes de iluminação, definidas na norma EN 13201-2, e os cálculos e procedimentos existentes na norma EN 13201-3 deveriam ser aplicados.

Não sendo um critério de decisão de projeto, este relatório técnico fornece uma linha orientadora, para descrever as diversas situações onde é possível elaborar um projeto de IP, com base em parâmetros como[29]:

- Geometria da área a ser considerada.
- Uso dessa mesma área.
- Influência do meio envolvente.

5.3.2 - Uniformidade da Iluminação

A qualidade da iluminação proporcionada é um parâmetro fulcral nos sistemas de iluminação e que salta de imediato à vista dos utilizadores. Há que tentar iluminar uma zona ou objeto de vários ângulos, tendo sempre presente o critério da uniformidade da iluminação, ou seja, uma distribuição equivalente de luz nas superfícies horizontal e vertical nas diversas zonas.

Para iluminar eficientemente uma paragem de autocarro, torna-se necessário criar ambiente luminotécnico adequado nos acessos até essa paragem. Desta forma, será transmitida uma sensação de maior conforto e segurança às pessoas, cujas feições e traços característicos devem poder ser reconhecidos entre 10 a 15m de distância. [29]



Figura 5.15 - Exemplificação de não uniformidade de iluminação (esquerda) e uniformidade da iluminação junto às paragens de autocarro (centro e direita)[29]

A uniformidade geral, rácio entre o valor da luminância mais baixo (num ponto qualquer do campo de cálculo) com a luminância média

$$U_0 = \frac{L_{min}}{L_{med}} \quad (5.6)$$

A uniformidade longitudinal, quociente entre o valor mais baixo e o valor mais alto da luminância, na direção longitudinal, ao longo do centro de cada faixa de rodagem.

$$U_l = \frac{L_{min}}{L_{max}} \quad (5.7)$$

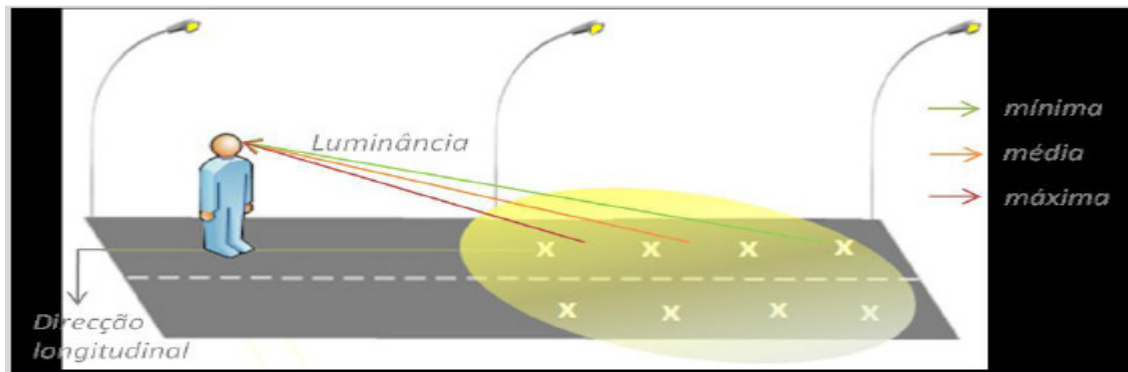


Figura 5.16 - Uniformidade Longitudinal[30]

O número de pontos na direção longitudinal (N) e o espaço entre eles terá de ser o mesmo que fora usado no cálculo da luminância média. Adicionalmente, a posição do observador terá de estar no enfiamento da linha dos pontos de cálculo.

Uniformidade extrema (U_e) - Relação entre o valor de iluminância mínima e o valor de iluminância máxima, de uma instalação de iluminação. A unidade é %[30].

$$U_e = \frac{E_{min}}{E_{max}} \quad (5.8)$$

Uniformidade média (U_m) - Relação entre o valor de iluminância mínima e o valor de iluminância média, de uma instalação de iluminação. A unidade é %[30].

$$U_m = \frac{E_{min}}{E_{med}} \quad (5.9)$$

- **Má uniformização**

O método de desligar fontes de luz num padrão alternado, com o intuito de reduzir o consumo não deverá ser considerado, uma vez que, causa uma má uniformização da iluminação. As pessoas, hoje em dia, preocupam-se com a zona onde querem viver e a qualidade de vida que dela obtêm, ou seja, o público em geral espera que as ruas sejam lugares aprazíveis e seguros, quer seja durante o dia quer seja nos períodos noturnos.

A uniformização da iluminação, o nível de iluminação adequado e um bom índice de restituição de cor são parâmetros, quando otimizados, que vão ao encontro da satisfação desse desejo, potenciando inclusive a redução da criminalidade em 20%, segundo um estudo feito no Reino Unido do UK Home Office. Adicionalmente, existem estudos realizados em

campos universitários nos Estados Unidos que indicam a reformulação do sistema de IP para temperaturas de cor mais frias proporcionaram uma maior sensação de segurança, verificada na prática com a diminuição da criminalidade dentro desse pólo universitário[29].

5.3.3 - Classes de Iluminação

Cada tipo de estrada a ser iluminada está associado a mais do que uma classe de iluminação. Esta será determinada, no plano diretor de iluminação pública da responsabilidade da autarquia.

Uma classe de iluminação é definida por um conjunto de requisitos fotométricos que apontam para as necessidades de visibilidade dos utilizadores dos vários tipos de ruas, estradas e áreas frequentadas.

Na norma EN 13201-2 existem várias tabelas onde são atribuídos:

- Valores de luminância (cd/m^2) para as classes ME.
- Valores de iluminância (lux) para as restantes classes.
- Existem ainda as sub-classes que variam desde o valor 1 (requisitos mais elevados do nível de iluminação) até um valor n (nível mais baixo) que varia de classe para classe.

Para as condições existentes no nosso País, as classes a ter em conta num projeto de IP podem ser simplificadas em três categorias de estradas que irão compreender as classes de iluminação da norma EN 13201-2:2003.[29]

Tabela 5.2 - Quadro simplificado das classes de iluminação distribuídas pelas três categorias de estradas definidas para Portugal[29]

Categorias	Descrição
R (rápido)	Corresponde ao tráfego motorizado de elevada velocidade, ou seja, em estradas nacionais e rurais de ligação a populações, tendo apenas requisitos de luminância (cd/m^2) Compreende as seguintes classes definidas na norma EN13201-2:2003: [ME1 a ME5]
M (misto)	Corresponde ao tráfego misto, ou seja, comporta tráfego motorizado a baixa e media velocidade bem com a existência de ciclistas e pedestres nessas áreas. Tal como na classe anterior, tem apenas requisitos de luminância (cd/m^2) Compreende as seguintes classes definidas na norma EN13201-2:2003: [ME2 a ME5]
L (lento)	Corresponde ao tráfego lento, ou seja, para zonas residências e áreas pedonais (jardins e outros espaços públicos) com requisitos somente de iluminância (lux). Compreende as seguintes classes definidas na norma EN13201-2:2003: [CE0 a CE5] [S1 a S6] [ES1 a ES9] [EV1 a EV6] [A1 a A5]

Tabela 5.3 - Parâmetros de iluminação para uma situação típica, em cada tipo de estrada [29]

Classe		Parâmetros de Iluminação				
Tipo de Estrada	Situação típica	Classe EN 13201	Lavg (cd/m ²)	Uo	UI	TI(%)
R	Transito Elevado	ME1	2	0.4	0.7	10
	Velocidade Normal e com trânsito	ME2	1.5	0.4	0.7	10
	Chuva e pouco trânsito	ME3a	1	0.4	0.7	15
	Pouco trânsito	ME4a	0.75	0.4	0.6	15
M	Trânsito Elevado	ME2	1.5	0.4	0.7	10
	Normal	ME3a	1	0.4	0.7	15
	Pouco trânsito	ME4a	0.75	0.4	0.6	15
			Eavg(lux)	Umin	Emin	
L	Trânsito Elevado	CE2	20	0.4		
	Normal	CE3	15	0.4		
	Pouco trânsito	CE4	10	0.4		
	Trânsito	S2	10		3	
	Normal	S4	5		1	
	Pouco trânsito	S6	2		0.6	

Facilmente se entende que alterando o sistema de iluminação para um nível de intensidade inferior, mas perfeitamente ajustado à zona em questão, conseguir-se-á obter uma poupança quer ao nível do consumo, quer ao nível da quantidade de luminárias necessárias.

5.3.3.1 - Classe ME

Como já fora referido na Tabela 5.2, a classe ME aplica-se a veículos motorizados em estradas de alta e média velocidade. Para a determinação da classe ME deve-se proceder do seguinte modo:

- Atribuir, apropriadamente, um fator de peso a cada trâmite especificado na Tabela 5.4.
- Somar todos esses fatores selecionados, obtendo um valor “Total”.
- Introduzir esse valor na equação: Índice (ME) = 6 – Total, obtendo o índice da classe ME.

De notar que por vezes é necessário arredondar o valor de “Total” para o número inteiro mais próximo, ou mesmo limitar o intervalo de valores possíveis entre [0 - 5].

Tabela 5.4 - Método para a seleção da classe de iluminação ME[29]

Seleção das Classes de Iluminação - ME		
Parâmetro	Opções	Fator de Peso
Velocidade	Alta	1
	Moderada	0
Volume De Tráfego	Muito Elevado	1
	Alto	0.5
	Moderada	0
	Baixo	-0.5
	Muito Baixo	-1
Composição do Trânsito	Elevada percentagem de não motorizadas	1
	Misturado	0.5
	Apenas Motorizados	0
Separação das Faixas	Não	1
	Sim	0
Densidade de Cruzamentos	Alta	1
	Moderada	0
Veículos Estacionados	Presente	1
	Não Presente	0
Luminância Ambiente	Muito Alta	1
	Alta	0.5
	Moderada	0
	Baixa	-0.5
	Muito Baixa	-1
Controlo do Trânsito	Fraco	0.5
	Bom	0
	Muito Bom	-0.5
		Total

Na Tabela 5.3, para utilização do método mais simples mas menos preciso, o índice máximo encontrado para uma classe ME é 4, no entanto, a norma EN 13201 - 2: 2003 define 6 índices possíveis, cujos parâmetros estão indicados na tabela seguinte.

Tabela 5.5 - Parâmetros da classe de iluminação ME da norma EN 13201-2:2003[29]

Classe	Luminância da superfície da estrada			Glare
	Lavg (cd/m ²)	Uo	UI	TI (%)
ME1	2	0.4	0.7	10
ME2	1.5	0.4	0.7	10
ME3a	1	0.4	0.7	15
ME3b	1	0.4	0.6	15
ME3c	1	0.4	0.5	15
ME4a	0.75	0.4	0.6	15
ME4b	0.75	0.4	0.5	15
ME5	0.5	0.35	0.4	15
ME6	0.3	0.35	0.4	15

Além dos seis índices definidos, a norma ainda faz uma ligeira distinção, nível da uniformidade longitudinal (UI), dentro das classes ME3 e ME4. Assim, se ao índice estiver associado a letra minúscula:

a - É permitido um aumento de 5% no valor do TI, quando forem usadas fontes de iluminação com baixa luminância de baixa pressão e fluorescentes tubulares 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, assim c.

Assim, caso o índice obtido no método da Tabela 5.3 seja 3 ou 4, convencionou-se a utilização dos parâmetros de iluminação da classe ME que possui a letra a associado ao índice, ou seja, ME3a e ME4a respetivamente.

- Opções Velocidade
 - Moderada ou Reduzida: [0 km/h; 70 km/h];
 - Alta: [70 km/h; 100 km/h];
 - Muito Alta: Superior a 100 km/h.
- Opções volume de tráfego
 - Muito Baixo: inferior a 4.000 veículos por dia;
 - Baixo: 4.000 a 15.000 veículos por dia;
 - Moderado: 15.000 a 25.000 veículos por dia;
 - Alto: 25.000 a 40.000 veículos por dia;
 - Muito Alto: Superior a 40.000 veículos por dia.
- Opções Luminância Ambiente
 - Baixa: Zonas Rurais, nomeadamente zonas onde a IP seja a única fonte de iluminação;

- Moderada: Zonas com contribuição de iluminação de sinaléticas, spots publicitários e contribuição residencial;
- Alta: Centros Urbanos com grande quantidade de iluminação decorativa, montras e outros sistemas de iluminação de exteriores (e.g. estacionamento).

5.3.3.2 - Classe CE

A classe CE aplica-se nas áreas de conflito. Estas ocorrem quando as faixas dos veículos se intersectam ou desembocam em áreas frequentadas por pedestres, ciclistas ou outros utilizadores, como por exemplo:

- Cruzamentos.
- Rotundas.
- Estradas de ligação com largura e número de faixas reduzidas.
- Zonas de centros comerciais, etc.

A existência destas áreas resulta, portanto, num aumento da probabilidade de colisão entre os diversos utilizadores da estrada, logo a iluminação destas zonas deverá revelar em especial a:

- Posição dos passeios e lancis.
- Marcas e sinalizações da estrada.
- Movimentação dos veículos na vizinhança da área.
- Presença dos pedestres, outros utilizadores (e.g. ciclistas) e de eventuais obstáculos.

Existem dois critérios de seleção da classe de iluminação para as áreas de conflito. Assim, ou se consideram os níveis de luminância, ou então os de iluminância.[29]

Se o critério escolhido for o da luminância, as áreas de conflito devem ter no mínimo o mesmo nível de iluminação das estradas adjacentes (que dão acesso à área de conflito). O ideal mesmo é que a classe de iluminação da zona de conflito tenha um índice abaixo da classe de iluminação da estrada adjacente.

Tabela 5.6 - Classe da área de conflito correspondente à classe da Estrada adjacente, quando a luminância é o critério usado[29]

Classe da Estrada Adjacente	Classe da Área De Conflito
ME1	ME1
ME2	ME1
ME3a	ME2
ME4a	ME3a
ME5	ME4a
ME6	ME5

Por exemplo, se uma estrada de classe ME2 se depara com uma zona de conflito (e.g. rotunda), esta nova zona terá de estar iluminada com os parâmetros de iluminação correspondentes à classe ME1.

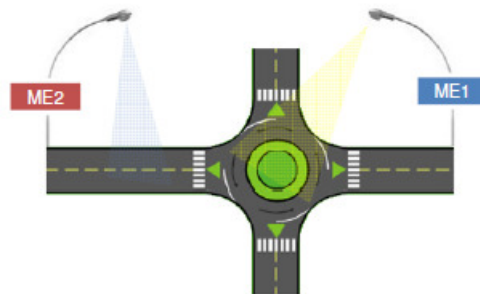


Figura 5.17 - Exemplo da mudança de índice da classe de iluminação, numa área de conflito (rotunda), quando o critério usado é a luminância[29]

Pode-se dar o caso do critério mais adequado, para a determinação da classe de iluminação das áreas de conflito, não ser o uso da luminância. Verifica-se, por exemplo, quando:

- As distâncias de percepção visual são curtas.
- Há necessidade de distinguir bem os contornos.
- A estrada adjacente não é, ou é muito mal iluminada.

Quando assim acontece, o critério a utilizar para a parametrização dos níveis de iluminação do sistema de iluminação pública, é o uso da iluminância. Dentro deste critério, encontramos dois procedimentos consoante o nível de iluminação da estrada adjacente à área de conflito.

Para determinar o índice correspondente da classe CE, ou seja:

- Atribuir, apropriadamente, um fator de peso a cada trâmite especificado na Tabela 5.7.
- Somar todos esses fatores selecionados, obtendo um valor “Total”.
- Introduzir esse valor na equação: **Índice (CE) = 6 – Total**, obtendo o índice da classe CE.

Novamente ter-se-á de ter em atenção os valores possíveis do índice, sendo que neste caso poderá ser necessário arredondar o resultado “Total” obtido ao inteiro mais próximo, ou mesmo limitá-lo ao intervalo [1-6].

Tabela 5.7 - Método para a seleção da classe de iluminação CE [29]

Seleção das Classes de Iluminação - CE			
Parâmetro	Opções	Fator de Peso	Seleção
Velocidade	Alta	2	
	Moderada	1	
	Baixa	0	
Volume De Tráfego	Muito Elevado	1	
	Alto	0.5	
	Moderada	0	
	Baixo	-0.5	
	Muito Baixo	-1	
Composição do Trânsito	Elevada percentagem de não motorizadas	1	
	Misturado	0.5	
	Apenas Motorizados	0	
Separação das Faixas	Não	1	
	Sim	0	
Luminância Ambiente	Muito Alta	1	
	Alta	0.5	
	Moderada	0	
	Baixa	-0.5	
	Muito Baixa	-1	
Controlo do Trânsito	Fraco	0.5	
	Bom	0	
	Muito Bom	-0.5	
		Total	

Determinado o índice da classe, iluminar-se-á toda a área, considerando parâmetros de iluminação da Tabela 5.8.

Tabela 5.8 - Parâmetros da classe de iluminação CE da norma EN 13201-2:2003 [29]

Classe	Iluminância Horizontal	
	Eavg (lux)	Uo
CE0	50	0.4
CE1	30	0.4
CE2	20	0.4
CE3	15	0.4
CE4	10	0.4
CE5	7.5	0.4

Caso o nível de iluminação da estrada adjacente cumpra os valores estipulados nas normas, surgem dois casos passíveis de análise:

- A estrada adjacente tem como parâmetro a iluminância.
- A estrada adjacente tem como parâmetro a luminância.

No primeiro caso, os níveis de iluminância da área de conflito não poderão ser menores do que os da estrada adjacente.

No segundo caso recorre-se à Tabela 5.9 incluída no relatório CIE 144:2001, onde é feita uma analogia, dos níveis de iluminação, entre as classes ME (cujo parâmetro é a luminância) e as classes CE (cujo parâmetro é a iluminância).

Assim, se a classe da estrada adjacente for ME2, a classe CE equivalente a utilizar é a CE2, logo a classe a utilizar na área de conflito (tendo a iluminância como parâmetro) será a CE1.

Tabela 5.9 - Classes ME e CE com um nível de iluminação comparável[29]

Classe de Iluminação		ME1	ME2	ME3a	ME4a	ME5	ME6
Luminância média (cd/m ²)		2	1.5	1	0.75	0.5	0.3
Classe de Iluminação	CE0	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	
Iluminância média (Lux)	50	30	20	15	10	7.5	

5.3.3.3 - Classe S

A terceira e última classe de iluminação utilizada na versão simplificada da Tabela 5.3 é a classe S. Esta classe, é peculiar apenas à classe do tipo de estrada L, mais especificamente às zonas exclusivamente pedonais. Tem como critérios:

- Iluminância média (Eavg).
- Iluminância mínima (Emin).

Mais uma vez, o processo de aferição do índice da classe de iluminação S segue a mesma lógica dos anteriores:

- Atribuir, apropriadamente, um fator de peso a cada trâmite especificado na Tabela 5.10
- Somar todos esses fatores selecionados, obtendo um valor “Total”.
- Introduzir esse valor na equação: Índice (S) = 6 - Total, obtendo o índice da classe S.

Ter em atenção que por vezes será necessária a aproximação ao inteiro mais próximo ou a limitação do valor “Total” no intervalo [0 - 5].

Finalmente, utilizar no projeto de iluminação, os valores de E_{med} e E_{min} , indicados na Tabela 5.11, correspondentes à classe S do índice determinado.

Tabela 5.10 - Método para a seleção da classe de iluminação S[29]

Seleção das Classes de Iluminação - S			
Parâmetro	Opções	Fator de Peso	Seleção
Velocidade	Baixo	1	
	Muito Baixo	0	
Volume De Tráfego	Muito Elevado	1	
	Alto	0.5	
	Moderada	0	
	Baixo	-0.5	
	Muito Baixo	-1	
Composição do Trânsito	Pedestres, Ciclistas e Tráfego motorizadas	1	
	Pedestres e Tráfego motorizadas	0.5	
	Pedestres, Ciclistas	0.5	
	Pedestres	0	
	Ciclistas	0	
Veículos	Presentes	0.5	
Estacionados	Não Presentes	0	
Luminância Ambiente	Muito Alta	1	
	Alta	0.5	
	Moderada	0	
	Baixa	-0.5	
	Muito Baixa	-1	
		Total	

Tabela 5.11 - Parâmetros da classe de iluminação S da norma EN 13201-2:2003[29]

Classe	Iluminância Horizontal	
	Eavg (lux)	Emin (lux)
S1	15	5
S2	30	3
S3	7.5	1.5
S4	5	1
S5	3	0.6
S6	2	0.6

Zonas problemáticas em termos de atividade criminal.

Classes A, ES, EV, e quais as situações onde deverão ser tidas em conta.

5.3.3.4 - Classe A

Tal como a classe S, a classe A é destinada aos pedestres e aos ciclistas e aplica-se a zonas pedonais, vias próprias para bicicletas, caminhadas e outras vias que se encontrem separadas mas ao longo de uma estrada para veículos motorizados. Alguns países preferem recorrer a esta classe do que à classe S.

A diferença é que os parâmetros de iluminação utilizados já não irão ser a iluminância horizontal média e mínima, mas sim a iluminância hemisférica e a sua uniformidade geral (tabela 5.12)[29].

Tabela 5.12 - Parâmetros da classe de iluminação A da norma EN 13201-2:2003[29]

Classe	Iluminância Hemisférica	
	Eavg (lux)	Uo
A1	5	0.15
A2	3	0.15
A3	2	0.15
A4	1.5	0.15
A5	1	0.15

5.3.3.5 - Classe ES

A classe ES é uma classe adicional aplicada a zonas pedonais onde o risco de criminalidade é maior. A Tabela 5.13 especifica valores para a iluminância semi-cilíndrica de modo a criar um ambiente de maior conforto e segurança para as pessoas, potenciando a diminuição da criminalidade.

Tabela 5.13 - Parâmetros da classe de iluminação ES da norma EN 13201-2:2003[29]

Classe	Iluminância Semi-Cilíndrica
	E _{min} (lux)
ES1	10
ES2	7.5
ES3	5
ES4	3
ES5	2
ES6	1.5
ES7	1
ES8	0.75
ES9	0.5

5.3.3.6 - Classe EV

A classe EV é igualmente uma classe adicional aplicada a zonas onde se pretenda que haja a possibilidade de reconhecimento claro superfícies verticais. Poderá ser utilizada em zonas pedonais, bem como em locais específicos das estradas do tipo R e M, da tabela 5.3 nomeadamente em áreas que possuam placas informativas (e.g. bifurcações, rotundas, etc.). O parâmetro utilizado na classe EV é a iluminância mínima do plano vertical, cujos valores estão indicados na Tabela 5.14.

Tabela 5.14 - Parâmetros da classe de iluminação EV da norma EN 13201-2:2003[29]

Classe	Iluminância do plano vertical
	E _{min} (lux)
EV1	50
EV2	30
EV3	10
EV4	7.5
EV5	5
EV6	0.5

Não obstante o critério utilizado (iluminância ou luminância) é possível estabelecer uma analogia entre os níveis de iluminação das diversas classes de iluminação (Tabela 5.15). Quer a classe ES, quer a classe EV apenas serão aplicadas caso o projetista considere necessário, para a zona em questão.

Tabela 5.15 - Correspondência do nível de iluminação das diversas classes[29]

	ME1	ME2	ME3a	ME4a	ME5	ME6		
CE0	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5			
			S1	S2	S3	S4	S5	S6
				A1	A2	A3	A4	A5
ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES7	ES8	ES9
EV2	EV3	EV4	EV5	3(lx)	2.5(lx)	1.5(lx)	1(lx)	0.6(lx)

5.3.3.7 - Classe P

➤ Iluminação de zonas Pedonais e Jardins

Uma boa qualidade do projeto de iluminação irá permitir aos utilizadores pedestres distinguir e antecipar obstáculos e situações de perigo no seu caminho, pois será possível aperceberem-se da movimentação e fazer o reconhecimento facial de outros pedestres relativamente próximos e intuir as suas intenções.

Nestes casos particulares é importante ter-se em conta não só a iluminância horizontal (Eh), mas também iluminância semi-cilíndrica (Esc) e a iluminância do plano vertical (Ev)[3].

Tabela 5.16 - Parâmetros da classe de iluminação P da norma EN 13201-2:2003[29]

			Requerimentos adicionais no caso de ser necessário reconhecimento facial		
Classes da via	Eh,avg (lux)	Eh,min (lux)	Ev,min (lux)	Esc,min (lux)	Encandeamento perturbador
P1	15	30	5,0	3,0	20
P2	10	2,0	3,0	2,0	25
P3	7,5	1,5	2,5	1,5	25
P4	5,0	1,0	1,5	1,0	30
P5	3,0	0,6	1,0	0,6	30
P6	2,0	0,4	0,6	0,4	35

Determinação da classe P

Tabela 5.17 - Método para a seleção da classe de iluminação P[3]

Seleção das Classes de Iluminação - P			
Parâmetro	Opções	Fator de Peso	Seleção
Velocidade	Baixo	1	
	Muito Baixo	0	
Volume De Tráfego	Muito Elevado	1	
	Alto	0.5	
	Moderada	0	
	Baixo	-0.5	
	Muito Baixo	-1	
Composição do Trânsito	Pedestres, Ciclistas e Tráfego motorizadas	2	
	Pedestres e Tráfego motorizadas	1	
	Pedestres, Ciclistas	1	
	Pedestres	0	
	Ciclistas	0	
Veículos Estacionados	Presentes	0.5	
	Não Presentes	0	
Luminância Ambiente	Muito Alta	1	
	Alta	0.5	
	Moderada	0	
	Baixa	-0.5	
	Muito Baixa	-1	
		Total	

Para determinação da classe P, deve-se proceder do seguinte modo:

- Atribuir um fator de peso a cada tráfego especificado para efeitos de normalização
- Somar todos esses fatores selecionados, obtendo um valor “Total”.
- Equação: Índice (P) = 6 - Total, obtendo o índice da classe P.

➤ **Opções para a velocidade**

- Baixa: Zona em que a composição de tráfego incluía trânsito motorizado
- Muito Baixa: Zona exclusiva a caminhada ou marcha.

➤ **Opções para o volume de tráfego**

- Baixo: Apenas tráfego pedestre ou ciclistas de passagem.
 - Moderado: Não existência de tráfego motorizado mas com grande volume de tráfego de ciclistas e peões. Zonas de lazer com recintos desportivas e de recreio também deverão ser considerados nesta opção.
 - Alta: Composição de tráfego misto onde a dificuldade de circulação seja considerada difícil;
- Opções para a luminância ambiente
- Baixa: Zonas remotas, nomeadamente zonas onde a IP seja a única fonte de iluminação
 - Moderada: Zonas com contribuição de iluminação de sinaléticas, spots publicitários, contribuição residencial;
 - Alta: Zonas pedonais em centros urbanos com grande quantidade de iluminação decorativa, montras e outros sistemas de iluminação de exteriores (por exemplo estacionamento e parques desportivos e de recreio);

5.4 - Gestão do Processo de Manutenção de IP

A operação e manutenção da iluminação pública é um enorme desafio, devido ao vasto número de componentes inseridos num sistema. Todos os sistemas de iluminação irão deteriorar-se progressivamente a partir do instante inicial de funcionamento. Esta diminuição do desempenho é o resultado da[24]:

- Acumulação de poeiras e lixo em todas as superfícies expostas das fontes de luz e/ou das luminárias.
- Diminuição do fluxo luminoso da fonte de luz.
- Fontes de luz avariadas.
- Idade dos componentes.
- Complexidade dos sistemas.

Como a diminuição da intensidade luminosa do sistema é gradual, poder-se-á não notar imediatamente o seu efeito, decaindo mesmo para valores muito baixos se nenhum tipo de manutenção for efetuado, causando sérios problemas. Uma manutenção regular é, então, extremamente importante para manter a eficiência de uma instalação, assegurando uma aparência satisfatória e segurança para os utilizadores. No entanto, este tipo de manutenção tem custos elevados.

Existem vários fatores de depreciação de uma rede de IP que reduzem o seu nível de iluminação. Estes agrupam-se em dois grupos:

- Depreciação não recuperável.
- Depreciação recuperável.

Os fatores não recuperáveis, como por exemplo o envelhecimento, são inerentes à instalação e ao seu meio ambiente, não sendo possível melhorá-los (pelo menos de modo economicamente viável) com a manutenção efetuada.

Os fatores recuperáveis podem ser melhorados através de uma manutenção de rotina.

Uma vez que a manutenção de rotina se tem revelado técnica e economicamente incomportável, o projetista deverá ter o cuidado, na fase da escolha da luminária, de selecionar elevados índices do índice de proteção (IP). A escolha dos materiais, nomeadamente do difusor, também é muito importante, de modo a reduzir os efeitos de envelhecimento dos materiais.

5.4.1 - LLMF (Fator de Manutenção do Fluxo Luminoso)

O fluxo luminoso decresce ao longo do tempo. A taxa exata irá depender do tipo de fonte de luz e do balastro. As perdas devidas a este efeito podem ser reduzidas através de substituições da fonte de luz mais frequentes, efetuando, por exemplo, substituição de grupos.

A Tabela 5.17 mostra alguns exemplos típicos deste fator de manutenção, sendo que é muito importante obter dados atualizados dos fabricantes de equipamentos de IP para estimar o LLMF e o programa de manutenção a aplicar, particularmente quando se usa um novo tipo de (nomeadamente os LEDs).

Tabela 5.18 - Valores de LLMF para os vários tipos de lâmpadas[3]

Fonte de Luz	Tempo de Operação (mil horas)				
	4	6	8	10	12
Vapor de Sódio de Alta Pressão	0.98	0.97	0.94	0.91	0.90
Halogenetos metálicos	0.82	0.78	0.76	0.74	0.73
Vapor de Sódio de Baixa Pressão	0.98	0.96	0.93	0.90	0.87
CFL	0.91	0.88	0.86	0.85	0.84
LED	-	-	-	-	0.95

No caso da tecnologia LED dever-se-á considerar um LLMF de 0,7 para um tempo de operação de 65 000 horas. Para 12 mil horas, o estado-da-arte indica 0,95 para os LEDs.

5.4.2 - LSF (Fator de Sobrevivência da Lâmpada)

O fator de sobrevivência da lâmpada/fonte de luz (LSF) é a probabilidade das fontes de luz continuarem operacionais durante um determinado período de tempo. A taxa de sobrevivência depende do:

Tipo de fonte de luz.

- Potência.
- Frequência de comutação.
- Balastro/Driver.

A Tabela 5.18 mostra essa mesma probabilidade ao longo do tempo (até 12 000 horas), este fator é importante uma vez que as fontes de luz fundidas causam redução dos níveis de iluminância e da uniformidade de iluminação.

Tabela 5.19 - Valores de LSF para os vários tipos de lâmpadas[3]

Fonte de Luz	Tempo de Operação (mil horas)				
	4	6	8	10	12
Vapor de Sódio de Alta Pressão	0.98	0.96	0.94	0.92	0.89
Halogenetos metálicos	0.98	0.97	0.94	0.92	0.88
Vapor de Sódio de Baixa Pressão	0.92	0.86	0.80	0.76	0.62
CFL	0.98	0.94	0.90	0.78	0.50
LED	-	-	-	-	0.95

5.4.3 - LMF (Fator de Manutenção da Luminária)

Na análise da depreciação de um sistema é importante ser capaz de reconhecer o tipo e a quantidade de sujidade existente no ar, de modo a avaliar convenientemente o tipo de luminária a utilizar, bem como os requisitos de limpeza. Por exemplo, a quantidade de sujidade no centro de uma cidade industrial é bastante superior à encontrada numa vila rural. Assim como o tipo de detritos existentes, o pó seco de uma pedreira é muito diferente do lixo criado pelos insetos numa estrada rural.

É esta sujidade que se estabelece nas fontes de luz e luminárias que irá causar a maior quantidade de perda de intensidade luminosa. Esta depende da[24]:

- Natureza e densidade dos detritos.
- Design da luminária.
- Tipo de fonte de luz.
- Materiais utilizados na luminária.
- Índices de protecção.
- Sistema de auto-limpeza da luminária.

Tabela 5.20 - Valores de LMF[3]

	Nível de Poluição	Tempo de Operação (mil horas)		
		4	8	12
IP 55 Difusor de Plástico	Baixo	0.92	0.80	0.71
	Alto	0.87	0.71	0.61
IP 65 Difusor de Plástico	Baixo	0.95	0.84	0.76
	Alto	0.89	0.76	0.66
IP 65 Difusor de Vidro	Baixo	0.97	0.90	0.82
	Alto	0.94	0.84	0.76
IP 66 Difusor de Plástico	Baixo	0.95	0.87	0.81
	Alto	-	0.81	0.74
IP 66 Difusor de Vidro	Baixo	0.97	0.93	0.88
	Alto	-	0.88	0.83

5.4.4 - Fator de Manutenção

No cálculo dos parâmetros de iluminação de qualquer projeto de IP é necessário incluir um fator de manutenção, que tenha em conta a degradação das condições iniciais do sistema ao longo do tempo. Através do cálculo do fator de manutenção, e tendo em conta a calendarização da manutenção proposta, é possível prever a variação dos níveis de iluminância/luminância ao longo do tempo. O fator de manutenção pode ser determinado através de 5 passos[3]:

Selecionar a fonte de luz e luminária a aplicar.

Determinar o intervalo de substituições em grupo das fontes de luz, consoante a sua utilização anual.

Obter o LLMF (consultar Tabela 5.16).

Obter o LSF (consultar Tabela 5.17).

Analisar as luminárias escolhidas quanto ao índice de proteção, categoria da poluição ambiente e intervalo de limpeza, obtendo o LMF (consultar Tabela 5.18).

Calcular o fator de manutenção como o produto destes fatores:

$$FM = LLMF \times LSF \times LMF \quad (5.9)$$

Em fase de projeto, para lâmpadas de descarga e respetivas luminárias, deverão ser considerados os valores máximos conhecidos para os tempos de exposição e operação (12.000h). Para as restantes fontes de luz, e de modo a manter a uniformidade da análise, deverão ser consideradas as mesmas 12.000h.

Capítulo 6

Apresentação de Cenários de Estudo e Avaliação Económica

6.1 - Introdução

No capítulo 5 abordou-se a metodologia para o projeto luminotécnico de iluminação pública, de seguida apresenta-se a simulação de dois cenários enquadrados em situações diferentes.

Numa primeira fase pretende-se realizar o cadastramento desses dois cenários de modo a analisar o que existe, para posteriormente efetuar o cálculo luminotécnico com o auxílio a programas de cálculo.

Numa segunda fase pretende-se aplicar as tabelas do capítulo 5 de modo a cumprir os limites impostos, para obter uma iluminação de qualidade e eficiente, verificando as diferenças existentes com a utilização das tabelas e o estado atual da instalação.

Na última fase será propor para cada um dos cenários de estudo uma solução mais eficiente, recorrendo a tecnologias existentes no mercado de modo a verificar o proveito económico dessa aplicação, com a realização de uma análise económica.

É de salientar que para o cálculo luminotécnico utilizou-se para cada um dos casos os softwares das marcas e um software de marca livre de modo a poder haver uma comparação de resultados. Para o primeiro caso de estudo como se trata de luminárias da empresa Soneres, utilizou-se o software SONvial, no segundo caso de estudo trata-se de luminárias da empresa Schreder, utilizou-se o software Ulysse, para o software de marca livre utilizou-se o DIALux.

6.2 - Zona Urbana

6.2.1 - Caracterização do local

Este local de estudo é uma avenida principal situada no concelho de Paredes, o motivo da seleção deste local é por se tratar de uma via com muito tráfego, de sentido único, e ter na sua disposição dois perfis diferentes.



Figura 6.1 - Descrição do local[31]

Sendo que avenida tem dois perfis diferentes na sua composição, como se pode observar na figura, na situação 1, o perfil da via é constituído por passeio inferior, estrada e passeio superior, em que as luminárias têm disposição unilateral, este perfil predomina na grande parte da via. Relativamente a situação 2, o que diferencia da situação 1 é o facto de haver uma zona de estacionamento, logo nessa situação a via é mais larga em consequência disso, as luminárias tem disposição bilateral Oposta.

Para este caso de estudo, será realizado um estudo no estado atual da via, e posteriormente, será proposta uma reformulação com base no capítulo anterior.

No final será feita uma análise global dos dados obtidos, com a situação atual e com a requalificação proposta.

6.2.2 - Estudo da Situação Existente

Para o estudo luminotécnico do local foi necessário recolher os dados relativos ao perfil da via e material existente, de modo a que fosse possível calcular os parâmetros luminotécnicos existentes, isto é, a situação atual.

Nas tabelas seguintes serão apresentados os dados necessários para realização do estudo.

Tabela 6.1 - Perfil da Via

Perfil da via	
Comprimento	750 Metros

Disposição Unilateral		Disposição Bilateral Oposta	
Passeio Inferior	3 Metros	Passeio Inferior	3 Metros
		Estrada	6 Metros
Estrada	6 Metros	Passeio Central	3 Metros
		Estacionamento	5 Metros
Passeio Superior	5 Metros	Passeio Superior	4 Metros

Tabela 6.2 - Característica da Luminária

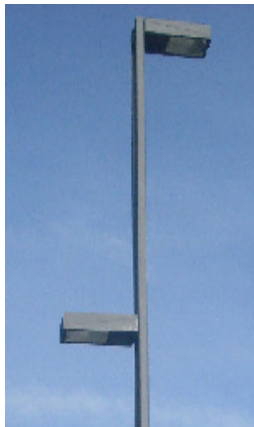
Empresa	Soneres	
Luminária	Flamengo96	
Altura da Luminária em relação a via	9 Metros	
Altura da Luminária em relação ao passeio	6 Metros	
Nº de fustes	38	
Nº de Luminárias	76	
Distância entre Luminárias	25 Metros	
Índice de Proteção	IP 66 (bloco ótico) IP54 (compartimento elétrico)	

Tabela 6.3 - Lâmpadas

Característica da Lâmpada		
<i>Local de Aplicação da Lâmpada</i>	<i>Tipo de Lâmpada</i>	<i>Potência</i>
Estrada	VSAP	250W
Passeio	VSAP	100W

Como esta avenida tem a particularidade, de ter na sua composição dois perfis diferentes, isto é, tem luminárias com disposição unilateral e bilateral oposta, serão analisadas de forma separada.

De modo a obter os parâmetros luminotécnicos da situação existente utilizou-se o software SONVial da marca das luminárias, e o software de marca livre o DIALux de forma a poder comparar resultados e verificar se há discrepância entre os softwares. É de salientar que todas as matrizes utilizadas no programa DIALux foram cedidas pelas marcas das luminárias, só assim é possível fazer este estudo de comparação entre softwares.

6.2.2.1 - Estudo Luminotécnico com disposição unilateral

Para o cálculo luminotécnico utilizou-se os dados das tabelas 6.1, 6.2 e 6.3.

➤ Cálculo com o software SONVial



Projeto: Projeto da Zona Urbana
 Data: 13 Dezembro 2011

Autor: Diogo Nunes de Sousa
ee06235@fe.up.pt

DADOS GERAIS DAS ZONAS DE ESTUDO

Passeio superior

Características		Pontos de luz		Grelha de pontos	
Dimensão (Eixo XX)	25,0 m	Disposição:	Unilateral	Pontos de cálculo X:	20
Dimensão (Eixo YY)	3,0 m	Interdistância:	25,0 m	Pontos de cálculo Y:	4
Tipo de Pavimento:	R1	Distância do apoio à zona:	0,4 m	Distância entre pontos em X:	1,3 m
Coef. Pavimento q0:	0,10			Distância entre pontos em Y:	0,8 m
Posição do Observador (m):	(-60,0; 14,0)				

Estrada

Características		Pontos de luz		Grelha de pontos	
Dimensão (Eixo XX)	25,0 m	Disposição:	Unilateral	Pontos de cálculo X:	20
Dimensão (Eixo YY)	6,0 m	Interdistância:	25,0 m	Pontos de cálculo Y:	10
Tipo de Pavimento:	R3	Distância do apoio à zona:	0,4 m	Distância entre pontos em X:	1,3 m
Coef. Pavimento q0:	0,07			Distância entre pontos em Y:	0,6 m
Posição do Observador (m):	(-60,0; 9,5)				
Nº de faixas de rodagem	1				

Passeio inferior

Características		Pontos de luz		Grelha de pontos	
Dimensão (Eixo XX)	25,0 m	Disposição:	Sem pontos	Pontos de cálculo X:	20
Dimensão (Eixo YY)	5,0 m	Interdistância:	-	Pontos de cálculo Y:	4
Tipo de Pavimento:	R1	Distância do apoio à zona:	-	Distância entre pontos em X:	1,3 m
Coef. Pavimento q0:	0,10			Distância entre pontos em Y:	1,3 m
Posição do Observador (m):	(-60,0; 5,0)				

Figura 6.2 - Dados utilizados no cálculo

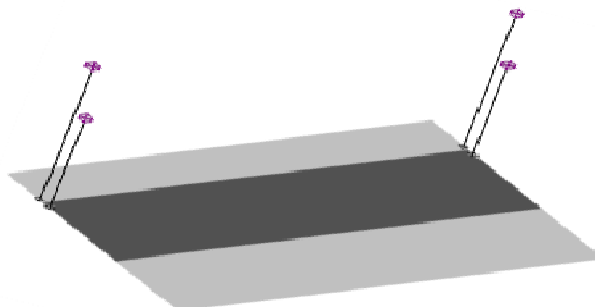


Figura 6.3 - Vista 3D da instalação

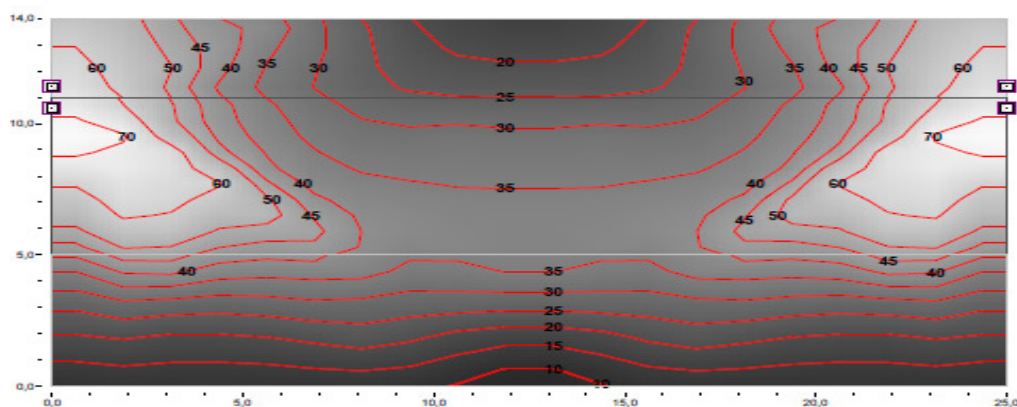


Figura 6.4 - Curvas Isolux (Iluminâncias Horizontais)

Passeio superior		Estrada		Passeio inferior	
E _{max} :	64 lux	E _{max} :	73 lux	E _{max} :	41 lux
E _{med} :	36 lux	E _{med} :	45 lux	E _{med} :	24 lux
E _{min} :	16 lux	E _{min} :	27 lux	E _{min} :	10 lux
U _{med} :	0,45	U _{med} :	0,59	U _{med} :	0,40
U _{ger} :	0,26	U _{ger} :	0,37	U _{ger} :	0,24

Figura 6.5 - Iluminâncias Horizontais

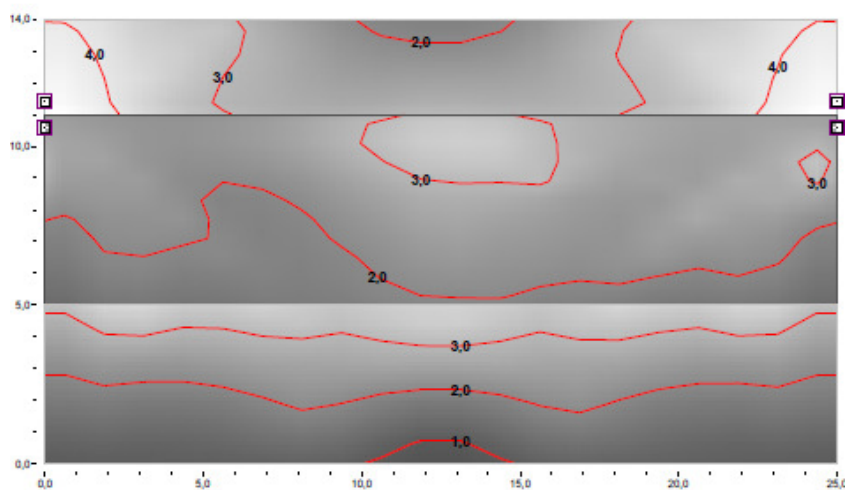


Figura 6.6 - Curvas de Isoluminância [cd/m^2]

Passeio superior		Estrada		Passeio inferior	
L _{max} :	4,4 cd/m^2	L _{max} :	3,5 cd/m^2	L _{max} :	3,4 cd/m^2
L _{med} :	3,1 cd/m^2	L _{med} :	2,3 cd/m^2	L _{med} :	2,2 cd/m^2
L _{min} :	1,9 cd/m^2	L _{min} :	1,4 cd/m^2	L _{min} :	0,9 cd/m^2
U _{med} :	0,60	U _{med} :	0,62	U _{med} :	0,44
U _{ger} :	0,43	U _{ger} :	0,41	U _{ger} :	0,28

Figura 6.7 - Luminâncias

➤ Cálculo com o software DIALux

Perfil da rua

Passeio 1 (Largura: 3.000 m)

Pista de rodagem 1 (Largura: 6.000 m, Quantidade das faixas de rodagem: 1, Pavimento: R3, q_0 : 0.070)

Passeio 2 (Largura: 5.000 m)

Factor de manutenção: 0.70

Distribuições de luminárias

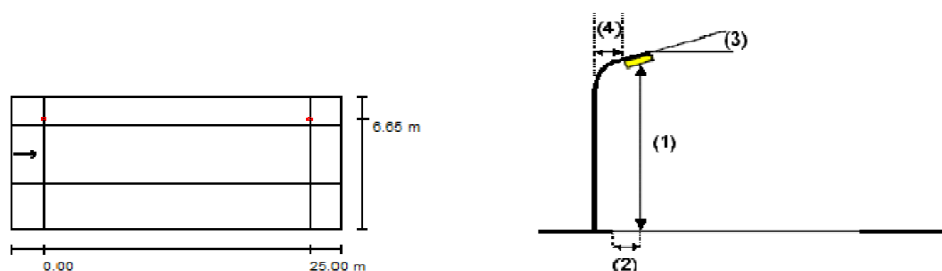


Figura 6.8 - Dados da via com software DIALux



Figura 6.9 - Representação 3D da via

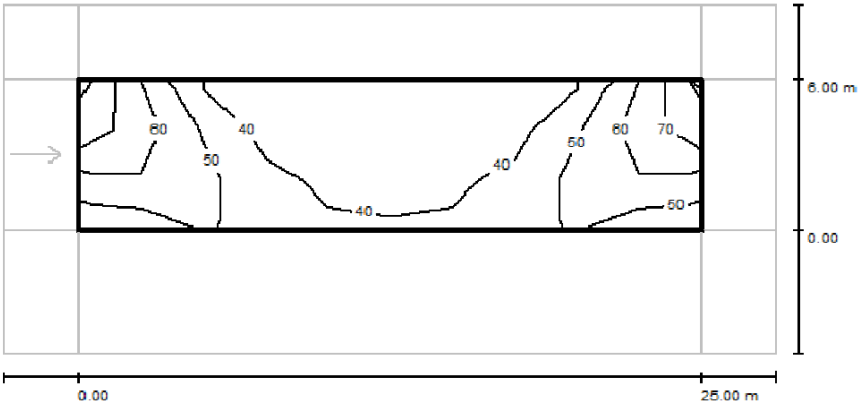


Figura 6.10 - Linhas isométricas das iluminâncias

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
47	31	75	0.657	0.414

Figura 6.11 - Valores da Iluminâncias

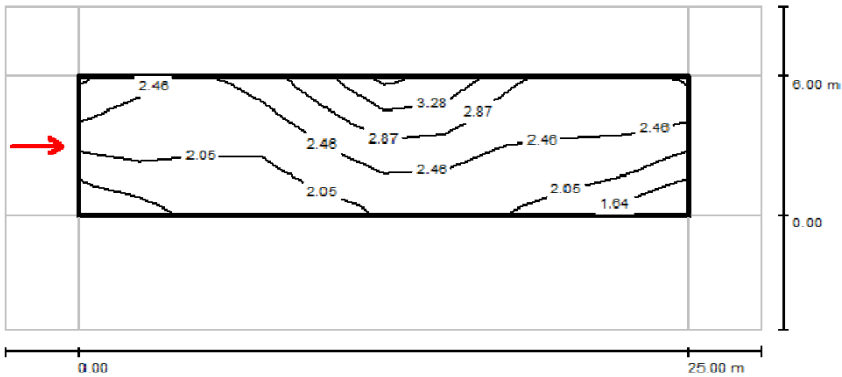


Figura 6.12 - Linhas isométricas das luminâncias

Valores reais segundo o cálculo:	L_m [cd/m²]	U0	UI	TI [%]
	2.38	0.7	0.7	3

Figura 6.13 - Resultados do cálculo

6.2.2.2 - Estudo Luminotécnico com disposição bilateral oposta

➤ Cálculo com o software SONVial

DADOS GERAIS DAS ZONAS DE ESTUDO

Passeio superior

Características	Pontos de luz	Grelha de pontos
Dimensão (Eixo XX) 25,0 m	Disposição: Unilateral	Pontos de cálculo X: 20
Dimensão (Eixo YY) 3,0 m	Interdistância: 25,0 m	Pontos de cálculo Y: 4
Tipo de Pavimento: R1	Distância do apoio à zona: 0,4 m	Distância entre pontos em X: 1,3 m
Coef. Pavimento q0: 0,10		Distância entre pontos em Y: 0,8 m
Posição do Observador (m): (-60,0; 21,0)		

Estrada

Características	Pontos de luz	Grelha de pontos
Dimensão (Eixo XX) 25,0 m	Disposição: Unilateral	Pontos de cálculo X: 20
Dimensão (Eixo YY) 6,0 m	Interdistância: 25,0 m	Pontos de cálculo Y: 10
Tipo de Pavimento: R3	Distância do apoio à zona: 0,4 m	Distância entre pontos em X: 1,3 m
Coef. Pavimento q0: 0,07		Distância entre pontos em Y: 0,6 m
Posição do Observador (m): (-60,0; 16,5)		
Nº de faixas de rodagem 1		

Passeio

Características	Pontos de luz	Grelha de pontos
Dimensão (Eixo XX) 25,0 m	Disposição: Sem pontos	Pontos de cálculo X: 20
Dimensão (Eixo YY) 3,0 m		Pontos de cálculo Y: 2
Tipo de Pavimento: R1		Distância entre pontos em X: 1,3 m
Coef. Pavimento q0: 0,10		Distância entre pontos em Y: 1,5 m
Posição do Observador (m): (-60,0; 12,0)		

Estacionamento

Características	Pontos de luz	Grelha de pontos
Dimensão (Eixo XX) 25,0 m	Disposição: Unilateral	Pontos de cálculo X: 20
Dimensão (Eixo YY) 5,0 m	Interdistância: 25,0 m	Pontos de cálculo Y: 10
Tipo de Pavimento: R1	Distância do apoio à zona: 0,4 m	Distância entre pontos em X: 1,3 m
Coef. Pavimento q0: 0,10		Distância entre pontos em Y: 0,5 m
Posição do Observador (m): (-60,0; 7,8)		

Passeio inferior

Características	Pontos de luz	Grelha de pontos
Dimensão (Eixo XX) 25,0 m	Disposição: Unilateral	Pontos de cálculo X: 20
Dimensão (Eixo YY) 4,0 m	Interdistância: 25,0 m	Pontos de cálculo Y: 4
Tipo de Pavimento: R1	Distância do apoio à zona: 0,4 m	Distância entre pontos em X: 1,3 m
Coef. Pavimento q0: 0,10		Distância entre pontos em Y: 1,0 m
Posição do Observador (m): (-60,0; 4,0)		

Figura 6.14 - Dados utilizados no cálculo

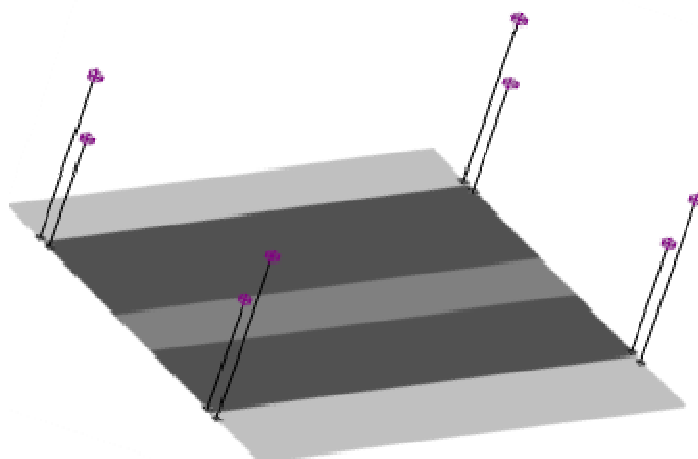


Figura 6.15 - Vista 3D da instalação

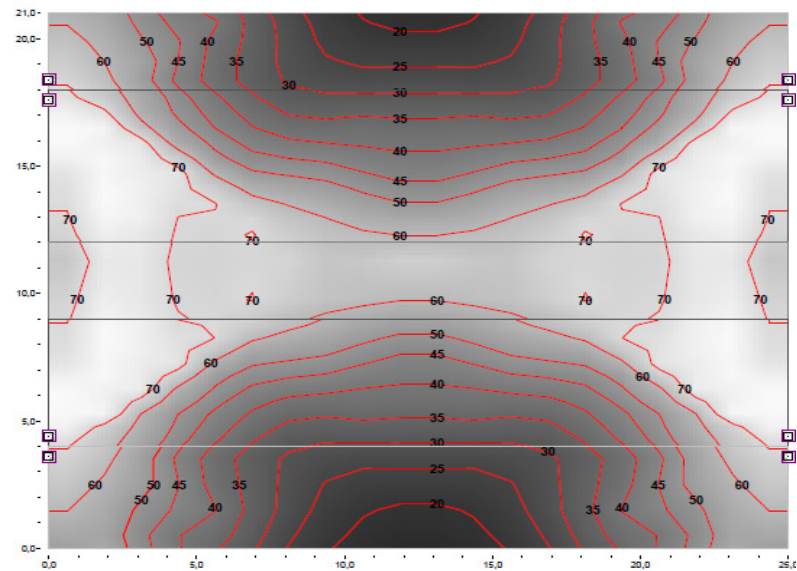


Figura 6.16 - Curvas Isolux (Iluminâncias Horizontais)

Passeio superior	Estrada	Passeio	Estacionamento	Passeio inferior
E _{max} : 68 lux	E _{max} : 80 lux	E _{max} : 76 lux	E _{max} : 80 lux	E _{max} : 68 lux
E _{med} : 39 lux	E _{med} : 57 lux	E _{med} : 68 lux	E _{med} : 55 lux	E _{med} : 38 lux
E _{min} : 19 lux	E _{min} : 31 lux	E _{min} : 60 lux	E _{min} : 31 lux	E _{min} : 18 lux
U _{med} : 0,49	U _{med} : 0,54	U _{med} : 0,89	U _{med} : 0,55	U _{med} : 0,46
U _{ger} : 0,28	U _{ger} : 0,39	U _{ger} : 0,79	U _{ger} : 0,38	U _{ger} : 0,26

Figura 6.17 - Iluminâncias Horizontais

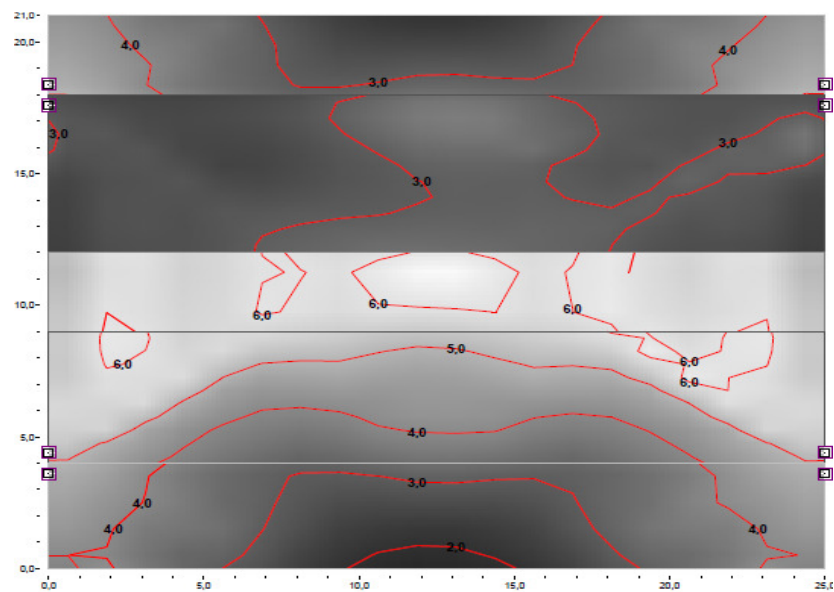


Figura 6.18 - Curvas de Isoluminância [cd/m²]

Passeio superior	Estrada	Passeio	Estacionamento	Passeio inferior
L _{max} : 4,8 cd/m²	L _{max} : 3,7 cd/m²	L _{max} : 6,5 cd/m²	L _{max} : 6,2 cd/m²	L _{max} : 4,8 cd/m²
L _{med} : 3,4 cd/m²	L _{med} : 2,9 cd/m²	L _{med} : 5,9 cd/m²	L _{med} : 4,8 cd/m²	L _{med} : 3,3 cd/m²
L _{min} : 2,1 cd/m²	L _{min} : 2,3 cd/m²	L _{min} : 5,1 cd/m²	L _{min} : 3,2 cd/m²	L _{min} : 1,9 cd/m²
U _{med} : 0,63	U _{med} : 0,79	U _{med} : 0,87	U _{med} : 0,66	U _{med} : 0,58
U _{ger} : 0,45	U _{ger} : 0,62	U _{ger} : 0,78	U _{ger} : 0,52	U _{ger} : 0,40

Figura 6.19 - Valores das luminâncias

➤ **Calculo com o software DIALux**

Perfil da rua

Passeio 1	(Largura: 3.000 m)
Estrada	(Largura: 6.000 m, Quantidade das faixas de rodagem: 1, Pavimento: R3, q0: 0.070)
Passeio2	(Largura: 3.000 m, Altura: 0.000 m)
Estacionamento	(Largura: 5.000 m)
Passeio 3	(Largura: 4.000 m)

Factor de manutenção: 0.70

Distribuições de luminárias

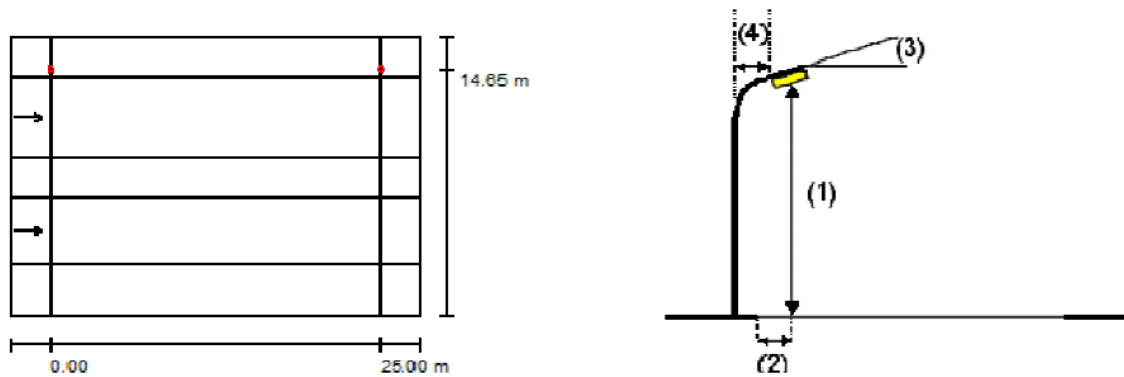


Figura 6.20 - Perfil da Via

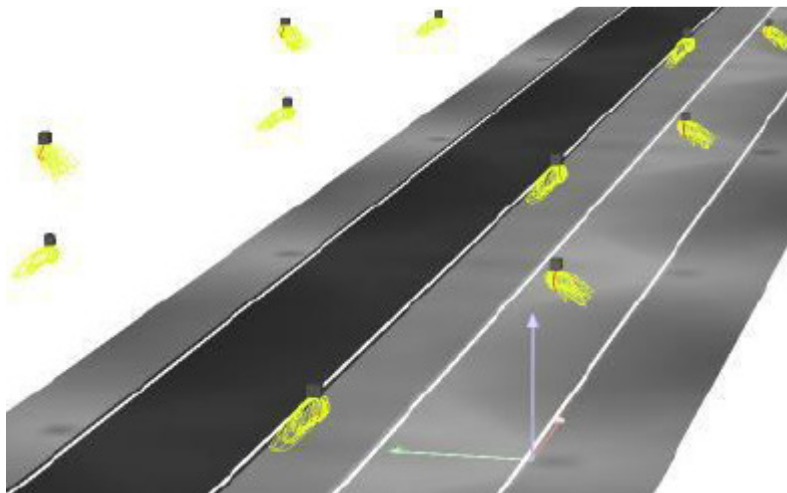


Figura 6.21 - Representação 3D da Via

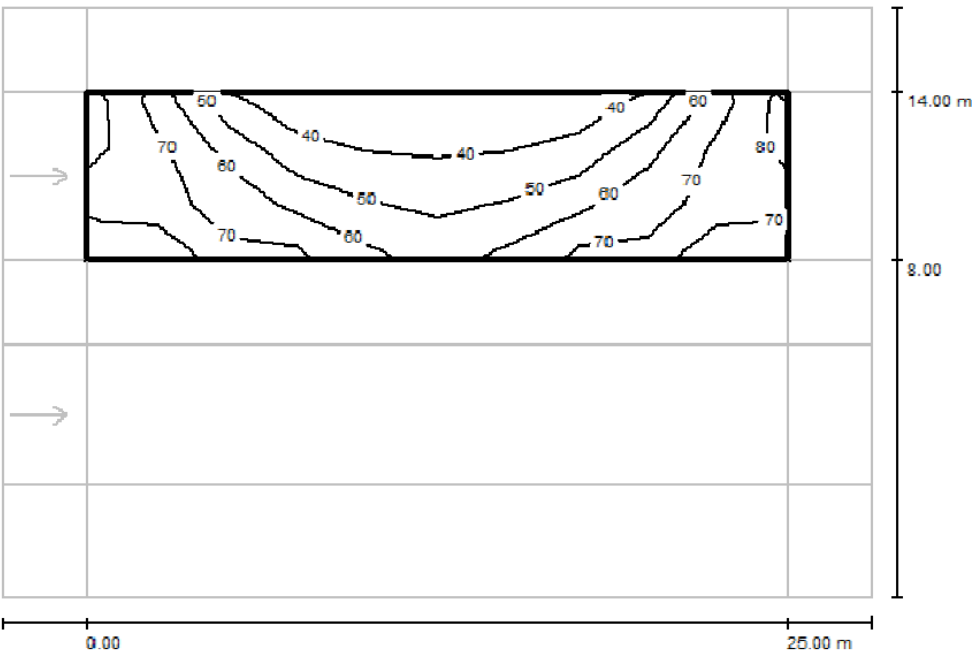


Figura 6.22 - Linhas isográficas da iluminância

$E_m [lx]$	$E_{min} [lx]$	$E_{max} [lx]$	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
57	34	79	0.589	0.425

Figura 6.23 - Valores da iluminância

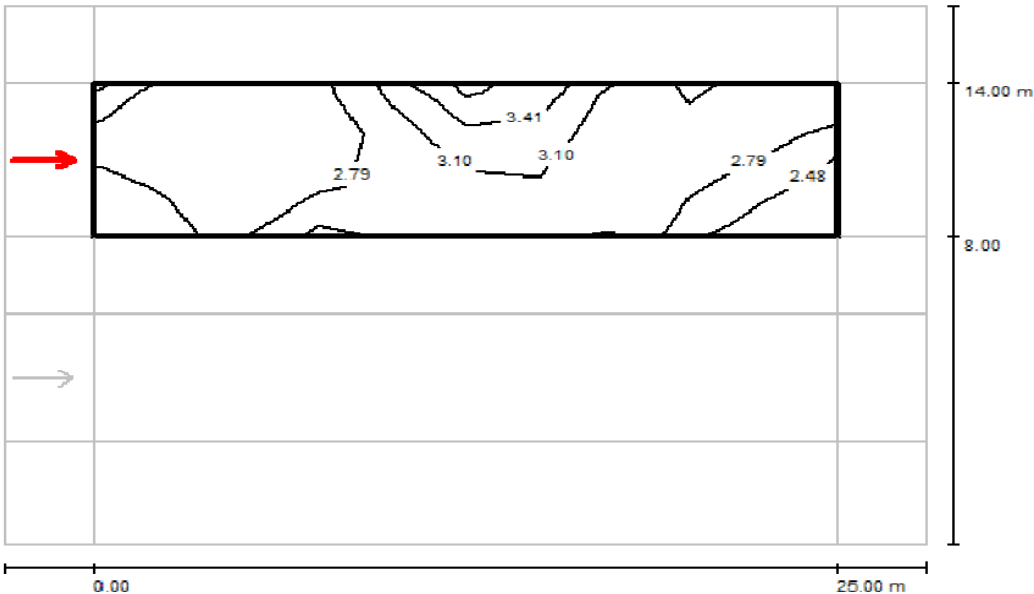


Figura 6.24 - Linhas isográficas da luminância

Valores reais segundo o cálculo:	$L_m [cd/m^2]$	U0	UI	TI [%]	SR
	2.84	0.8	0.7	3	0.9

Figura 6.25 - Resultados globais da instalação

6.2.2.3 - Custo Energético Atual

Para o custo energético da instalação consideraram-se as seguintes premissas:

- Tarifa de energia de IP de 2011, ou seja 0.1027€/KWh;
- T_f - Tempo de funcionamento anual da IP de 4380h;
- Potência = Potencia da lâmpada + Balastro [Anexo A] (6.1)
- Energia = Potência $\times T_f \times$ Quantidade (6.2)
- Taxa de conversão de 0,47 Ton CO₂/MWh

✓ Custo da Iluminação Estrada

Tabela 6.4 - Custo da Iluminação Estrada atual

Quantidade	Luminária	Lâmpada (W)	Potencia (W)	Energia (kWh)	Custo (€)	TonCO2eq
38	Flamingo	250	270	44.939	4.615,21 €	21,16

✓ Custo da Iluminação Passeios

Tabela 6.5 - Custo da Iluminação Passeio atual

Quantidade	Luminária	Lâmpada (W)	Potencia (W)	Energia (kWh)	Custo (€)	TonCO2eq
38	Flamingo	100	116	19.307	1.982,83 €	9,09

✓ Custo total

Tabela 6.6 - Custo Total atual

Energia (kWh)	Custo (€)	TCO2eq
64.246	6.598,05 €	30,2

6.2.3 - Requalificação pelo Documento de Referencia

O primeiro passo é definir cada local como sendo de classe ME (velocidade rápida ou moderada), CE (área de conflito) ou S (espaço público mormente pedonal). Assim temos:

Tabela 6.7 - Definição da classe

Local	Observações	Classe
E1	Avenida Principal	ME

O passo seguinte é determinar o índice associado a cada uma dessas classes do local em questão, ou seja, mediante o conhecimento das suas características, atribuir um peso às respostas das perguntas das tabelas Tabela 5.4, Tabela 5.7 e Tabela 5.10.

Tabela 6.8 - Caracterização de E1

Velocidade		Volume de Tráfego	
Opção	Fator de Peso	Opção	Fator de Peso
Moderada	0	Alto	0,5
Composição do Trânsito		Separação de faixas	
Opção	Fator de Peso	Opção	Fator de Peso
Misturado	0,5	Não	1
Densidade de cruzamentos		Veículos Estacionados	
Opção	Fator de Peso	Opção	Fator de Peso
Alta	1	Presentes	1
Luminância Ambiente		Controlo do Trânsito	
Opção	Fator de Peso	Opção	Fator de Peso
Baixa	-0,5	Fraco	0,5

Somando os pesos e aplicando a fórmula $I_{ME} = 6 - \sum \text{Fator de Peso}$, então, $I_{ME} = 6 - 4 = 2$ caracterizamos a via como sendo de classe ME2.

Na tabela seguinte estão definidas os níveis de luminância que estão definidos para esta classe.

Tabela 6.9 - Caracterização da luminância

Classe	Luminância da superfície da estrada			Glare
	Lavg (cd/m ²)	Uo	UI	TI (%)
ME2	1.5	0.4	0.7	10

6.2.4 - Solução Proposta

Uma vez que se pretende ter uma instalação mais eficiente energeticamente de forma a ter um custo energético inferior mas que cumpra com os níveis de luminância propostos pela classe ME2, vai-se proceder a reformulação da via.

A solução que será utilizada nesta avenida, é a substituição das luminárias da VSAP, por uma única placa de LED por fuste, isto é, vai-se manter toda a estrutura atual, substituindo só a parte a elétrica da luminária equipada para VSAP por uma placa de LED, removendo também a luminária que ilumina o passeio.

No cálculo dos parâmetros de iluminação de qualquer projeto de IP é necessário incluir um fator de manutenção, que tenha em conta a degradação das condições iniciais do sistema ao longo do tempo. Através do cálculo do fator de manutenção, e tendo em conta a calendarização da manutenção proposta, é possível prever a variação dos níveis de iluminação/luminância ao longo do tempo. O fator de manutenção é determinado através dos seguintes passos:

- Obter o LLMF (consultar Tabela 5.18).
- Obter o LSF (consultar Tabela 5.19).
- Analisar as luminárias escolhidas quanto ao índice de proteção, categoria da poluição ambiente e intervalo de limpeza, obtendo o LMF (consultar Tabela 5.20).

Calcular o fator de manutenção como o produto destes fatores:

$$FM = LLMF \times LSF \times LMF$$

$$FM = 0.95 \times 0.95 \times 0.95 = 0.85 \approx 0.90 \quad (6.3)$$

Tendo já definido a classe e o fator de manutenção da via apresenta-se de seguida os elementos necessários para a realização do estudo luminotécnico. Como o caso em estudo se trata de uma instalação recente será usado a mesma tipologia, isto não alterando a sua estrutura, com a diferença de se utilizar a placa LED e removendo a luminária de passeio.

Tabela 6.10 - Característica da Luminária

Características da Luminárias		
Empresa	Soneres+Exporlux	
Luminária	Flamengo9	
Altura da Luminária em relação a via	9 Metros	
Nº de fustes	38	
Nº de Luminárias	38	
Distância entre Luminárias	25 Metros	
Índice de Proteção	IP 66 (bloco ótico) IP54 (compartimento elétrico)	

Tabela 6.11 - Característica da Lâmpada

Característica da Lâmpada		
Local de Aplicação da Lâmpada	Tipo de Lâmpada	Potência
Estrada	LedBox	104W

Na figura seguinte pode-se observar a placa led que será utilizada no estudo em detrimento da lâmpada vapor de sódio de alta pressão. No [anexo B] estão descritas as características deste equipamento.



Figura 6.26 - LEDBox 120[37]

Uma vez que a placa de LED que será utilizada para o estudo é de uma marca que não dispõe de software para o cálculo luminotécnico, será utilizado para o estudo o software DIALux com as matrizes cedidas pela empresa Exporlux.

O estudo será realizado de forma idêntica ao realizado anteriormente, com a separação dos cenários, unilateral e bilateral oposta.

6.2.4.1 - Estudo Luminotécnico com Disposição Unilateral

Perfil da rua

Passeio 2 (Largura: 3.000 m)
 Pista de rodagem 1 (Largura: 6.000 m, Quantidade das faixas de rodagem: 1, Pavimento: R3, q0: 0.070)
 Passeio 1 (Largura: 5.000 m)

Factor de manutenção: 0.90

Distribuições de luminárias

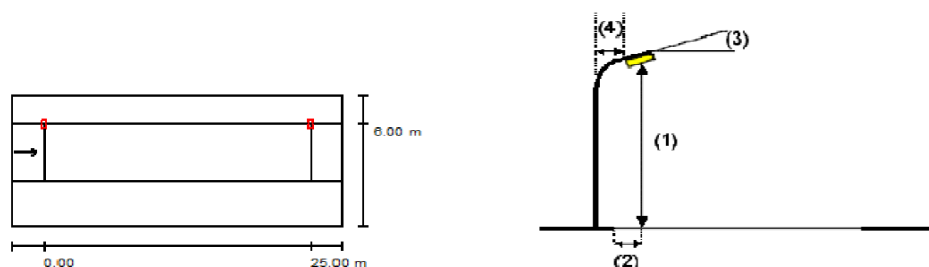


Figura 6.27 - Perfil da Via com disposição unilateral

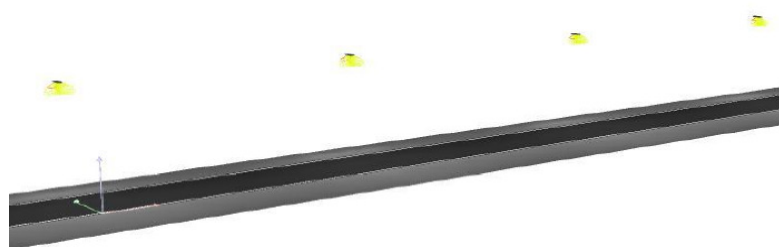


Figura 6.28 - Representação 3D

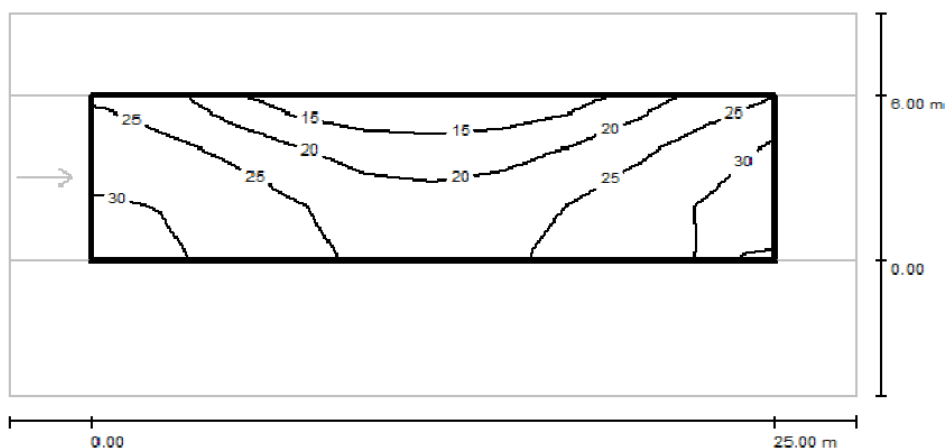


Figura 6.29 - Linhas isográficas da iluminância

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
24	13	32	0.552	0.410

Figura 6.30 - Valores da iluminância na estrada

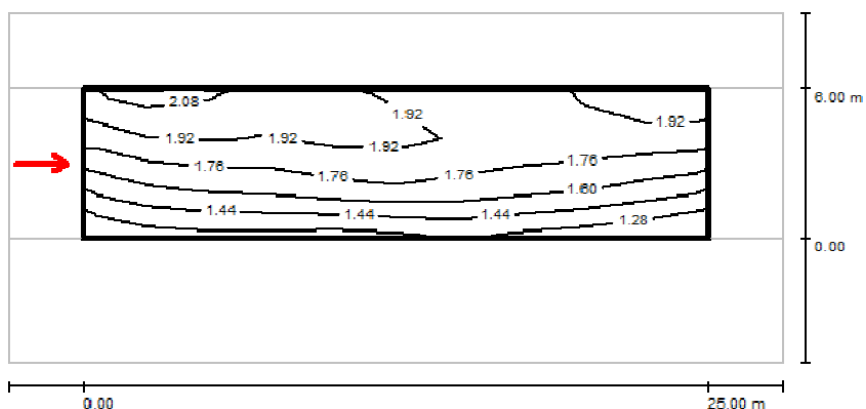


Figura 6.31 - Linhas isográficas da luminância na estrada

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]
Valores reais segundo o cálculo:	1.7	0.7	0.8	9
Valores nominais segundo a classe ME2:	≥ 1.5	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 10
Cumprido/não cumprido:	✓	✓	✓	✓

Figura 6.32 - Resultados globais da instalação com disposição unilateral

6.2.4.2 - Estudo Luminotécnico com Disposição Bilateral Oposta

Perfil da rua

Passeio 1	(Largura: 3.000 m)
Estrada	(Largura: 6.000 m, Quantidade das faixas de rodagem: 1, Pavimento: R3, q0: 0.070)
Passeio2	(Largura: 3.000 m, Altura: 0.000 m)
Estacionamento	(Largura: 5.000 m)
Passeio 3	(Largura: 4.000 m)

Factor de manutenção: 0.90

Distribuições de luminárias

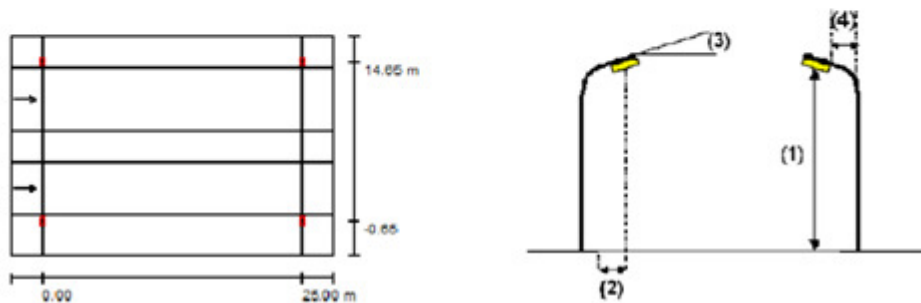


Figura 6.33 - Perfil da Via com disposição bilateral oposta

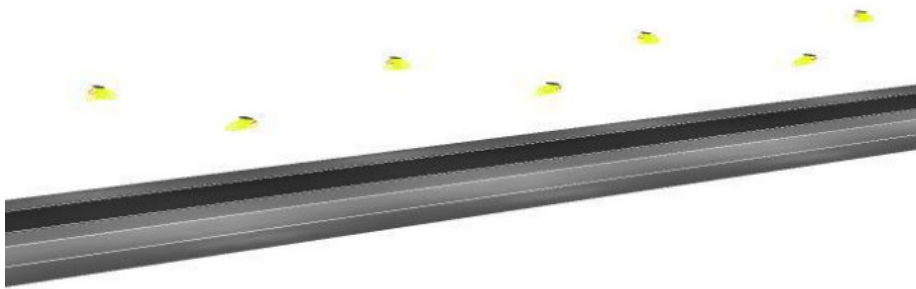


Figura 6.34 - Representação 3D

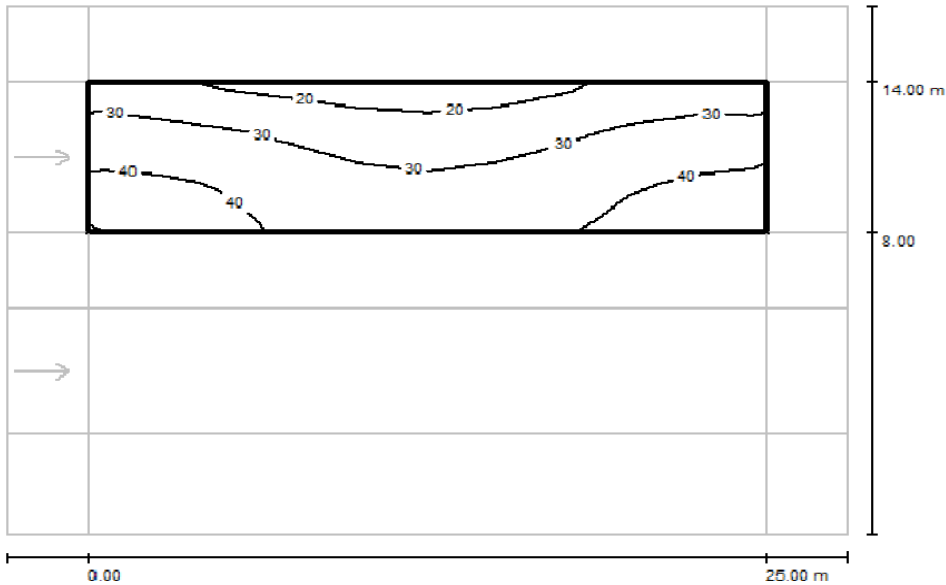


Figura 6.35 - Linhas isográficas da iluminância

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
33	19	46	0.577	0.409

Figura 6.36 - Valores da iluminância

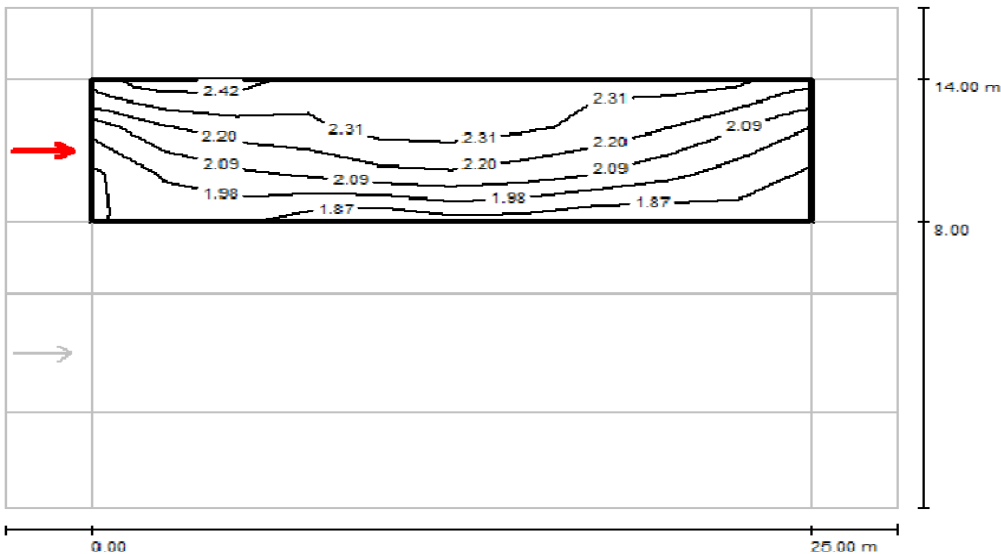


Figura 6.37 - Linhas isográficas da luminância

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]
Valores reais segundo o cálculo:	2.1	0.9	0.8	10
Valores nominais segundo a classe ME2:	≥ 1.5	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 10
Cumprido/não cumprido:	✓	✓	✓	✓

Figura 6.38 - Resultados globais da instalação com disposição bilateral oposta

6.2.4.3 - Custo Energético para cenário proposto

Para o custo energético da instalação consideraram-se as seguintes premissas:

- Tarifa de energia de IP de 2011, ou seja 0.1027€/KWh;
- T_f - Tempo de funcionamento anual da IP de 4380h;
- Potência = Potencia da lâmpada + Balastro [Anexo B] (6.4)
- Energia = Potência × T_f × Quantidade (6.5)
- Taxa de conversão de 0,47 Ton CO₂/MWh

Tabela 6.12 - Custo energético para solução proposta

Quantidade	Luminária	Lâmpada (W)	Potencia (W)	Energia (kWh)	Custo (€)	TonCO2eq
38	Flamingo c/ LEDBox 120	104	115	19.141	1.965,74 €	9,01

6.3 - Análise de Resultados Cenário 1

6.3.1 - Classificação Energética

$$\epsilon = S \text{ (m}^2\text{)} \times E(\text{lux})/P(\text{watts}) \quad (6.6)$$

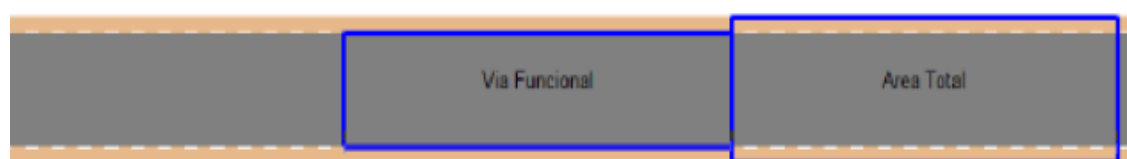


Figura 6.39 - Cálculo da área para o índice de eficiência energética

S - Área total resultante do produto do valor da interdistância entre pontos de luz e largura total da via e passeios, no caso do perímetro urbano, de fachada a fachada.

E - Iluminância porque sem tipo de piso difícil a luminância

P - Potência total das luminárias mais auxiliares

Tabela 6.13 - Valores para o cálculo da interdistância

	Disposição Unilateral	Disposição Bilateral
Distância entre pontos de luz	25 Metros	25 Metros
Largura da via	14 Metros	21 Metros

Tabela 6.14 - Classificação Energética

	Cenário Atual		Cenário Proposto	
	D. Unilateral	D. Bilateral Oposta	D. Unilateral	D. Bilateral Oposta
E_{med} Total	45 lux	57 lux	24 lux	33 lux
Potência	386 W	772 W	115W	230W
Índice de Eficiência Energética	$\frac{(14 \times 25) \times 45}{386}$ $\varepsilon = 40.8$	$\frac{(21 \times 25) \times 57}{104}$ $\varepsilon = 38.7$	$\frac{(14 \times 25) \times 24}{115}$ $\varepsilon = 73,04$	$\frac{(21 \times 25) \times 33}{104}$ $\varepsilon = 75.32$
Classificação Energética	A	B	A	A

Como se pode observar com a modificação conseguiu-se melhorar o índice de eficiência energética da instalação, como consequência obteve-se uma melhor classificação energética. Além de o cálculo de eficiência energética mostrar que a instalação no seu estado atual tem valores elevados, isto deve-se ao fato de a instalação estar sobredimensionada.

6.3.2 - Resultados Luminotécnicos

Tabela 6.15 - Valores das luminâncias e iluminâncias obtidos nos softwares

	Cenário Existente				Cenário proposto	
	Disposição Unilateral		Disposição Bilateral Oposta		Disposição Unilateral	Disposição Bilateral Oposta
Programa	SONvial	DIALux	SONvial	DIALux	DIALux	DIALux
Iluminância média (lux)	45	47	57	57	24	33
Luminância média (cd/m^2)	2.3	2.38	2.9	2.84	1.7	2.1

Numa primeira análise pode-se verificar que no cenário existente não há grande discrepância entre os valores obtidos entre os softwares. Numa segunda análise considerando e comparando os valores obtidos pelo software DIALux, na disposição unilateral conseguiu-se uma redução do valor da luminância média de 0.68 cd/m² e da iluminância média 23 lux, já com a disposição bilateral oposta redução foi de 0.74 cd/m² e 24 lux, valores da luminância e iluminância respetivamente.

Tabela 6.16 - Valores das luminâncias e uniformidades obtidas no DIALux

Classe	Luminância da superfície da estrada			Glare
	Lavg (cd/m ²)	Uo	UI	TI (%)
ME2	≥1.5	≥0.4	≥0.7	≤10
Disposição Unilateral	1.7	0.7	0.8	9
Disposição Bilateral Oposta	2.1	0.9	0.8	10

Na tabela 6.16 estão representados os valores obtidos na simulação no software DIALux, pode-se verificar que com a reformulação proposta os resultados obtidos cumprem com os valores pretendidos pela classe ME2. De salientar que os valores podiam ser mais otimizados caso se tratasse de uma nova instalação, mas uma vez que se trata de uma reformulação os valores obtidos são considerados aceitáveis.

6.3.3 - Balanços Energético e Económicos

Tabela 6.17 - Custo energético para solução proposta

Quantidade	Luminária	Lâmpada (W)	Potencia (W)	Energia (kWh)	Custo (€)	TonCO2eq
38	Flamingo 96 250W/100W	250+100	386	64.246	6.598,04€	30,244
38	LEDBox 120	104	115	19.141	1.965,74 €	9,01
Diferença				45.105	4.632,31 €	21,23

Para este cenário de estudo foi proposto a substituição das lâmpadas VSAP por uma placa LED e como é perceptível as diferenças são bastante consideráveis com uma redução consumo em 45.105kW, que representa no custo energético uma redução de 4.632,31€ e não menos importante é a redução das emissões de CO₂ tal como é também objetivo desta reformulação com a alteração consegue-se reduzir 21.23 Ton de CO₂.

Nas tabelas seguintes serão apresentados os resultados das diferenças obtidas com a proposta de reformulação para a via.

Tabela 6.18 - Diferença de consumo por luminária

Solução	Consumo [KW]	Diferença de Consumo [KW]
Flamingo 96 250W/100W	0.386	0.271
LEDBox 120	0.115	

Tabela 6.19 - Custo energético para solução proposta

Solução	Quantidade	Redução de consumo [KWh]	Redução da Emissão CO2 anual [ton]	Redução de consumo total [KWh]	Redução da Emissão CO2 [ton]
Flamingo 96 250W/100W	38	1.186,98	0,56	45.105,24	21,23
LEDBox 120	38				

Na secção 6.6 será realizada uma análise económica da alteração proposta com os indicadores económicos VAL, TIR e PRI.

6.4 - Zona Rural

6.4.1 - Descrição local de estudo

Este cenário de estudo é um parque industrial situado numa zona rural concelho de Paredes, tal como o caso de estudo anterior. Este local foi selecionado para este estudo por se tratar uma zona com pouca afluência de tráfego, devido ao fato de ser um circuito fechado, e de ter na sua composição uma rotunda que é considerada uma zona conflito.

O parque industrial é constituído por 7 ruas, em que as luminárias estão na faixa central com disposição bilateral.

Assim como se sucedeu no caso anterior, para este local de estudo será realizado numa primeira fase o estudo da situação existente e depois a realização de uma proposta de requalificação da via mantendo sempre sua tipologia.

Na figura seguinte pode-se observar o local de estudo.



Figura 6.40 - Descrição do local[31]

6.4.2 - Estudo da Situação Atual

Para a realização do cálculo foi necessário efetuar um levantamento do local e recolher os dados relativos ao perfil da via e material existente.

De seguida serão apresentados os dados relativos necessários para a elaboração do estudo.

Tabela 6.20 - Descrição da via

Estrada	4,5 Metros
Estacionamento	5 Metros
Estrada	4,5 Metros
Passeio	2,5 Metros

Tabela 6.21 - Descrição dos arruamentos e da rotunda

Rua	Comprimento	Nº de Luminárias
Rua A	150 Metros	10
Rua B	200 Metros	12
Rua C	210 Metros	14
Rua D	400 Metros	28
Rua E	220 Metros	18
Rua F	400 Metros	26
Rua H	100 Metros	8
Rotunda		8

Tabela 6.22 - Característica da luminária e sua disposição

Empresa	Schreder	
Luminária	ONYX2	
Altura da Luminária em relação a via	10 Metros	
Comprimento do Braço	1,20m	
Inclinação do braço	7°	
Nº de fustes	62	
Nº de Luminárias	124	
Distância entre Luminárias	28 Metros	
Disposição	Central Bilaterais	
Índice de Proteção	IP 66 (bloco ótico) IP44 (compartimento elétrico)	

Tabela 6.23 - Característica da lâmpada

Local de Aplicação da Lâmpada	Tipo de Lâmpada	Potência
Estrada	VSAP	250W

Como este parque industrial é constituído pelos arruamentos e pela rotunda, os cálculos luminotécnicos serão efetuados separadamente.

Tal como no caso anterior também para este estudo utilizou-se dois softwares o Ulysse e o DIALux contundo para o cálculo da rotunda só foi utilizado o programa Ulysse.

6.4.2.1 - Estudo Luminotécnico dos Arruamentos

Tendo todas as ruas a mesma disposição será efetuado um único estudo global.

➤ Cálculo com o software Ulysse

Detalhes da estrada

Organização:  Condução:  Calçada: 

Nº de faixas: Largura da faixa: m Largura da: m Reserva central: m

Tabela R: Qo:

Detalhes das luminárias

Espaçamento: m Altura: m Avanço: m Recuo: m

Inclinação: °

Tipo: Protector: 932346

Reflector: Regulação:

Lâmpada: Potência: W Fluxo: klm FM:

Figura 6.41 - Dados utilizados no cálculo

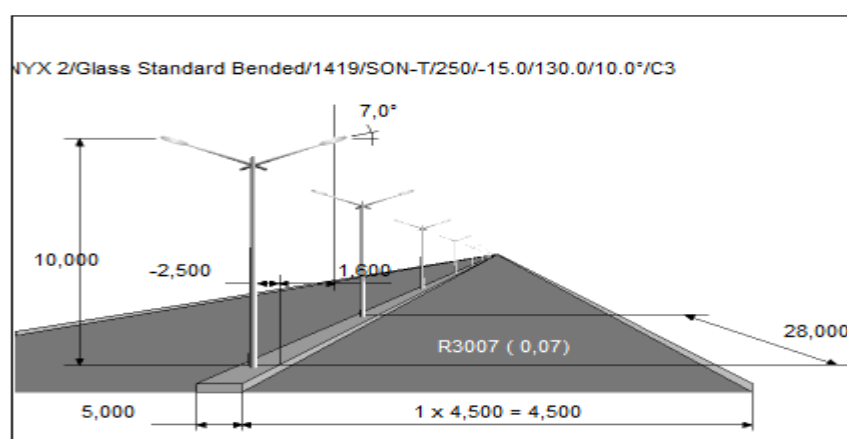


Figura 6.42 - Representação 3D da via

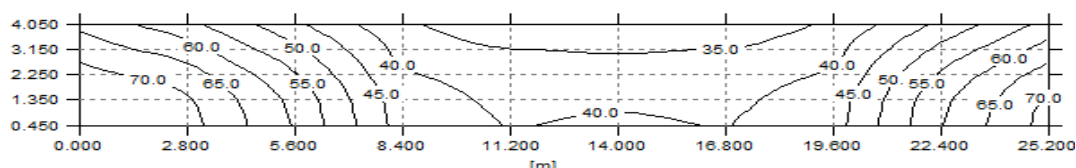


Figura 6.43 - Linhas isográficas da iluminância

Malha Principal (1): Iluminância [lux]

Min : 31,7 lux Méd : 50,0 lux Máx : 74,9 lux Uo : 63,5 % Ug : 42,4 %

Figura 6.44 - Valores da iluminância

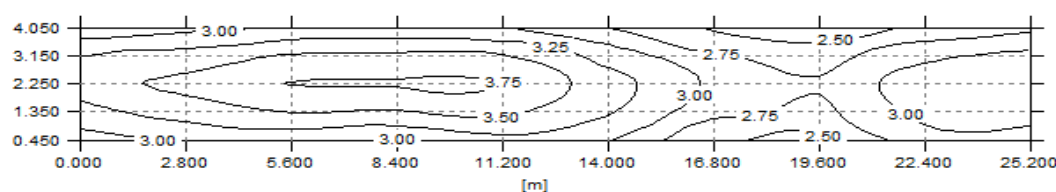


Figura 6.45 - Linhas isográficas da luminância

Malha Principal (1): Luminância (<- 60,000; 1,125; 1,500) [cd/m²]

Min : 2,34 cd/m² Méd : 3,08 cd/m² Máx : 3,78 cd/m² Uo : 75,8 % Ug : 61,8 %

Figura 6.46 - Valores da luminância

➤ Cálculo com o software DIALux

Perfil da rua

Pista de rodagem 2 (Largura: 4.500 m, Quantidade das faixas de rodagem: 1, Pavimento: R3, q0: 0.070)
 Faixa central 1 (Largura: 5.000 m, Altura: 0.000 m)
 Pista de rodagem 1 (Largura: 4.500 m, Quantidade das faixas de rodagem: 1, Pavimento: R3, q0: 0.070)
 Passeio 1 (Largura: 2.500 m)

Factor de manutenção: 0.70

Distribuições de luminárias

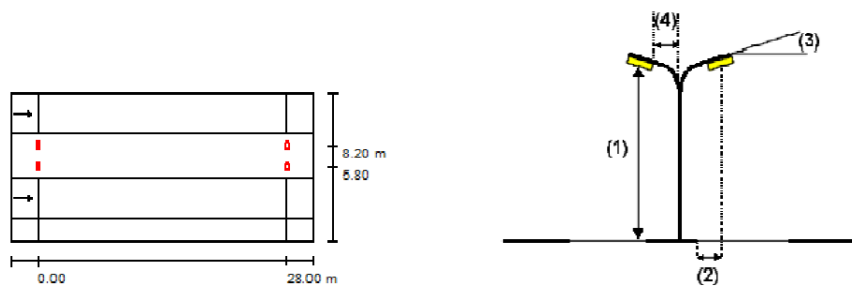


Figura 6.47 - Perfil da Via



Figura 6.48 - Representação 3D da via

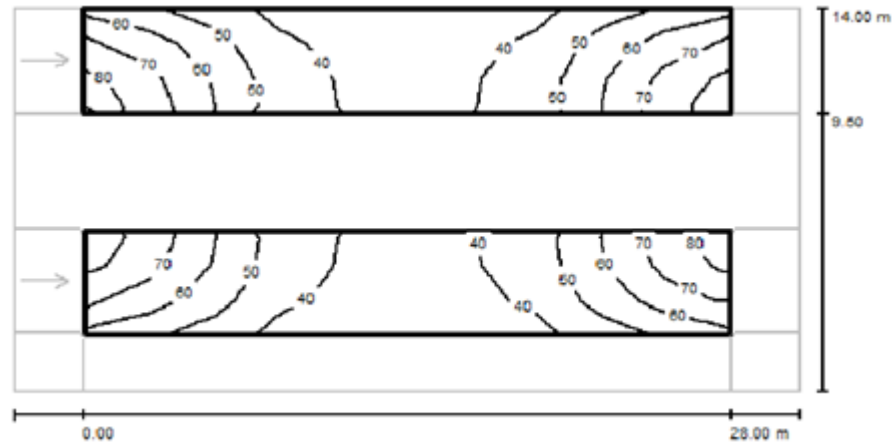


Figura 6.49 - Linhas isográficas da iluminância

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
52	35	80	0.678	0.439

Figura 6.50 - Valores da iluminância

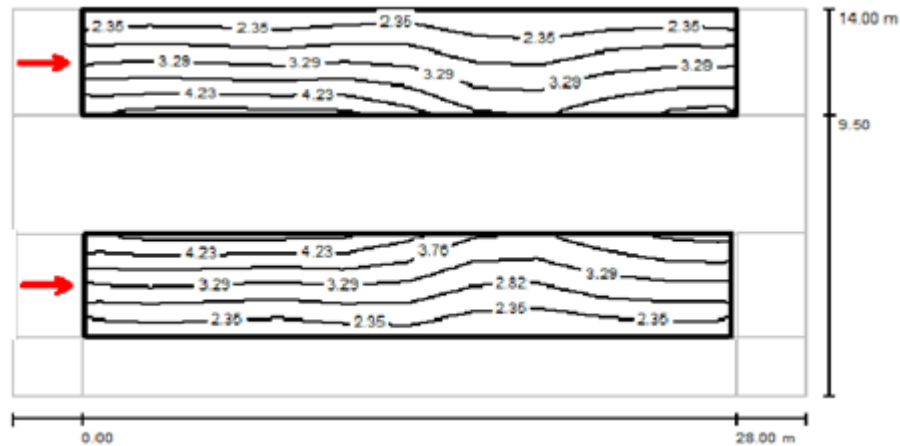


Figura 6.51 - Linhas isográficas da luminância

	L_m [cd/m²]	U0	UI	TI [%]
Valores reais segundo o cálculo:	3.15	0.6	0.8	7

Figura 6.52 - Resultados globais da instalação

6.4.2.2 - Estudo Luminotécnico da Rotunda

Para a realização deste estudo foi necessário recorrer ao AutoCAD, de forma a obter o desenho da rotunda, para ser possível importar o ficheiro do AutoCAD para o programa Ulysse.

Sendo a rotunda considerada uma zona de conflito, classe CE para o cálculo só é necessário obter os valores das iluminâncias.

Na figura seguinte pode-se observar o desenho efetuado no AutoCAD.

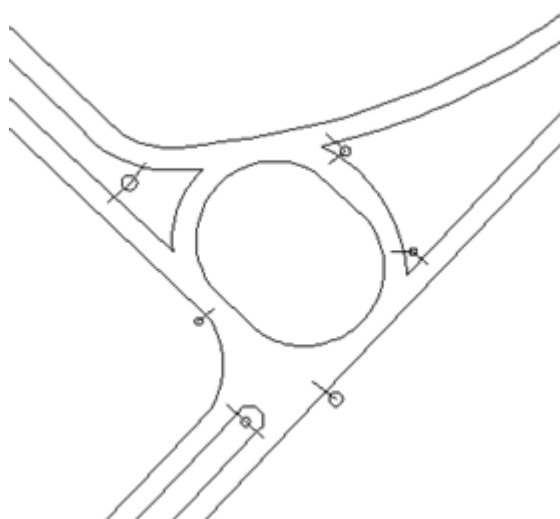


Figura 6.53 - Desenho CAD da rotunda

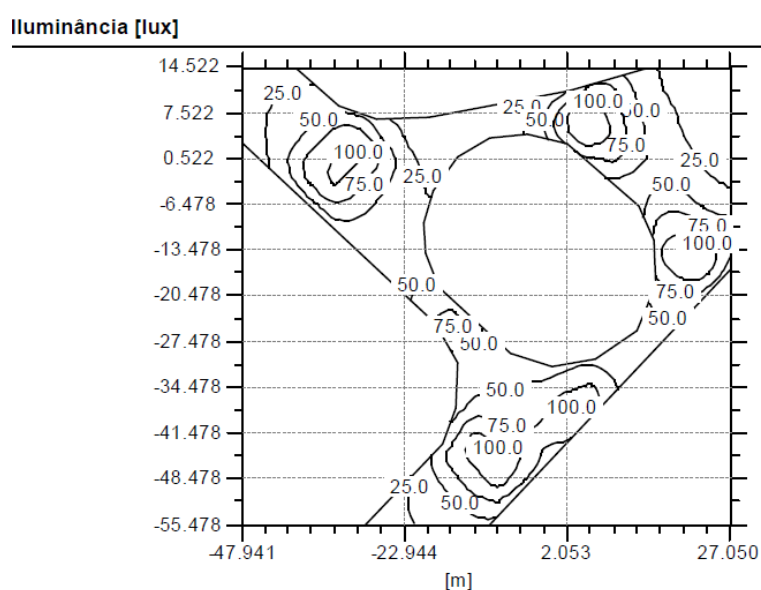


Figura 6.54 - Linhas isográficas da iluminação

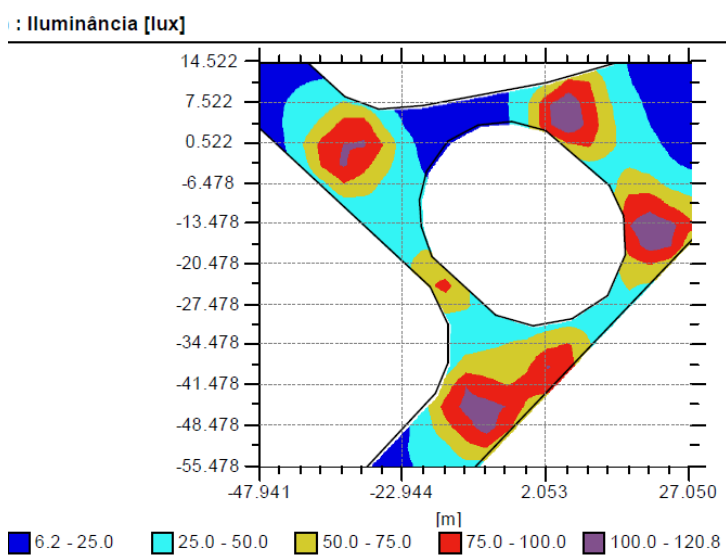


Figura 6.55 - Linhas isográficas da iluminação

250W (1)

Malha (1) : Iluminância [lux]

Min : 6,2 lux Méd (A) 51,4 lux Máx : 120,8 lux Uo : 12,1 % Ug : 5,2 %

Figura 6.56 - Valores da iluminância

6.4.2.3 - Custo Energético Atual

Para o custo energético da instalação consideraram-se as seguintes premissas:

- Tarifa de energia de IP de 2011, ou seja 0.1027€/KWh;
- T_f - Tempo de funcionamento anual da IP de 4380h;
- Potência = Potencia da lâmpada + Balastro [Anexo A] (6.7)
- Energia = Potência $\times T_f \times$ Quantidade (6.8)
- Taxa de conversão de 0,47 Ton CO₂/MWh

Tabela 6.24 - Custo energético da solução atual

Quantidade	Luminária	Lâmpada (W)	Potencia (W)	Energia (kWh)	Custo (€)	TCO2eq
124	Onyx2	250	270	146642,4	15060,17 €	69,03

6.4.3 - Requalificação pelo Documento de Referencia

Tal como sucedeu no primeiro caso, o primeiro passo é definir cada o local como sendo de classe ME (velocidade rápida ou moderada), CE (área de conflito) ou S (espaço público mormente pedonal). Assim temos:

Tabela 6.25 - Definição da classe

Local	Observações	Classe
E1	Estrada de acesso	ME
E2	Estradas da Urbanização	ME
R1	Rotunda de Ligação as estradas da urbanização	CE

O passo seguinte é determinar o índice associado a cada uma dessas classes do local em questão, ou seja, mediante o conhecimento das suas características, atribuir um peso às respostas das perguntas das tabelas Tabela 5.4, Tabela 5.7 e Tabela 5.10.

Tabela 6.26 - Caracterização de E1 e E2

Velocidade		Volume de Tráfego	
Opção	Fator de Peso	Opção	Fator de Peso
Moderada	0	Baixo	-0,5
Composição do Trânsito		Separação de faixas	
Opção	Fator de Peso	Opção	Fator de Peso
Misturado	0,5	Sim	0
Densidade de cruzamentos		Veículos Estacionados	
Opção	Fator de Peso	Opção	Fator de Peso
Alta	1	Presentes	1
Luminância Ambiente		Controlo do Trânsito	
Opção	Fator de Peso	Opção	Fator de Peso
Moderada	0	Fraco	0,5

Somando os pesos e aplicando a fórmula $I_{ME} = 6 - \sum \text{Fator de Peso}$, então, $I_{ME} = 6 - 2,5 = 3,5$ caracterizamos a via como sendo de classe ME3a.

Tabela 6.27 - Caracterização da luminância

Classe	Luminância da superfície da estrada			Glare
	Lavg (cd/m ²)	Uo	UI	TI (%)
ME3a	1	0.4	0.7	15

Tabela 6.28 - Caracterização de R1

Velocidade		Volume de Tráfego	
Opção	Fator de Peso	Opção	Fator de Peso
Moderada	1	Baixo	- 0,5
Composição do Trânsito		Separação de faixas	
Opção	Fator de Peso	Opção	Fator de Peso
Misturado	0,5	Não	1
Luminância Ambiente		Controlo do Trânsito	
Opção	Fator de Peso	Opção	Fator de Peso
Moderada	0	Fraco	0,5

Somando os pesos e aplicando a fórmula $I_{CE} = 6 - \sum \text{Fator de Peso}$, então, $I_{CE} = 6 - 2 = 4$ caracterizamos a via como sendo de classe CE3.

Tabela 6.29 - Caracterização da iluminância

Classe	Iluminância Horizontal	
	Eavg (lux)	Uo
CE3	15	0.4

6.4.4 - Solução Proposta

De forma a obter uma instalação mais eficiente energeticamente e ter um custo energético inferior mas que cumpra com os níveis de luminância propostos pela classe ME3a e iluminâncias da classe CE3, vai-se proceder à reformulação da via.

Para este caso de estudo depois de várias simulações, a melhor solução encontrada é a substituição das lâmpadas VSAP de 250W por lâmpadas VSAP de 100W, essa alteração implica modificar a parte elétrica da luminária neste caso o balastro ferromagnético que será substituído por um balastro eletrónico com protocolo DALI que possibilita a ligação futura a um sistema de telegestão tendo este um menor consumo.

Na figura seguinte apresenta-se o balastro eletrónico proposto para este caso de estudo.



Figura 6.57 - Balastro eletrónico Philips [36]

Para a realização do cálculo luminotécnico é necessário incluir um fator de manutenção, tendo em conta a degradação das condições iniciais do sistema ao longo do tempo.

O fator de manutenção é determinado através dos seguintes passos:

- Obter o LLMF (consultar Tabela 5.18).
- Obter o LSF (consultar Tabela 5.19).
- Analisar as luminárias escolhidas quanto ao índice de proteção, categoria da poluição ambiente e intervalo de limpeza, obtendo o LMF (consultar Tabela 5.20).

Calcular o fator de manutenção como o produto destes fatores:

$$FM = LLMF \times LSF \times LMF$$

$$FM = 0.90 \times 0.89 \times 0.88 = 0.7 \quad (6.9)$$

O que se sugere é uma alteração na potência, mantendo-se assim a estrutura atual, para o cálculo serão utilizadas as tabelas 6.19 e 6.21.

6.4.4.1 - Estudo luminotécnico do Arruamento

- Cálculo com o software Ulysses

Detalhes da estrada

Organização :		Condução :		Calçada :			
Nº de faixas :	1	Largura da faixa :	4,500 m	Largura da	4,500 m	Reserva central :	5,000 m
Tabela R :	R3007	Qo :	0,070				

Detalhes das luminárias

Espaçamento :	28,000 m	Altura :	10,000 m	Avanço :	1,600 m	Recuo :	-2,500 m
Inclinação :	7,0 °						
Tipo :	ONYX 2	Protector :	Glass Standard Bended				932333
Reflector :	1419	Regulação :	-25.0/135.0/10.0°/A6				
Lâmpada :	SON-T	Potência :	100 W	Fluxo :	10,7 klm	FM :	0,70

Figura 6.58 - Dados utilizados no cálculo

LYX 2/Glass Standard Bended/1419/SON-T/100/-25.0/135.0/10.0°/A6

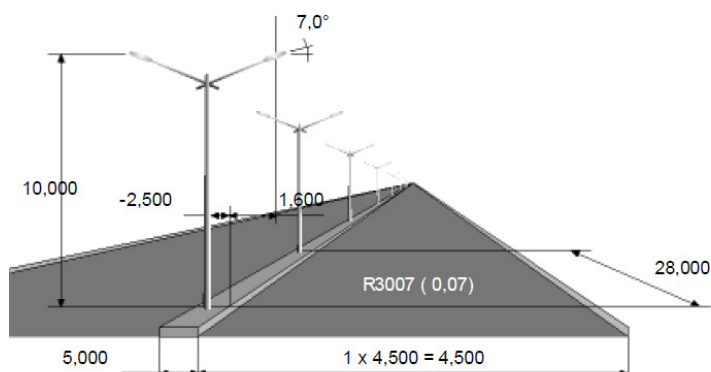


Figura 6.59 - Representação 3D da via

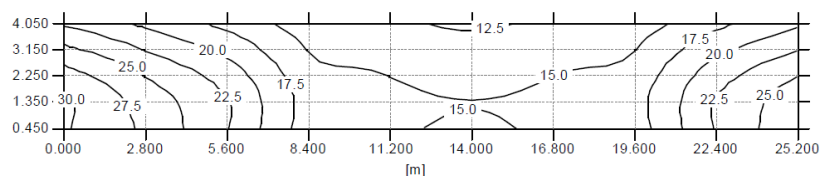


Figura 6.60 - Linhas isográficas da iluminância

Malha Principal (1) : Iluminância [lux]

Min :	12,1 lux	Méd :	19,0 lux	Máx :	30,5 lux	Uo :	63,7 %	Ug :	39,8 %
-------	----------	-------	----------	-------	----------	------	--------	------	--------

Figura 6.61 - Valores da iluminância

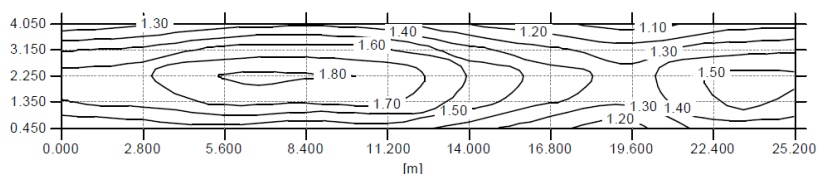


Figura 6.62 - Linhas isográficas da luminância

Malha Principal (1) : Luminância (<- -60,000; 1,125; 1,500) [cd/m²]

Min :	1,06 cd/m²	Méd :	1,45 cd/m²	Máx :	1,81 cd/m²	Uo :	73,1 %	Ug :	58,3 %
-------	------------	-------	------------	-------	------------	------	--------	------	--------

Figura 6.63 - Valores da luminância

➤ Cálculo com o software DIALux

Perfil da rua

Pista de rodagem 2 (Largura: 4.500 m, Quantidade das faixas de rodagem: 1, Pavimento: R3, q0: 0.070)
Faixa central 1 (Largura: 5.000 m, Altura: 0.000 m)
Pista de rodagem 1 (Largura: 4.500 m, Quantidade das faixas de rodagem: 1, Pavimento: R3, q0: 0.070)
Passeio 1 (Largura: 2.500 m)

Factor de manutenção: 0.70

Distribuições de luminárias

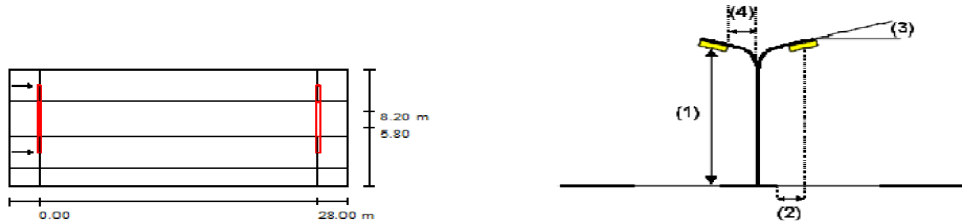


Figura 6.64 - Perfil da via



Figura 6.65 - Representação 3D da via

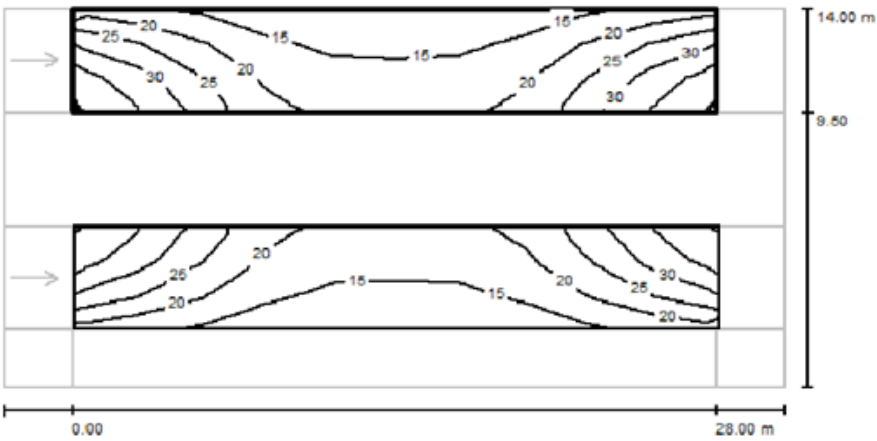


Figura 6.66 - Linhas isográficas da iluminação

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
21	12	37	0.579	0.335

Figura 6.67 - Valores da iluminação

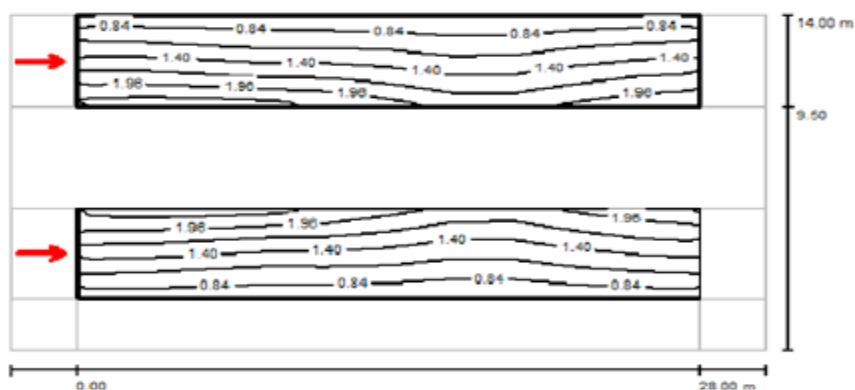


Figura 6.68 - Linhas isográficas da luminância

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	Tl [%]
Valores reais segundo o cálculo:	1.37	0.5	0.8	7
Valores nominais segundo a classe ME3a:	≥ 1.0	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 15
Cumprido/não cumprido:	✓	✓	✓	✓

Figura 6.69 - Resultados globais da instalação

6.4.4.2 - Estudo Luminotécnico da Rotunda

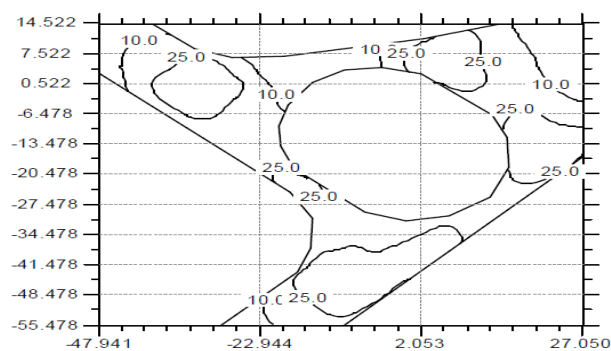


Figura 6.70 - Linhas isográficas da iluminância

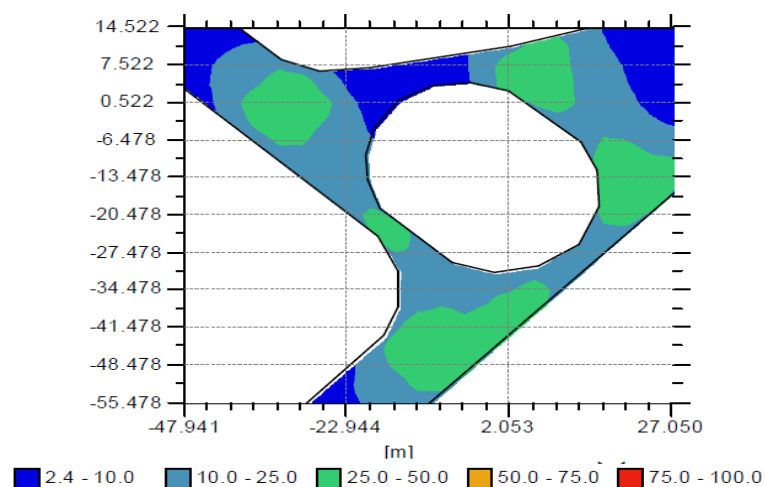


Figura 6.71 - Linhas isográficas da iluminância

100W (2)**Malha (1) : Iluminância [lux]**

Min : 2,4 lux Méd (A) : 20,5 lux Máx : 49,3 lux Uo : 11,7 % Ug : 4,9 %

Figura 6.72 - Valores da iluminância**6.4.4.3 - Custo Energético para cenário proposto**

Para o custo energético da instalação consideraram-se as seguintes premissas:

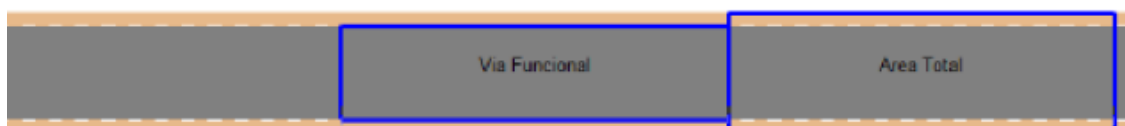
- Tarifa de energia de IP de 2011, ou seja 0.1027€/KWh;
- T_f - Tempo de funcionamento anual da IP de 4380h;
- Potência = Potencia da lâmpada + Balastro [Anexo C] (6.10)
- Energia = Potência $\times T_f \times$ Quantidade (6.11)
- Taxa de conversão de 0,47 Ton CO₂/MWh

Tabela 6.30 - Custo energético para solução proposta

Quantidade	Luminária	Lâmpada (W)	Potencia (W)	Energia (kWh)	Custo (€)	TonCO2eq
124	Onyx2	100	112	60.829,44	6.247,18	28,63604

6.5 - Análise de resultados Cenário 2**6.5.1 - Classificação Energética**

$$E = S \text{ (m}^2\text{)} \times E(\text{lux}) / P(\text{watts}) \quad (6.12)$$

**Figura 6.73 - Cálculo da área para o índice de eficiência energética**

S - Área total resultante do produto do valor da interdistância entre pontos de luz e largura total da via e passeios, no caso do perímetro urbano, de fachada a fachada.

E - Iluminância porque sem tipo de piso difícil a luminância

P - Potência total das luminárias mais auxiliares

Distância entre luminárias - 28 Metros

Largura da via - 16.5 Metros

Tabela 6.31 - Custo energético para solução proposta

	Cenário Atual	Cenário Proposto
E_{med}	50 lux	19 lux
Potência	540 W	224W
Índice de Eficiência Energética	$\frac{(16.5 \times 28) \times 41.7}{540}$ $\varepsilon = 42.77$	$\frac{(16.5 \times 28) \times 19}{224}$ $\varepsilon = 39.19$
Classificação Energética	A	B

Como se pode observar com a modificação o índice de eficiência energética da instalação piorou, isto deve-se ao fato de a situação atual estar sobredimensionada, com o valor da iluminância média estar muito acima do valor que deveria ter para este local de estudo, isso justifica o fato de no cenário atual ter classificação energética A uma vez que no cálculo não é definida a classe que a via deveria ter.

6.5.2 - Resultados Luminotécnico do Cenário 2

Tabela 6.32 - Valores das luminâncias e iluminâncias obtidos nos softwares

	Situação Atual			Solução Proposta		
	Arruamento		Rotunda	Arruamento		Rotunda
Programa	Ulysse	DIALux	Ulysse	Ulysse	DIALux	Ulysse
Iluminância média (lux)	50	52	51.4	19	21	20.5
Luminância média (cd/m ²)	3.08	3.15	-	1.45	1.37	-

Numa primeira análise pode-se verificar que no cenário existente não há grande discrepância entre os valores obtidos entre os softwares. Numa segunda análise considerando e comparando os valores obtidos pelo software DIALux, nos arruamentos conseguiu-se uma redução do valor da luminância média de 1.78cd/m² e da iluminância média 31 lux, já para a rotunda com o software Ulysse redução da luminância média foi de 30.9 lux.

A redução destes valores representa uma diferença considerável no consumo e no custo da energia.

Tabela 6.33 - Valores das luminâncias e iluminâncias obtidos nos softwares

Classe	Luminância da superfície da estrada			Glare
	Lavg (cd/m ²)	Uo	UI	TI (%)
ME3a	≥1	≥0.4	≥0.7	≤15
Valores segundo o cálculo no DIALux	1.37	0.5	0.8	7

Na tabela 6.33 estão representados os valores obtidos na simulação no software DIALux, pode-se verificar que com a reformulação proposta os resultados obtidos cumprem com os valores pretendidos pela classe ME3a. De salientar tal como no caso anterior os valores podiam ser mais otimizados caso se tratasse de uma nova instalação, mas uma vez que se trata de uma reformulação os valores obtidos são considerados aceitáveis face ao seu estado atual.

Tabela 6.34 - Valores das luminâncias e iluminâncias obtidos nos softwares

Classe	Iluminância Horizontal	
	Eavg (lux)	Uo
CE3	≥15	≥0.4
Valores segundo o cálculo no DIALux	20.5	0.49

Na tabela 6.34 estão apresentados os valores obtidos da simulação no software Ulysse, pode-se verificar que com a reformulação proposta os resultados obtidos cumprem com os valores pretendidos pela classe CE3.

6.5.3 - Balanços Energético e Económicos

Tabela 6.35 - Custo energético para solução proposta

Quantidade	Luminária	Lâmpada (W)	Potencia (W)	Energia (kW)	Custo (€)	TonCO2eq
124	ONYX2	250	270	146.642,4	15.060,17 €	69,03
124	ONYX2	100	112	60.829,44	6.247,18 €	28,64
Balanço				85.812,96	8.812,99€	40,39

Para este cenário de estudo foi proposto a substituição das lâmpadas VSAP de 250W por lâmpadas VSAP de 100W e como é se pode observar as diferenças são bastante consideráveis com uma redução consumo em 85.812kW, que representa no custo energético uma redução de 8.812,99€ e uma redução das emissões de CO₂ de 40,39 Ton de CO₂.

Nas tabelas seguintes serão apresentados os resultados das diferenças obtidas com a proposta de reformulação para a via.

Tabela 6.36 - Custo energético para solução proposta

Solução	Consumo [KW]	Diferença de Consumo [KW]
VSAP 250W	0.270	0.158
VSAP 100W	0.112	

Tabela 6.37 - Custo energético para solução proposta

Solução	Quantidade	Redução Anual por luminária		Redução Total	
		Redução de consumo [KWh]	Redução da Emissão CO2 anual [ton]	Redução de consumo total [KWh]	Redução da Emissão CO2 [ton]
VSAP 250W	124	692,04	0,33	85.812,96	40,39
VSAP 100W	124				

6.6 - Análise de Indicadores Económicos

Quando se pretende investir num determinado projeto, é essencial verificar se esse investimento irá ter retorno e em quanto tempo. Sendo necessário efetuar uma análise económica quando existem diferentes soluções técnicas ou varias oportunidades de investimento, avaliando também os projetos para decidir qual ou quais deverão ser realizados, consoante os objetivos pretendidos.

Um investimento seja ele qual for, carece de uma análise de viabilidade, sendo que um investimento na iluminação pública não é diferente.[32]

Diante da dúvida de se fazer um investimento ou não, é necessário a presença de indicadores que apoiem uma decisão. Para se selecionar os projetos de investimento utilizam-se modelos de análise de viabilidade económica, de modo a possuir um agente de decisão sobre se se deve investir ou não em determinados projetos e no caso de haver mais do que uma opção, saber qual escolher.

Como indicadores de investimento distingue-se o Valor Atual Liquido (VAL), Taxa Interna de Rentabilidade (TIR), Período de Recuperação de Capital (PRI).

6.6.1 - Valor Atual Líquido (VAL).

O Valor Atual Líquido é um critério financeiro dirigido a fazer uma avaliação do investimento através da comparação entre os cash-flows gerados por um projeto e o capital investido.[34]

O VAL é a diferença entre as entradas e as saídas de capital, geralmente chamados de fluxos monetários, devidamente atualizados durante a vida útil do empreendimento.[32] Para efetuar o cálculo do VAL transportam-se todos os fluxos de caixa anuais para uma data no presente, o que corresponde a calcular a quanto equivaleriam estes mesmos fluxos no instante $n=0$.

O VAL é descrito na equação 6.13:[32, 33]

$$VAL = \sum_{j=1}^n \frac{R_{Lj}}{(1+a)^j} - \sum_{j=0}^n \frac{I_j}{(1+a)^j} + \frac{V_R}{(1+a)^n} \quad (6.13)$$

Onde:

n - vida útil do projeto

R_{Lj} - receita líquida do ano j

I_j - investimento total atualizado para o ano 0

a - taxa de atualização

V_R - valor residual do projeto.

O critério do VAL é o critério mais consistente no contexto da seleção de projetos mutuamente exclusivos. A equação 5.1 conduz a uma das três seguintes situações:[35]

- Se ($VAL > 0$) - O projeto tem interesse, pois proporciona a integral recuperação dos capitais a investir, a cobertura do risco associado ao projeto e ainda a criação de excedentes monetários;
- Se ($VAL = 0$) - O projeto continua a ter interesse, tal como na situação anterior, embora nesta situação, aconselha-se a realizar uma nova análise ao nível da taxa de atualização, sobretudo o prémio de risco, por um erro de apenas 1% pode originar graves consequências futuras;
- Se ($VAL < 0$) - O projeto de investimento não tem interesse, porque não remunera os capitais a investir, pelo que deve decidir-se neste momento a não continuação do estudo;

A utilização do VAL tem as suas vantagens e inconvenientes. Este método tem como vantagem, conhecida a taxa de atualização, a facilidade de cálculo. Como inconveniente tem, uma vez que o VAL é muito sensível à taxa de atualização, a determinação segura da taxa de atualização mais apropriada.[35]

6.6.2 - Taxa Interna de Rentabilidade (TIR)

A Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) é a taxa de atualização que anula o VAL. O TIR caracteriza a taxa mais elevada a que um investidor pode contrair um empréstimo para financiar um projeto sem que perca dinheiro. O TIR está representado na equação 5.2, para ser obtido é necessário resolver a equação $VAL = 0$ em ordem à taxa de atualização.[32,33].

$$VAL = \sum_{j=1}^n \frac{R_{Lj}}{(1+a)^j} - \sum_{j=0}^n \frac{I_j}{(1+a)^j} + \frac{V_R}{(1+a)^n} = 0 \quad (6.14)$$

O TIR tal como o VAL depende do dinheiro no tempo, dando mais valor aos cash-flows atuais em relação aos cash-flows futuros. Para um projeto ser aceite com o critério da TIR é necessário que este seja superior à taxa de rentabilidade mínima exigida pelo investidor. A taxa mínima é a taxa de referência ou a taxa de rejeição.

Um projeto é tanto mais interessante quanto mais elevada for a TIR.[32, 35]

6.6.3 - Período de Recuperação do Investimento (PRI)

O Período de Recuperação do Investimento (PRI) é o período de tempo necessário até à recuperação do capital investido, isto é, o período necessário de funcionamento do projeto para que o somatório dos fluxos de despesas e receitas iguale as despesas de investimento. Um projeto de investimento é tanto mais interessante quanto menor for o PRI.

Este critério permite verificar se o tempo de recuperação é inferior ou não ao tempo de vida útil do projeto, permitindo igualmente verificar se o projeto dará lucro ou não. Para calcular o valor do PRI é necessário encontrar o valor de n que vai tornar o $VAL = 0$. [34]

A equação 6.15 representa o PRI

$$PRI = \frac{\sum_{j=0}^n \frac{I_j}{(1+a)^j}}{\frac{1}{n} \times (\sum_{j=0}^n \frac{R_{Lj}}{(1+a)^j} + \sum_{j=0}^n \frac{V_R}{(1+a)^n})} \quad (6.15)$$

A utilização deste critério tem vantagens e inconvenientes. Este critério tem a vantagem de ser fácil de calcular, além de, à partida poder eliminar projetos que não satisfazem os objetivos definidos de acordo com os montantes disponíveis para investir.

Tem como inconvenientes, como, por exemplo, não ter em conta o que se passa para além do prazo de recuperação dos capitais investidos. Além disso, não tem em conta o escalonamento dos cash-flows no tempo, sendo um critério que privilegia as disponibilidades em detrimento da rentabilidade económica do projeto.[35]

Após efetuar a análise técnica do funcionamento dos cenários de estudo, é necessário analisar a vertente económica. Tal como demonstrado neste capítulo, existem alguns

indicadores de avaliação de investimentos, sendo os mais relevantes o TIR, VAL e o PRI. Como demonstrado, os valores monetários envolvidos na elaboração de qualquer um dos cenários de estudo são elevados.

Nas tabelas 6.40 e 6.43 estão ilustrados os valores dos indicadores económicos, descritos anteriormente.

De referir que os indicadores económicos foram calculados no Microsoft Office Excel.

6.6.4 - Análise de Cenário 1

Para análise económica deste caso de estudo, foi considerado um tempo de vida útil da placa de LED superior a 60.000 horas de funcionamento [Anexo B]. O investimento inicial será de aproximadamente 260€ por placa[Anexo B].

A tabela 6.35 mostra os valores utilizados para o estudo, prevendo uma utilização anual de 4380 horas para a tarifa em vigor de 2011 de 0,1027€/kWh.

Tabela 6.38 - Consumos Energéticos Anuais

Nº de horas de funcionamento num ano (h)	4380
Tarifa energética (€/kWh))	0.1027
Consumos Energéticos Anuais (kWh)	19.141
Redução dos custos Energéticos anuais (€)	4.632,31 €
Taxa de inflação	5%
Tempo de vida da instalação (anos)	15

Tabela 6.39 - Balanço Energético Anual

Ano	Investimento	Redução de custos com energia	Balanço Anual	Balanço Acumulado
0	- 9.880,00 €		- 9.880,00 €	- 9.880,00 €
1		4.632,31 €	4.632,31 €	- 5.247,69 €
2		4.863,92 €	4.863,92 €	- 383,77 €
3		5.253,04 €	5.253,04 €	4.869,27 €
4		5.673,28 €	5.673,28 €	10.542,55 €
5		6.127,14 €	6.127,14 €	16.669,69 €
6		6.617,31 €	6.617,31 €	23.287,01 €
7		7.146,70 €	7.146,70 €	30.433,71 €
8		7.718,44 €	7.718,44 €	38.152,14 €
9		8.335,91 €	8.335,91 €	46.488,05 €
10		9.002,78 €	9.002,78 €	55.490,83 €
11		9.723,01 €	9.723,01 €	65.213,84 €
12		10.500,85 €	10.500,85 €	75.714,69 €
13		11.340,91 €	11.340,91 €	87.055,60 €
14		12.248,19 €	12.248,19 €	99.303,79 €
15		13.228,04 €	13.228,04 €	112.531,83 €

Como o tempo de vida útil das lâmpadas é superior a 60000 horas há que prever, a substituição destas de 15 em 15 anos.

Tabela 6.40 - Indicadores de investimento VAL, TIR e PRI

VAL	TIR	PRI
65.891,78 €	53,2%	2,14

6.6.5 - Análise do Cenário 2

Para análise económica deste caso de estudo, foi considerado um tempo de vida útil da lâmpada 32.000 horas de funcionamento e do balastro de 50.000h[Anexo C]. O investimento inicial será de aproximadamente 248€ lâmpada+balastro [Anexo C].

A tabela 6.38 mostra os valores utilizados para o estudo, prevendo uma utilização anual de 4380 horas para a tarifa em vigor de 2011 de 0,1027€/kWh.

Tabela 6.41 - Consumos Energéticos Anuais

Nº de horas de funcionamento num ano (h)	4380
Potencia Instalada (kW)	4,37
Tarifa energética (€/kWh))	0.1027
Consumos Energéticos Anuais (kWh)	19.141
Custos Energéticos anuais (€)	1.965,74 €
Redução dos custos Energéticos anuais (€)	8.812,99 €
Taxa de inflação	5%
Tempo de vida da instalação (anos)	7

Como o tempo de vida útil das lâmpadas é de 32000 horas há que prever, a substituição destas de 7 em 7 anos.

Tabela 6.42 - Balanço económico anual

Ano	Investimento	Redução de custos com energia	Balanço Anual	Balanço Acumulado
0	-30.780,52 €		-30.780,52 €	- 30.780,52 €
1		8.812,99 €	8.812,99 €	- 21.967,53 €
2		9.518,03 €	9.518,03 €	- 12.449,50 €
3		10.279,47 €	10.279,47 €	- 2.170,03 €
4		11.101,83 €	11.101,83 €	8.931,80 €
5		11.989,98 €	11.989,98 €	20.921,78 €
6		12.949,17 €	12.949,17 €	33.870,95 €
7		13.985,11 €	13.985,11 €	47.856,06 €

Tabela 6.43 - Indicadores de investimento VAL, TIR e PRI

VAL	TIR	PRI
33.255,52 €	27,8%	3,25

6.6.6 - Conclusão

Neste capítulo apresentaram-se vários indicadores de avaliação de investimentos, que são usados em qualquer tipo de investimento, logo com potencial para serem utilizados neste projeto. Com a junção dos vários indicadores (VAL, TIR e PRI), faz com que seja possível saber com mais segurança a viabilidade do investimento.

Através do VAL é possível determinar se um investimento específico terá retorno, sendo que com o PRI conseguiremos saber qual o período de tempo necessário para esse retorno e utilizando o TIR é possível determinar a taxa mais elevada a que um investidor pode contrair um empréstimo sem perder dinheiro.

Os cenários de estudo, provaram que as alterações propostas são viáveis do ponto de vista económico apesar do seu elevado investimento.

Capítulo 7

Conclusões e Trabalhos Futuros

7.1 - Conclusões

Cada vez mais, a problemática da gestão dos recursos energéticos ocupa um lugar central nas preocupações da Humanidade. Deste modo, todos os contributos para uma redução dos consumos energéticos são importantes. Ao longo deste trabalho, abordaram-se alguns temas importantes, relacionados com a eficiência energética na iluminação pública.

O objetivo do trabalho desenvolvido foi o de analisar e entender uma série de parâmetros técnicos que deve seguir um projeto de IP de modo a obter uma maior eficiência energética desta tipologia de instalações e, conseqüentemente, conduzir a uma diminuição das emissões de CO₂ durante o período de utilização das mesmas. Foram considerados cenários de estudo para se proceder à avaliação das instalações de Iluminação pública.

Com o trabalho elaborado e exposto nesta dissertação analisaram-se dois cenários de estudo, tirando as devidas ilações, com a aplicação das tabelas que definem as classes das vias consegue-se melhorar os cenários de estudo do ponto de vista energético e lumínico, como foi perceptível verificar, nos projetos de iluminação pública em estudo os níveis lumínicos estão muito acima do que seria aconselhado, que se traduz num consumo e custo energético elevado. Com a reformulação conseguiu-se duas instalações de iluminação pública mais eficientes e sustentáveis, com um menor consumo energético e com menos emissões de CO₂.

Por outro lado a eficiência não pode ser a única preocupação de um projetista, as autarquias precisam de criar os planos diretores de iluminação pública de forma que sejam garantidos os padrões de qualidade necessários para que possam proporcionar o bem-estar dos futuros utilizadores.

Finalmente, e como em qualquer tipo de projeto, há que ter em conta nos projetos luminotécnicos a sua viabilidade económica, analisando até que ponto um investimento pode ser interessante em detrimento de outro.

Neste trabalho foi desenvolvida uma metodologia que permite fazer um projeto luminotécnico de iluminação pública, conciliando a eficiência energética e a qualidade de iluminação, bem como análise económica das soluções obtidas.

7.2 - Importância de um plano Diretor de Iluminação Pública

Um plano Diretor de Iluminação Pública é um instrumento moderno e eficaz, do ponto de vista de um desenvolvimento sustentado das infra-estruturas de iluminação pública.

Iluminar a Cidade é antes de tudo torná-la mais segura e atrativa para aqueles que a habitam, mas é também potenciar o uso e a animação noturna dos seus múltiplos espaços.

A Iluminação Pública constitui uma infra-estrutura primária das cidades, mas sucede com frequência desenvolver-se de uma forma desordenada, respondendo a meras solicitações pontuais ou condicionada por disponibilidades económicas de ocasião, sem uma coerência e uma estratégia de projeto.

Um Plano de iluminação, visa também resolver esta criticidade, contribuindo para a melhor racionalização dos custos de investimento e de manutenção e, decisivamente, para a minimização do consumo energético.

O plano Diretor de Iluminação Pública deve finalmente enquadrar uma utilização da luz como instrumento de orientação e de mobilidade, individualizando percursos urbanos e ambiências específicas, nomeadamente através da hierarquização dos níveis de iluminação e uso de temperaturas de cor diferenciadas.

7.3 - Trabalhos Futuros

De Seguida apresentam-se alguns tópicos susceptíveis de um estudo mais elaborado em futuros trabalhos:

- ***Tecnologia LED na Iluminação Pública***, uma vez que durante a realização deste trabalho senti dificuldade em encontrar conteúdos académicos relacionados com este tema, a não ser dos próprios fabricantes.
- ***Impacto provocado na qualidade serviço da rede elétrica pela introdução de aparelhos eletrónicos na rede IP***, cada vez mais, se aplica na rede IP aparelhos eletrónicos, seja balastros eletrónicos ou LED, qual o impacto provocado na qualidade da rede elétrica, com a introdução de harmónicos provenientes desses componentes eletrónicos.

Referências

- [1] A. Amorim, *Novas Tecnologias na Iluminação Pública*. AREANATEjo, Tejo, 2009.
- [2] ERSE, <http://www.erse.pt>. visitado em 19/10/2011
- [3] Documento de referencia Eficiência Energética na Iluminação Pública, <http://www.lighting-living-lab.pt>. Visitado em 20/10/2011.
- [4] Teixeira, Armínio., *Natureza da luz - Fisiologia da Visão*. Porto : Feup, 2005.
- [5] Teixeira, Armínio., *Grandezas Usadas Em Luminotecnia*. Porto : Feup, 2003.
- [6] Vázquez, José Ramírez., *Luminotecnia*. Barcelona : CEAC, 1999.
- [7] Rocha, Filipe Andrade da e Alves, Filipe Lopes., *Eficiência Energética em Edifícios: Luminotecnia e Transporte Vertical*. Porto : FEUP, 2007.
- [8] *Guia de Iluminação*. s.l. : PHILIPS, 2005.
- [9] Teixeira, Armínio., *Tipos de Lâmpadas*. Porto : FEUP, 2004.
- [10] F. de la Fuente Sánchez, *Manual de boas práticas de eficiência energética*. BCSD Portugal, Coimbra.
- [11] *Lâmpadas de Descarga em Alta Pressão*. s.l. : OSRAM, 2008.
- [12] *Lâmpadas Fluorescentes Tubulares e Circulares*. s.l. : OSRAM, 2008.
- [13] *Lâmpadas Fluorescentes Compactas*. s.l. : OSRAM, 2008
- [14] Ping, Shang Ping, Chun-Wen, Tang e Bin-Juine, Huang., *Charaterizing LEDs for Mixture of Colored LED light sources*. Taiwan : IEEE, 2006.
- [15] Araújo, Lucinio Preza de., *A Iluminação com o LED*. Braga : s.n.
- [16] Iluminação com LED. *Phulips Lighting*. [Online] Philips. <http://www.lighting.philips.com>.
- [17] Carvalho, Henrique de., *Diodos emissores de luz - Revolucionando a iluminação, a sinalização e a biofotônica*. s.l. : DirectLight Ltda., 2007.
- [18] Teixeira, Armínio., *Iluminação Fluorescente - Balastros*. Porto : FEUP, 2002.
- [19] Decreto-Lei nº 327/2001." *Diario da República*. 2001.

- [20] Teixeira, Armínio., *Grandezas Usadas Em Luminotecnia*. Porto : Feup, 2003.
- [21] Interruptor crepuscular, <http://www.voltimum.pt/news/10/cm/schneider-electric-apresenta-novo-interruptor-crepuscular-ic2000-da-merlin-gerin.html>, Acesso em 28/10/2011
- [22] Variação da estação do ano,
http://geografiamuller.blogspot.com/2011_04_24_archive.html, Visitado em 28/10/2011
- [23] Relógio Astronómico, <http://www.automatas.org/afeisa/urbiastro.htm>, acesso em 5/11/2011
- [24] EDP - Distribuição, *Manual de Iluminação Pública - volume 2*, 2010
- [25] Gestão e poupança de energia, ESINOR, <http://grupoesinor.com>, acesso
- [26] Tecnologia LED, Energiaviva., <http://www.energiaviva.pt/dossier-iluminacao-led.php>, Acesso em 5/12/2011
- [27] Calgary Centre, Light Pollution Abatement Site, Royal Astronomical Society of Canada., <http://calgary.rasc.ca/lp/whatislp.html>, acesso em 5/12/2011
- [28] Wikipédia, A enciclopédia livre., <http://pt.wikipedia.org/wiki/LED>, Acesso em 5/12/2011
- [29] EDP - Distribuição, *Manual da Iluminação Pública - volume 3*, 2010
- [30] EDP - Distribuição, *Manual da Iluminação Pública - volume 1*, 2010
- [31] Google Earth, <http://googleearthonline.blogspot.com/>, acesso em 26/12/2011
- [32] R. M. Castro, *Introdução à Avaliação Económica de Investimentos*, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 5 ed., 2009.
- [33] C. C. e Eduardo Eusébio, *Gestão de Energia - Avaliação Económica de Projetos*. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, Setembro 2007.
- [34] G. M. e V. André Zunido, *Análise Financeira de Projetos de Software (VAL, TIR e PRI)*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve, Algarve, Dezembro 2006.
- [35] S. e Silva, *Métodos e Critérios Económicos e de avaliação de Empreendimento*
- [36] Philips, *Tabela de Preços de Lâmpadas e equipamentos*, Portugal, Abril 2010.
- [37] Exporlux, http://www.exporlux.pt/en/#/pt/m24.produtos/m101.iluminacao_publica, acesso em 10/01/2012

Anexos

Anexo A

Lâmpadas		Fluxo (lm)	Lâmpada (W)	Potência (Lâmp.+Equip.) (Lâmp. + Equip.)		Eficácia global lm/W	
				Ferro.	Electron.	Ferro.	Electron.
Sódio tubular E27 – E40	50	4400	50	62	59	71	75
	70	6600	70	85	79	78	84
	100	10700	100	116	112	92	96
	150	17500	150	170	167	103	105
	250	33200	250	270	-	123	-
	400	56500	400	430	-	131	-
	600	90000	600	670	-	134	-
Sódio opalino E27 – E40	50	3400	50	62	59	55	58
	70	5600	70	85	79	66	71
	100	8500	100	116	112	73	76
Luz Branca COSMOWHITE	45	4300	45	-	51	-	84
	60	6800	60	-	67	-	101
	90	10450	90	-	99	-	106
	140	16500	140	-	153	-	108
Iodetos metálicos G12	35	3500	38	45	43	78	81
	70	7300	72	83	79	88	92
	150	15000	150	170	160	88	94
Iodetos metálicos Tubular E27– E40	70	6300	72	83	79	76	80
	100	8700	95	111	107	78	81
	150	13500	147	170	157	79	86
	250	22500	250	270	-	83	-
Iodetos metálicos Ovóide E27 – E40	70	5600	72	83	79	67	71
	100	8300	95	111	107	75	78
	150	12500	147	170	162	74	77

Figura A 1- Potência unitária (lâmpadas mais auxiliares)

Anexo B

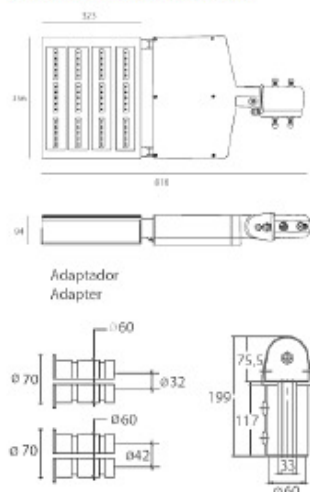
exporlux Ficha Técnica: ROADLED 120
<http://www.exporlux.pt>

ROADLED 120

DESCRIÇÃO

CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS Corpo integralmente em alumínio. Desenho compacto e robusto. Sistema de regulação incorporado. Baixo consumo energético. Luxeon® Rebel® LEDs. Fluxo luminoso elevado. Elevado índice de restituição cromática ($R_a > 70$). Vida útil elevada (TU > 60.000H). Solução normalizada EN13201-2:2003. **CARACTERÍSTICAS OPCIONAIS** Controlo autónomo. Controlo local / remoto. Sensores: luminosidade ambiente; estabilidade. **APLICAÇÕES** Iluminação pública rodoviária.

DESENHO TÉCNICO



FEIXE DE LUZ



ICONOGRAFIA



LOCAL DE APLICAÇÃO



Figura B 1 - Características da LEDBox 120

LÂMPADAS

ROADLED 120

Número de LEDs: 60

Potência LED: 104W

Potência do sistema: 115W

Temperatura de funcionamento: -30°C a +40°C

Humidade relativa: 10% - 90%

Valores nominais à temperatura ambiente de 25° C.

Temperaturas de cor disponíveis:

BQ - Branco quente 3000K; BN - Branco neutro 3950K;

BF - Branco frio 5300K.

Fluxo LED Fluxo global IRC

BQ 6640 lm 5578 lm 80

BN 8969 lm 7534 lm 70

BF 9325 lm 7833 lm 70

Figura B 2 - Características da Lâmpada LED [37]

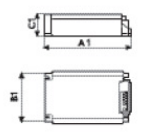
Solução	Custo Unitário [€]	Quantidade [Un]	Custo Total [€]
FLAMINGO 96 250W VSAP / 100W VSAP	0,00	38	0,00
LEDBox120	260,00	38	9.880,00

Figura B 3 - Custo unitário e Total da LEDBox [37]

Anexo C

HID DYNAVISON DALI					
Tipo	Lâmpada	U.E.	Paquete	EOC	Preço (€)
HID-DV DALI 100-150W/S SON/CDO/SDW-TG	1 x SON/CDO/SDW-TG 100-150W	12	980	92873330	212,24

As lâmpadas SON podem ser reguláveis entre 100%-35% da potência (100%-20% do fluxo luminoso).
As lâmpadas CDO podem ser reguláveis entre 100%-60% da potência (100%-50% do fluxo luminoso).
É possível a sua regulação mediante protocolo DALI.




Dimensões em mm.

Tipo	A ₁	B ₁	C ₁
HID-DV DALI	150	90	40

Figura C 1 - Custo do Balastro eletrónico [36]

					
Balastro	EOC	Lâmpada	Vida a Tc	Tc (°C)	Consumo do Balastro (W)
HID DYNAVISON DALI					
HID-DV DALI 100-150W/S SON/CDO/SDW-TG	92873330	1 x SON/CDO/SDW-TG 100-150W 20.000 90	50.000	90	12

Factor de potência	Tensão de Arranque (kV)	Frequência de Funcionamento (Hz)	Temperatura de Funcionamento (°C)	Esquema de ligação*
0,95	2,5/4	-	-20...+50	1

Figura C 2 - Características do Balastro Eletrónico [36]

PHILIPS MASTER SON - T PIA PLUS - LIVRE DE MERCÚRIO - TUBULARES							
Tipo	Potência	Casquilho	U.E.	Paquete	EOC	Preço (€)	Eco-valor (€)
SON T PIA Plus Hg Free	100W	E40	12	1.740	88075500	35,99	0,16
SON T PIA Plus Hg Free	150W	E40	12	1.740	88510100	44,29	0,16
SON T PIA Plus Hg Free	250W	E40	12	1.740	88512500	47,19	0,16
SON T PIA Plus Hg Free	400W	E40	12	1.740	88514900	50,49	0,16

Figura C 3 - Custo da Lâmpada Vapor de Sódio de Alta Pressão 100W [36]

Lâmpada	EOC	Casquilho	Fluxo Lum. (lm)	Eficácia (lm/W)	T de cor (K)	IRC	h
PHILIPS MASTER SON-T PIA - LIVRE DE MERCÚRIO - TUBULARES							
MASTER SON-T PIA HG FREE 100W E E40	20137915	E40	9.000	90	2.150	25	32.000

h	v	Iamp	v	T. arranque (S)	T. reacendim. min.	Mg	Posição de Funcionamento
Vida útil (h)	Tensão de funcionamento (V)	Intensidade Func. lâmpada (A)	Intensidade arranque (V)				
20.000	98	1,24	198	-	-	0	Universal

Figura C 4 - Características da Lâmpada Vapor de Sódio de Alta Pressão 100W [36]