

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



FEUP

Medidas de Eficiência Energética em Redes de IP

Diogo André Meira Saraiva e Silva

Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Orientador: Professor Doutor Fernando Pires Maciel Barbosa

30 de Junho de 2014

A Dissertação intitulada

“Medidas de Eficiência Energética em Redes de IP”

foi aprovada em provas realizadas em 16-07-2014

o júri



Presidente **Professor Doutor António Carlos Sepúlveda Machado e Moura**
Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de
Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Professora Doutora Cristina Faustino Agreira
Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Electrotécnica do Instituto
Superior de Engenharia de Coimbra



Professor Doutor Fernando Pires Maciel Barbosa
Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de
Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projeto) é da sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extratos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas usadas, são corretamente citados.



Autor - Diogo André Meira Saraiva e Silva

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Resumo

O objectivo desta dissertação, é a análise de medidas de eficiência energética para redes de iluminação pública (IP).

Na dissertação é apresentada uma caracterização dos consumos e do estado da IP a nível nacional e mundial, analisando-se a sua evolução histórica.

São referidos os principais parâmetros luminotécnicos necessários para compreender, como a luz influencia a visão humana e os objectos que ilumina.

É feito um levantamento de todas as tecnologias de iluminação empregues na IP, desde as tecnologias obsoletas em fase de *phase-out*, às tecnologias emergentes e do futuro, como a tecnologia LED, mencionando-se as suas vantagens e desvantagem quando aplicadas nas redes de IP.

É abordado exaustivamente o novo Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública (DREEIP), sendo feita uma comparação entre os parâmetros lumínicos recomendados pelo DREEIP e a legislação em vigor em Portugal.

São analisadas todas as medidas de eficiência energética existentes, passíveis de aplicar na IP, apresentando-se os seus resultados relativos à economia de energia e suas vantagens e desvantagens.

É feito um estudo prático, proposto pelo grupo Schröder, de um projecto de IP na variante de Rabo de Peixe, na ilha Açoriana de São Miguel, que tem por objectivo analisar a viabilidade técnico-económica, da substituição das 191 luminárias existentes de vapor de sódio de alta pressão por luminárias com tecnologia LED. São ainda realizados outros estudos, utilizando diferentes tecnologias de iluminação e novos processos luminotécnicos.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Iluminação Pública, Luminotecnica, LED, Telegestão, Luminárias, Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública, Ulysse, Visão Mesópica na IP.

Abstract

The purpose of this work, is the analysis of energy efficiency actions for Street Light networks. In this document, a characterization of consumption and the state of the Street Light at national and global level is presented, analyzing its historical evolution.

The principal luminotecnic parameters are mentioned to understand how light influences the human vision and the objects that illuminates.

A survey is made for all lighting technologies employed in Street Lights since obsolete technologies under phase-out actions, to emerging and future technologies such as LED technology, mentioning whether their advantages and disadvantages when applied in Street Light networks.

Its exhaustively discussed the new Reference Document for Energy Efficiency for Public Lighting (DREEIP), with a comparison between the luminance parameters recommended by DREEIP and the current portuguese legislation.

All existing energy efficiency actions, liable to be implemented in Street Lights are analyzed, presenting their advantages and disadvantages and results on energy and economy reductions.

A practical study, proposed by Schröder group, of a Street Light project in a street of Rabo de Peixe, the Azorean island of São Miguel, is made, which aims to analyze the technical and economic feasibility of replacing the existing 191 fixtures of high-pressure sodium lamps for LED technology. Are also performed other studies, using different lighting technologies and new luminotecnic processes.

Keywords: Energy Efficiency, Street Lighting, Luminotecnic, LED, Smart Street Lights, Fixtures, Reference Document on Energy Efficiency for Public Lighting, Ulysse, Mesopic Vision in Street Lights.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero agradecer ao meu orientador, o Professor Doutor Fernando Pires Maciel Barbosa, por toda a ajuda disponibilizada durante toda a fase da realização da dissertação.

Agradeço também aos engenheiros Ivan Couras e Nuno Marques, do grupo Schröder, pela proposta do caso de estudo analisada nesta dissertação, e por todo o material de estudo gentilmente cedido.

E aqui estou eu, finalmente, na recta final do meu curso, prestes a começar uma nova etapa na minha vida.

Agradeço aos meus queridos pais, por apostarem na minha educação e por todo o seu apoio durante a minha vida, aos meus verdadeiros amigos, pela sua paciência nas minhas longas conversas sobre a IP em Portugal.

Um agradecimento especial à *Baby*, pelo seu apoio incondicional e paciência desmedida para comigo.

Um especial agradecimento ao grupo de amigos BB, por me ter proporcionado momentos de diversão puros, ao longo de todos estes anos.

Esta dissertação não foi escrita ao abrigo do AO90.

Não vejo nenhuma razão teórica ou prática, para Portugal adoptar, de cumprimento obrigatório, as nuances da Língua falada e escrita noutras partes do Mundo.

Por isso, e porque a Língua é um dos factores mais fortes da identidade Lusíada, não vejo a utilidade de se atenuar a identidade de um povo com 8 séculos de história, em favor de nuances com menos de 300 anos, adoptando-se um acordo que desvirtua a Língua Matriz do Mundo Lusófono.

Diogo André Meira Saraiva e Silva

*“It is during our darkest moments
that we must focus to see the light.”*

Aristotle Onassis

Conteúdo

Abbreviations	xv
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento e motivação	1
1.2 Objectivos da dissertação	3
1.3 Organização da dissertação	4
2 A iluminação pública em Portugal e no Mundo	5
2.1 História da iluminação pública em Portugal	5
2.2 O panorama actual da iluminação pública em Portugal	11
2.2.1 Caracterização do consumo de electricidade em Portugal	12
2.2.2 O consumo de iluminação pública em Portugal	13
2.2.3 A tarifa de iluminação pública em Portugal	15
2.2.4 Custos da iluminação pública em Portugal	16
2.2.5 Legislação em vigor para a iluminação pública	17
2.3 A iluminação pública a nível Mundial	19
2.3.1 Evolução da iluminação pública mundial	21
2.4 Conclusão	26
3 Conceitos e noções sobre luminotecnia	29
3.1 O espectro electromagnético	29
3.2 A visão	29
3.2.1 Acuidade visual	30
3.2.2 A visão escotópica (visão nocturna)	30
3.2.3 A visão fotópica (visão diurna)	31
3.2.4 A visão mesópica	32
3.3 Temperatura de cor (Tc)	32
3.4 Índice de restituição de cor (IRC)	33
3.5 Fluxo luminoso (Φ)	35
3.6 Rácio de saída do fluxo luminoso (<i>Light Output Ratio</i> - LOR)	35
3.7 Factor de utilização (FU)	36
3.8 Intensidade luminosa (I)	37
3.9 Eficiência luminosa (lm/W)	38
3.10 Iluminância (E)	38
3.11 Luminância (L)	39
3.12 Diferença entre iluminância e luminância	40
3.13 Incremento limite (TI – <i>Threshold Increment</i>)	41
3.14 Rácio envolvente (SR - <i>Surround Ratio</i>)	42

3.15	Uniformidade da iluminação	43
3.15.1	Uniformidade geral (U_o)	43
3.15.2	Uniformidade longitudinal (U_l)	43
3.16	Tempo de vida útil de uma lâmpada	44
3.17	Tempo de vida médio de uma lâmpada	44
3.18	Poluição luminosa	45
3.18.1	Luz emitida para o céu (<i>sky glow</i>)	46
3.18.2	Brilho encandeante (<i>glare</i>)	46
3.18.3	Luz intrusiva (ilumina locais indevidamente)	46
3.19	Factor de utilização de uma instalação	46
3.19.1	Factor de manutenção da luminosidade da lâmpada (FMLL)	47
3.19.2	Factor de sobrevivência da lâmpada/fonte de luz (FSL)	48
3.19.3	Factor de manutenção da luminária (FML)	49
3.19.4	Factor de manutenção global (FM)	50
3.20	Conclusão	51
4	Tipos de lâmpadas e luminárias na IP	53
4.1	Introdução	53
4.2	Tipos de lâmpadas para a IP	53
4.2.1	Tecnologias obsoletas	55
4.2.2	Tecnologias do presente	60
4.2.3	Tecnologias emergentes	68
4.2.4	Tecnologias do futuro	74
4.3	Aparelhagem auxiliar	77
4.3.1	Balastro	77
4.3.2	Condensador	79
4.3.3	Ignitor	79
4.3.4	<i>Driver</i>	80
4.4	Luminárias	80
4.4.1	Sistema óptico	85
4.4.2	Suporte das lâmpadas	86
4.4.3	Dispositivo de regulação	86
4.4.4	Compartimento de acessórios	86
4.4.5	Dispositivo de fixação	88
4.4.6	Corpo, carcaça ou armadura da luminária	88
4.4.7	Eficiência de uma luminária	89
4.4.8	Classificação das luminárias	89
4.4.9	Índice de protecção da luminária	90
4.5	Manutenção dos sistemas de IP	92
4.6	Conclusão	93
5	Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública	95
5.1	Iluminação pública funcional	96
5.2	Classes de iluminação consoante o tipo de estrada	97
5.2.1	Classes ME	99
5.3	Zonas de conflitos	101
5.3.1	Classes CE	102
5.4	Zonas pedonais e áreas com baixa velocidade de tráfego	104
5.4.1	Classes P	104

5.4.2	Classes G	106
5.5	Seleção de classes em diferentes períodos nocturnos	107
5.6	Poluição luminosa	107
5.7	Temperatura de cor	107
5.8	Factor de manutenção global (FM)	107
5.9	Eficiência energética de uma instalação	108
5.10	Conclusão	110
6	Medidas de eficiência energética em redes de IP	113
6.1	O cadastro de iluminação pública	113
6.2	Auditorias energéticas na rede de iluminação pública	114
6.3	Plano director de iluminação pública	115
6.4	Medidas de economia de energia	115
6.5	Directivas e políticas governamentais de eficiência energética para a IP	116
6.5.1	Estratégia nacional para a energia 2020	117
6.5.2	Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética 2008	117
6.5.3	Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética 2016	121
6.5.4	Resultados da implementação das medidas entre 2008 e 2010	122
6.5.5	Resumo das medidas do PNAEE 2016	123
6.6	Actualização ou redimensionamento de uma rede de IP	124
6.7	Utilização de fontes luminosas de última geração	125
6.7.1	Lâmpadas de HPS de última geração	125
6.7.2	Lâmpadas de Iodetos metálicos melhoradas	126
6.7.3	Tecnologia LED	127
6.8	Uso de luminárias eficientes	129
6.9	Uso de luminárias de elevado factor de potência	130
6.10	Eficiência luminosa de uma luminária	131
6.11	Integração de energias renováveis na IP	132
6.12	Considerações de visão mesópica em projectos de IP	134
6.13	Sistemas de controlo e de gestão de energia na IP	137
6.13.1	Interruptores crepusculares	138
6.13.2	Relógios astronómicos	138
6.13.3	Reguladores de fluxo	140
6.13.4	Sistemas de telegestão	144
6.14	Exemplos de eficiência energética	154
6.14.1	Em Portugal	154
6.14.2	No estrangeiro	160
6.15	Exemplos de ineficiência energética em Portugal	161
6.16	Conclusão	168
7	Projecto de IP com o novo documento de referência	169
7.1	Introdução	169
7.2	Classificação da via	170
7.3	Cálculo luminotécnico	175
7.3.1	Solução existente: Luminárias com lâmpadas HPS de 250 W	175
7.3.2	Solução proposta: Luminárias LED 73 W	178
7.3.3	Proposta de estudo 1: Luminária existente com lâmpada HPS redimensi- onada	181

7.3.4	Proposta de estudo 2: Luminária de alta eficiência fotométrica de nova geração	183
7.3.5	Proposta de estudo 3: Luminária existente com lâmpada de MH	184
7.3.6	Áreas de conflito	186
7.3.7	Considerações da visão mesópica	189
7.4	Análise económica	192
7.4.1	Valor actual líquido (VAL)	192
7.4.2	Taxa interna de rentabilidade (TIR)	193
7.4.3	Período de recuperação do investimento (PRI)	193
7.4.4	Diagrama de fluxo financeiro	194
7.4.5	Considerações iniciais	194
7.4.6	Solução existente: Luminárias com lâmpadas HPS de 250 W	195
7.4.7	Solução proposta: Luminárias LED 73 W	196
7.4.8	Proposta de estudo 1: Luminária existente com lâmpada HPS redimensi- onada	201
7.4.9	Proposta de estudo 3: Luminária existente com lâmpada de MH	202
7.4.10	Análise comparativa	205
7.5	Eficiência da instalação	209
7.5.1	Solução existente: Luminárias com lâmpadas HPS de 250 W	210
7.5.2	Solução proposta: Luminárias LED 73 W sem telegestão	211
7.5.3	Proposta de estudo 1: Luminária existente com lâmpada HPS redimensi- onada	211
7.5.4	Proposta de estudo 2: Luminária de alta eficiência fotométrica de nova geração	211
7.5.5	Proposta de estudo 3: Luminária existente com lâmpada de MH	212
7.6	Conclusão	212
8	Conclusões e perspectivas de trabalhos futuros	215
8.1	Conclusões	215
8.2	Perspectivas de trabalhos futuros	218
	Referências	221

Lista de Figuras

1.1	Diagrama típico de custos, após 25 anos de vida útil de uma rede de IP [3].	3
2.1	Vela eléctrica de Jablochhoff [9].	6
2.2	Arco voltaico usado na Iluminação pública a electricidade de Lisboa [10].	7
2.3	Ilustração de iluminação a azeite e a petróleo em Lisboa durante o século XIX [10].	9
2.4	Evolução cronológica das diferentes tecnologias de iluminação em Lisboa [10].	10
2.5	Cronograma de sistemas em uso no país, 1780-2006 [10].	10
2.6	Vista aérea nocturna da península ibérica no ano de 2012 [11].	11
2.7	Vista aérea nocturna do arquipélago dos Açores no ano de 2012 [11].	11
2.8	Vista aérea nocturna do Arquipélago da Madeira no ano de 2012 [11].	12
2.9	Repartição geográfica dos consumos de energia eléctrica em 2012 [5].	12
2.10	Repartição dos consumos de energia eléctrica por sector e por região [5].	13
2.11	Repartição dos tipos de consumo em 2012 [5].	13
2.12	Consumo da IP em Portugal de 1994 a 2012 [5].	14
2.13	Repartição dos consumos de IP por região [5].	15
2.14	Evolução da tarifa da iluminação pública [8-9].	15
2.15	Evolução dos custos do consumo da IP em Portugal [7-8].	17
2.16	A iluminação nocturna vista do espaço em 2012 [11].	19
2.17	Evolução da IP no Mundo e perspectivas para o futuro. LLCC é o menor custo de ciclo de vida [19].	21
2.18	Centro de luz da iluminação pública ao longo dos anos de estudo [20].	21
2.19	Maiores aglomerações contínuas de luminosidade detectadas no estudo [20].	22
2.20	Visualização do crescimento da iluminação pública no delta do Nilo entre 1992 (esquerda) e 2009 (direita) [20].	23
2.21	Visualização do crescimento da iluminação pública de Shangai, China, entre 1992 (esquerda) e 2009 (direita) [20].	23
2.22	Visualização da Iluminação publica de Los Angeles em 1908 e 1988 [21].	24
2.23	Visualização da Iluminação publica de Los Angeles em 2002 [22].	24
2.24	Visualização da Iluminação publica de Los Angeles em 2012 [22].	25
2.25	Paisagem nocturna do Rio de Janeiro sem poluição luminosa [23].	26
3.1	Composição do espectro electromagnético [24].	29
3.2	Esquematização da acuidade visual [24].	30
3.3	Curva de sensibilidade do olho humano [24].	31
3.4	Eficiência luminosa máxima para visão fotópica e escotópica [24].	31
3.5	Gamas de luminância para cada tipo de visão e dos fotorreceptores [24].	32
3.6	Gamas de temperatura de cor [21].	33
3.7	Temperatura de cor e índices de restituição de cor [24].	34

3.8	Demonstração de fluxo luminoso [24].	35
3.9	Ilustração de um esterradiano [26].	35
3.10	ULOR e DLOR [24].	36
3.11	Demonstração do Factor de utilização de uma luminária [24].	37
3.12	Ilustração do conceito de intensidade luminosa [28].	37
3.13	Ilustração do conceito de iluminância [24].	38
3.14	Esquematização do conceito de luminância [27].	39
3.15	Ilustração da diferença entre iluminância e luminância [29].	40
3.16	Esquematização dos parâmetros para o cálculo do TI [24].	41
3.17	Demonstração dos parâmetros para cálculo do SR [24].	42
3.18	Largura máxima das faixas para cálculo do SR [24].	42
3.19	Esquematização para a situação em que o cálculo do SR é feito para metade da largura da estrada [24].	43
3.20	Parede de tijolo a obstruir a faixa longitudinal exterior de largura W [24].	43
3.21	Demonstração do cálculo para a uniformidade longitudinal [24].	44
3.22	Tempo de vida médio e útil de uma lâmpada [24].	44
3.23	Distribuição luminosa de uma luminária [24].	45
3.24	Demonstração do factor de manutenção da luminosidade da lâmpada (FMLL) [24].	47
3.25	Factor de sobrevivência da Lâmpada/fonte de luz (FSL) [24].	48
3.26	Ilustração do factor de manutenção da luminária (FML) [24].	49
3.27	Factor de manutenção (FM) de uma instalação [24].	51
4.1	Ilustração de lâmpada incandescente [32].	55
4.2	Transferências de energia numa lâmpada incandescente [32].	56
4.3	Espectro luminoso de uma lâmpada incandescente [32].	56
4.4	Luminária em Itália no ano de 2012, utilizando uma lâmpada incandescente [33].	57
4.5	Esquema eléctrico de ligação de uma lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão [32].	58
4.6	Distribuição de energia de uma lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão [32].	58
4.7	Espectro electromagnético da lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão [3].	59
4.8	Luminária utilizando uma lâmpada de HPM de 250 W.	59
4.9	Diferentes configurações eléctricas das lâmpadas compactas fluorescentes [6].	60
4.10	Espectro de uma lâmpada compacta fluorescente [3].	61
4.11	Globo para iluminação de espaço verde público utilizando uma lâmpada de CFL.	61
4.12	Ilustração da constituição de uma lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão [25].	62
4.13	Espectro de uma lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão [3].	63
4.14	Estrada iluminada por lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão [35].	63
4.15	Dois tipos de lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão (AP) [3].	64
4.16	Distribuição da energia de uma lâmpada de vapor de sódio de alta pressão [32].	65
4.17	Distribuição da energia de uma lâmpada de HPS [32].	65
4.18	Detalhes construtivos de uma lâmpada de iodetos metálicos [3].	66
4.19	Espectro de uma lâmpada de iodetos metálicos CosmoWhite CPO-TW [36].	67
4.20	Distribuição de energia de uma lâmpada de iodetos metálicos [32].	67
4.21	Ilustração dos constituintes de uma lâmpada fluorescente de indução [3].	68
4.22	Um díodo LED [3].	69
4.23	Visualização do espectro de um LED branco [3].	70
4.24	Estimação da redução de custo de luminárias de tecnologia LED [38].	70
4.25	luminária LED de uso em iluminação pública [29].	71
4.26	Via pública iluminada por tecnologia LED [39].	71

4.27 Depreciação luminosa de várias luminárias LED de diferentes lotes de produção e fabricantes, consoante as horas de operação e temperatura ambiente [43].	73
4.28 Diferença da aparência e distribuição da luz emitida por LED à esquerda, e HPS à direita 40].	74
4.29 Luminária utilizando tecnologia de plasma [44].	74
4.30 Ilustração de um COLED [31].	76
4.31 Balastro electromagnético [6].	77
4.32 Balastro electrónico [6].	78
4.33 Imagem de um condensador para uso em IP [6].	79
4.34 Imagem de um ignitor para uso em IP [6].	80
4.35 Luminárias normalmente utilizadas em Portugal na IP [4].	81
4.36 Luminárias abertas normalmente utilizadas em Portugal na IP [4].	82
4.37 Ilustração dos constituintes de uma luminária HID de alta gama [29].	83
4.38 Ilustração dos constituintes de uma luminária LED de alta gama [29].	84
4.39 Possibilidade de ajustamento da posição da fonte luminosa numa luminária [33].	86
4.40 Luminária com aparelhagem auxiliar incorporada no corpo da mesma [46].	87
4.41 Visualização do compartimento de acessórios exterior ao corpo da luminária [33].	87
4.42 Fixação lateral e fixação vertical [33].	88
4.43 Visualização dos graus possíveis de alcance e dispersão de uma luminária [3].	90
4.44 Comparação de eficiência de lâmpada LED entre lâmpadas de HID para o ano de 2013 [47].	94
5.1 Exemplo da mudança de índice da classe de iluminação, numa área de conflito (rotunda), quando o critério usado é a luminância [30].	103
5.2 Visualização do procedimento para o cálculo da área total [27].	108
6.1 Cadastro da rede de IP pelo município de Tavira [51].	114
6.2 Autocolante da EDP de "foco desligado"[54].	115
6.3 Ligação de uma luminária por mensagem de texto na vila alemã [55].	116
6.4 Diferença do espectro da lâmpada MasterColor HPS-Retro White (esquerda), com uma de HPS convencional [61].	126
6.5 Lâmpada MasterColor® Ceramic Metal Halide HPS-Retro White [61].	126
6.6 Esquerda: Lâmpadas convencionais HPS. Direita: Lâmpadas de iodetos metálicos [62].	127
6.7 Substituição de lâmpadas convencionais de HPS por luminárias LED [43].	128
6.8 Distribuição dos custos de uma instalação convencional de HID durante a sua vida útil [65].	128
6.9 Distribuição dos custos de uma instalação de IP utilizando tecnologia LED durante a sua vida útil [65].	129
6.10 Luminária de última geração FURYO para lâmpadas de HID [29].	130
6.11 Luminária de última geração SENSO para tecnologia LED [29].	130
6.12 Sistema típico de IP automático utilizando energia solar [67].	132
6.13 Luminária LED alimentada a energia solar em Marrocos [68].	133
6.14 Auto-estrada iluminada por um sistema autónomo a energia solar na Cidade de Calama no Chile [69].	133
6.15 Variação das estações no hemisfério norte durante o ano [3].	139
6.16 Exemplos de relógios astronómicos [3].	139
6.17 Exemplo de funcionamento de um Regulador de Fluxo Luminoso ao longo do período nocturno [3].	141

6.18	Reguladores de fluxo de várias potências a instalar à cabeceira dos PT [76].	141
6.19	Modo de funcionamento do <i>Tractus Sensor</i> [65].	146
6.20	Modo de funcionamento do <i>G Sensor</i> [65].	146
6.21	Modo de funcionamento do <i>Fog Sensor</i> [65].	147
6.22	Ilustração do sistema de detecção autónomo [29].	147
6.23	Demonstração do sistema de fotocélula [29].	148
6.24	Demonstração das poupanças energéticas com a funcionalidade de fluxo luminoso constante (CLO) [29].	149
6.25	Demonstração de um perfil de regulação de fluxo [29].	149
6.26	Exemplo de rede autónoma de controlo distribuído [79].	150
6.27	Rede autónoma de controlo distribuído com detecção de presença [79].	151
6.28	Rede interactiva com controlo central Owlet [79].	152
6.29	Exemplo de uma rede interactiva de telegestão [29].	153
6.30	Cadastro da rede de IP pelo município de Águeda [53].	154
6.31	Cadastro da rede de IP pelo município de Águeda [53].	155
6.32	Utilização de LED na aldeia de Arraiolos [29].	158
6.33	Nó da Angeja da A29 iluminada a LED [84].	159
6.34	Exemplos de luminárias para iluminação de espaços verdes em Portugal [41].	162
6.35	Distribuição de luz e poluição luminosa [21].	162
6.36	Exemplos de luminárias ineficientes utilizadas na IP em Portugal [41].	163
6.37	Exemplo IP ligada de dia, ou com horário de ligação desajustado às necessidades ambientes.	163
6.38	Exemplo do uso excessivo de iluminação [2].	164
6.39	Exemplo de luminárias obstruídas por objectos estranhos [2].	164
6.40	Emprego de luminárias sobrepostas [2].	165
6.41	Exemplo de difusor danificado [2].	165
6.42	Exemplo de luminária vandalizada [2].	166
6.43	Exemplo de iluminação intrusiva [2].	166
6.44	Exemplo de uso desadequado de luminárias para o tipo de via [2].	167
6.45	Exemplo de obstrução do fluxo luminoso por copas de árvores [4].	167
6.46	Exemplo de sobreposição de redes diferentes de IP.	168
7.1	Variante de Rabo de Peixe onde se efectuou o estudo.	170
7.2	Troço de via onde se efectuou o cálculo luminotécnico para as várias propostas.	173
7.3	Características da via e disposição dos postes de iluminação.	173
7.4	Vista 3D da posição das luminárias e área de cálculo luminotécnico.	174
7.5	Luminária existente Sapphire 2 [29].	175
7.6	Lâmpada de HPS SON-T de 250 W [36].	176
7.7	Curvas <i>isolux</i> e cores falsas para a solução existente para a solução com luminância média máxima.	177
7.8	Curvas <i>isolux</i> e cores falsas para a solução existente para a solução com luminância média mínima.	178
7.9	Luminária LED Teceo 1 fabricada pela Schréder [29].	179
7.10	Curvas <i>isolux</i> e cores falsas para a solução LED.	180
7.11	Lâmpada de HPS SON-T de 100 W [36].	182
7.12	Curvas <i>isolux</i> e cores falsas para a solução com lâmpada HPS de 100 W.	183
7.13	Luminária HID Furyo de alta eficiência fotométrica fabricada pela Schréder [29].	183
7.14	Lâmpada de iodetos metálicos CPO-TW 140W [36].	185
7.15	Curvas <i>isolux</i> e cores falsas para a solução com lâmpada MH de 140 W.	186

7.16	Área de conflito proposta onde se realizou o estudo.	186
7.17	Vista 3D da área de calculo e disposição das luminárias no programa Ulysse. . .	187
7.18	Curvas <i>isolux</i> e cores falsas para a área de cálculo da zona de conflito utilizando a solução existente.	188
7.19	Curvas <i>isolux</i> e cores falsas para a área de cálculo da zona de conflito utilizando a solução a LED.	189
7.20	Evolução de custos, por ano, para solução existente.	196
7.21	Excerto do fluxo de caixa para solução LED sem telegestão.	197
7.22	Evolução de custos, por ano, para solução LED sem telegestão.	198
7.23	Excerto do fluxo de caixa para solução LED com telegestão.	199
7.24	Evolução de custos, por ano, para solução LED com telegestão.	200
7.25	Excerto do fluxo de caixa para as luminárias existentes com lâmpada HPS redimensionada.	201
7.26	Evolução de custos, por ano, para as luminárias existentes com lâmpada HPS redimensionada.	202
7.27	Excerto do fluxo de caixa para as luminárias existentes com lâmpada de MH. . .	203
7.28	Evolução de custos, por ano, para as luminárias existentes com lâmpada de MH. .	204
7.29	Custos com investimento inicial.	205
7.30	Energia consumida por ano, em kWh, para todos os casos de estudo.	205
7.31	Custos de manutenção para todos os casos de estudo.	206
7.32	VAL de todos os casos de estudo.	207
7.33	TIR de todos os casos de estudo.	207
7.34	PRI de todos os casos de estudo, em anos.	208
7.35	Poupança energética obtida para os casos de estudo.	208
7.36	Visualização do procedimento para o cálculo da área total [27].	209

Lista de Tabelas

2.1	Iluminâncias e uniformidades globais recomendadas [17].	19
2.2	Consumo mundial de electricidade por sector de iluminação e potenciais poupanças, para o ano de 2005 [1].	20
3.1	Grupos de cor existentes nas lâmpadas com as gamas de temperatura de cor correspondentes [26].	32
3.2	Aparência das várias temperaturas de cor em Iluminação Pública [24].	33
3.3	IRC a aplicar para diferentes casos [24].	34
3.4	Factor de manutenção da luminosidade da lâmpada para diferentes fontes luminosas [27].	48
3.5	Factor de sobrevivência para diferentes tipos de lâmpadas [27].	49
3.6	Factor de manutenção da luminária para diferentes materiais e índices de protecção [27].	50
3.7	Definição de poluição alta e baixa [27].	50
4.1	Resumo dos tipos de balastros disponíveis para venda [3].	79
4.2	Quadro resumo da classificação de luminárias [3].	90
4.3	Significado do 1º algarismo do índice IP [27].	91
4.4	Significado do 2º algarismo do índice IP [27].	92
5.1	Classificação das três categorias de estradas existentes em Portugal [30].	98
5.2	Tipos da classe ME [27].	99
5.3	Seleção das classes de iluminação ME [27].	100
5.4	Classe da área de conflito correspondente à classe da estrada adjacente, quando a iluminância é o critério utilizado [50].	102
5.5	Parâmetros lumínicos da classe de iluminação CE da norma EN 13201:2003 [30].	102
5.6	Classe da área de conflito correspondente à classe da estrada adjacente, quando a luminância é o critério utilizado [27].	103
5.7	Tipos de classe da via P [27].	104
5.8	Seleção das classes de iluminação P [27].	105
5.9	Máxima intensidade luminosa para a classe G [27].	106
5.10	Factor de manutenção global para diversas tecnologias de iluminação [27].	108
5.11	Classificação energética das instalações de IP [27].	109
5.12	Classificação funcional da eficiência energética da via [27].	110
5.13	Legislação em vigor na IP [17].	111
5.14	Conversão da legislação em vigor para classes CE e ME do DREEIP [17][27]. .	111
6.1	Medida Iluminação Pública Eficiente (PNAE 2008) [7].	118
6.2	Metas Medida Iluminação Pública Eficiente (PNAE 2008) [7].	119

6.3	Potencial técnico de intervenção no sector da iluminação pública (PNAE 2008) [7].	120
6.4	Impacto da medida «Iluminação Pública Eficiente» no PNAEE 2016 [56].	122
6.5	Resultados alcançados com o PNAEE 2008 para o período de 2008-2010 [58]. . .	123
6.6	Poupanças alcançadas com o programa “Eficiência Energética no Estado” [56]. .	123
6.7	Exemplo de eficiência luminosa por lâmpada e luminária para HPS e LED [66]. .	131
6.8	Diferença entre luminâncias mesópicas para lampadas HPS e MH de igual fluxo luminoso [59].	136
6.9	Valores típicos do rácio S/P para diferentes tipos de tecnologias de iluminação [72].	136
6.10	Período de funcionamento das necessidades de uma rede de IP no hemisfério norte [3].	140
6.11	Exemplo do horário de funcionamento com e sem regulação de fluxo, para diferentes áreas, ao longo do ano [3].	142
6.12	Poupança energética com regulação de fluxo para cada tipo de lâmpada [3]. . . .	143
7.1	Método para determinação da classe ME [27].	171
7.2	Classes de via ME [27].	172
7.3	Espaçamento e altura dos postes de iluminação para o tipo de estrada. Os valores a negrito correspondem aos valores normalizados pela EDP [30].	174
7.4	Resultados luminotécnicos obtidos para a solução existente para a luminância média máxima.	176
7.5	Resultados luminotécnicos obtidos para a solução existente para a luminância média mínima.	177
7.6	Resultados luminotécnicos obtidos para a solução LED.	180
7.7	Resultados luminotécnicos obtidos redimensionando a potência da lâmpada para 100 W.	182
7.8	Resultados luminotécnicos obtidos para a lâmpada de 140 W de MH.	185
7.9	Classe da área de conflito correspondente à classe da estrada adjacente, quando a luminância é o critério utilizado [50].	187
7.10	Cálculo de ajuste com o modelo MOVE para a lâmpada SON-T 250 W [71]. . . .	190
7.11	Determinação da luminância mesópica para uma potência LED inferior.	191
7.12	Indicadores económicos para a solução existente.	195
7.13	Cálculo dos indicadores económicos para luminárias LED sem telegestão.	197
7.14	Cálculo dos indicadores económicos para luminárias LED com telegestão.	200
7.15	Cálculo dos indicadores económicos para as luminárias existentes com lâmpada HPS redimensionada.	202
7.16	Cálculo dos indicadores económicos para as luminárias existentes com lâmpada de MH.	204
7.17	Classificação funcional da eficiência energética da via [27].	209
7.18	Classificação energética das instalações de IP para a solução existente.	210

Abreviaturas e Símbolos

Lista de Abreviaturas

ADENE	Agência para a Energia
AP	Alta Pressão
BTN	Baixa Tensão Normal
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CFL	Compact Fluorescent Lamps
CIE	International Commission on Illumination
CLO	Constant Light Output
COLED	Cavity Organic Light-emitting Diode
CPI	Centro Português de Iluminação
DC	Direct Current
DLOR	Downward Light Output Ratio
DREEIP	Documento de Referência para a Eficiência Energética
EMI	Electromagnetic Interference
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
FM	Factor de Manutenção Global
FML	Factor de Manutenção da Luminária
FMLL	Factor de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada
FSL	Factor de Sobrevivência da Lâmpada/fonte de luz
FU	Factor de Utilização
HID	High-Intensity Discharge
HPM	High Pressure Mercury
IP	Iluminação Pública
IP	International Protection
IRC	Índice de Restituição de Cor
IV	Infravermelho
IVA	Imposto sobre o Valor Acrescentado
LED	Light Emitting Diode
LEP	Light Emitting Plasma
LOR	Light Output Ratio
LPS	Low-Pressure Sodium
MH	Metal Halide
MOVE	Mesopic Optimisation of Visual Efficiency
MPPT	Maximum Power Point Tracking
OLED	Organic Light Emitting Diode
PDIP	Plano Director de Iluminação Pública

PLC	Power Line Communication
PNAEE	Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética
PRI	Período de Recuperação do Investimento
PV	Photovoltaic
RF	Radio Frequencies
RNAE	Associação das Agências de Energia e Ambiente
SDLO	Selective Dynamic Lumen Output
SHR	Space Height Ratio
SI	Sistema Internacional
SR	Surround Ratio
SSL	Solid State Lighting
TI	Threshold Increment
TIR	Taxa Interna de Rentabilidade
ULOR	Upward Light Output Ratio
UV	Ultravioleta
VAL	Valor Actual Liquido
VPO	Virtual Power Output

Lista de Símbolos

A	Área
cd	candela
E	Iluminância
E_p	Iluminância total
GWh	Gigawatt-hora
I	Intensidade luminosa
K	Kelvin
L	Luminância
lm	lúmen
lm/W	Eficiência luminosa
lx	lux
m	metro
Meuro	Milhões de euros
nm	Nanómetro
P	Potencia
Ra	Índice de restituição de cor
Rc	Índice de restituição de cor
sr	Esterorradiano
Tc	Temperatura de cor
U_1	Uniformidade longitudinal
U_1	Uniformidade geral
W	Watt
η	Eficiência
θ	Ângulo
Φ	fluxo luminoso
ω	Frequência angular

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento e motivação

Iluminação pública (IP) é o nome dado ao sistema de iluminação nocturna que ilumina os espaços públicos.

É essencial para a qualidade de vida nos centros urbanos, actuando como instrumento de cidadania, permitindo aos habitantes desfrutar plenamente do espaço público no período nocturno. Além de estar também directamente ligada à segurança pública, a iluminação pública previne a criminalidade, embeleza as áreas urbanas, destaca e valoriza monumentos, prédios e paisagens, orienta percursos e permite aproveitar as áreas de lazer.

A iluminação consome cerca de 20% de toda a electricidade a nível mundial e assume um papel primordial na sociedade, quer a nível de iluminação de edifícios do sector dos serviços e das habitações, quer ao nível da iluminação exterior. Em particular, estima-se que a IP seja responsável por 0,95% do total de energia consumida a nível mundial [1].

Em Portugal a IP é responsável por cerca de 3% do consumo eléctrico nacional, e mais de 50% desta energia consumida não resulta em luz útil. Os custos da energia para a IP constituem, por vezes, mais de 70% nas despesas dos Municípios com energia [2]. Em particular, é actualmente estimado que a iluminação pública seja responsável por cerca de 20% a 40% do custo de electricidade típico de uma autarquia [3].

Estima-se que o número de pontos de luz em Portugal se encontre entre os 3 e os 4 milhões, sendo que a grande maioria estão sob a gestão da EDP, ao abrigo da portaria 454 de Maio de 2001 [2]. Desconhece-se o seu número exacto porque a maioria das concessionárias da rede e Municípios não conhece o estado actual do seu sistema de IP, carecendo de cadastros actualizados da sua rede [4].

O consumo da IP em Portugal seguiu até ao ano de 2009, uma tendência de crescimento de 4% a 5% ao ano, culminando num consumo energético de 1 673 GWh para esse ano. Porém, de 2009 a 2011 o consumo energético estagnou perto desse valor.

Dados mais recentes indicam que no ano de 2012 foram consumidos 1 554 GWh de energia, resultando numa redução de 7% relativamente ao ano anterior, o que contrariou a tendência de

crescimento da IP, fruto de medidas de poupança e eficiência energética.

Para o tarifário em vigor, no mesmo ano, o consumo de IP implicou aos Municípios um custo total de 171,02 M€ [5-6].

Com a extinção das tarifas reguladas para os consumidores de electricidade em Baixa Tensão Normal (BTN), as tarifas de venda de electricidade deixam de ser fixadas pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) e os preços passam a ser definidos em regime de mercado.

Simultaneamente, na sequência do previsto nos regulamentos tarifário e das relações comerciais, a tarifa de IP foi extinta no final de 2012, devendo os Municípios comunicar à EDP qual a opção tarifária que pretendem adoptar. Contudo, e não obstante o período transitório previsto para os consumidores em BTN, verifica-se que com a extinção do tarifário de IP, a isenção do pagamento de taxa de potência contratada deixou de vigorar desde o dia 1 de Janeiro de 2013 [6]. Deste modo, os custos com a IP sofreram um aumento significativo a partir de 2013.

Tal situação passou a ter um fortíssimo impacto no valor da factura de iluminação pública dos Municípios. Nestes últimos anos já tinham sido forçados a implementar drásticas medidas de racionalização dos consumos de energia para fazer face ao aumento do IVA e do custo de energia da tarifa de IP.

Como o pagamento da factura mensal de energia gasta em iluminação pública cabe aos Municípios, o verdadeiro pagador da energia consumida é o contribuinte português via impostos. A carga tributária em Portugal encontra-se em níveis máximos históricos sendo já uma das maiores da Europa, pelo que a redução da despesa pública é uma prioridade para aliviar o peso tributário das famílias portuguesas. A eficiência energética aplicada na IP pode ser resumida às acções que permitem reduzir a energia consumida do seu sistema, providenciando os níveis óptimos de iluminação garantindo sempre a segurança e conforto dos seus utilizadores. Por outras palavras, eficiência energética na IP é iluminar melhor consumindo menos energia.

Através de medidas de eficiência energética na IP, é possível identificar casos danosos, sobredimensionamentos ou falhas do sistema para o bom funcionamento da rede, sendo possível uma poupança energética e, por consequência, uma diminuição da factura de electricidade dos Municípios.

Face a este novo panorama, com o objectivo de obter a sustentabilidade do sistema de IP, foi estabelecido para Portugal, para o horizonte do ano de 2020, um objectivo geral de redução no consumo de energia primária de 25% e um objectivo específico para a administração pública de redução de 30%, sector onde vigoram os consumos da IP. Com o objectivo de alcançar estas metas foi criado, em 2008, o primeiro Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE). Com estas medidas pretende-se reduzir em 2% ao ano o consumo da IP, o que corresponde a 30 GWh por ano [7]. Esta economia de energia reverterá beneficemente para as autarquias, podendo reduzir a sua carga tributária beneficiando os contribuintes, ou possibilitando a realocação da poupança em novas infra-estruturas ou abatimento de dívida.

Existem no mercado diversas soluções e tecnologias que permitem melhorar a eficiência da IP, permitindo uma gestão mais eficiente. Estes sistemas podem também permitir economias directas

nos consumos de energia e levar a um aumento da vida útil das lâmpadas, permitindo assim uma redução dos custos de manutenção das instalações de IP.

A melhoria da qualidade destes sistemas traduz-se, nomeadamente, numa melhor imagem da cidade, favorecendo o turismo, o comércio, e o lazer nocturno, nunca descuidando os níveis óptimos de luminosidade aplicados nos espaços públicos.

A cultura do uso eficiente e racional da energia eléctrica contribui para o desenvolvimento social e económico sustentável da população.

1.2 Objectivos da dissertação

A crise económica que abraçou o país a partir de 2008 mostrou que as opções políticas energéticas em iluminação pública não são mais sustentáveis face aos custos operacionais inerentes.



Figura 1.1: Diagrama típico de custos, após 25 anos de vida útil de uma rede de IP [3].

Os custos associados a um sistema de iluminação, durante a sua vida útil, podem ser divididos em custos iniciais de investimento e custos operacionais, que incluem custos com manutenção e energia consumida. Ao analisar o diagrama da figura 1.1, fica bastante claro onde se deve actuar para reduzir os custos associados à iluminação, ou seja, é imperativo encontrar sistemas que possibilitem reduzir o consumo de energia eléctrica, utilizando sistemas mais eficientes, garantindo no mínimo a mesma segurança e conforto. Da mesma maneira, é possível reduzir, com sistemas inteligentes de telegestão, os custos associados à manutenção e operação das redes de IP.

Esta dissertação visa apresentar informação relevante, no que concerne às normas e leis existentes para projecto e manutenção de uma rede de iluminação pública e aos valores exigidos para os vários parâmetros luminotécnicos, passando pela caracterização técnica e económica dos vários componentes de um conjunto funcional (lâmpadas, luminárias, aparelhagem auxiliar e sistemas de controlo), com o objectivo de tornar a iluminação pública mais eficiente e segura, tendo em vista as preocupações actuais de eficiência energética e utilização racional de energia, adoptando as recomendações internacionais da *International Commission on Illumination* (CIE) e das melhores práticas numa perspectiva técnico-económica.

Foi ainda realizada uma caracterização dos sistemas de IP em Portugal e no Mundo ao longo da dissertação, demonstrando-se, sempre que possível, exemplos práticos aplicados na IP para a eficiência energética.

Esta dissertação é finalizada com um estudo de um caso prático de IP em Portugal, com o objectivo de fazer uma análise técnico-económica de várias propostas de diferentes sistemas e tecnologias de iluminação passíveis de aplicar na via, de modo a aumentar a segurança, conforto visual e eficiência energética da via.

1.3 Organização da dissertação

No capítulo 2, é realizada uma breve introdução da história e evolução da iluminação pública em Portugal e no Mundo. São ainda caracterizados os seus consumos energéticos, bem como abordados os aspectos legislativos da IP em Portugal.

No capítulo 3 abordam-se os principais conceitos e grandezas fundamentais associados à luminotecnia utilizada numa instalação de IP.

No capítulo 4, foram enunciadas as tecnologias de iluminação utilizadas na IP, abordando as suas vantagens e desvantagens características, bem como os constituintes de uma luminária para iluminação das vias públicas.

No capítulo 5, é abordado o novo Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública (DREEIP), criado de forma a estabelecer uma série de parâmetros técnicos que deve seguir um projecto de IP de modo a se obter uma maior eficiência energética destas instalações. É ainda efectuada uma comparação dos níveis de luz aplicados nas vias entre a legislação em vigor na IP, e o recomendado pelo DREEIP.

No capítulo 6, é efectuado um estudo exaustivo das medidas de eficiência energética possíveis de aplicar na IP que complementam o DREEIP.

No capítulo 7, é realizado um estudo de um caso prático de IP em Portugal que tem por objectivo a análise técnico-económica de várias propostas de diferentes sistemas e tecnologias de iluminação passíveis de aplicar na via, de modo a aumentar a segurança, conforto visual e eficiência energética da via.

No capítulo 8, apresentam-se as conclusões dos estudos apresentados na dissertação, e as possíveis investigações futuras para melhorar a eficiência energética na IP.

Capítulo 2

A iluminação pública em Portugal e no Mundo

2.1 História da iluminação pública em Portugal

Os candeeiros de iluminação pública em Lisboa datam pelo menos de 1780, ano em que se instituiu um serviço de iluminação pública a azeite nos tempos de D.^a Maria I. Eram os conhecidos lampiões de azeite, suspensos em consolas.

A partir de 1848 a Companhia Lisbonense de Iluminação a Gás inicia o seu serviço de iluminação pública a gás, através da criação de uma rede de canalizações subterrâneas. Os seus candeeiros iluminavam a zona central da cidade e pouco a pouco foram-se estendendo a toda a cidade. Os candeeiros adoptados tinham armações de base rectangular em que o sistema (de espalhador) era aceso manualmente pelo chamado vaga-lumes [8].

Em Setembro de 1878, data das comemorações do aniversário do príncipe D. Carlos, são marcadas pela iluminação da cidadela de Cascais com seis lâmpadas eléctricas Jablochkoff, semelhantes às que três meses antes tinham iluminado a Avenida da Ópera em Paris. Em Outubro desse mesmo ano acendem-se novamente estas lâmpadas agora no Chiado, em Lisboa. Os aparelhos necessários àquela instalação haviam sido adquiridos por D. Luís que, pouco tempo depois, os empresta à Câmara Municipal de Lisboa para a partir do dia 31 de Outubro iluminassem aquele local.

Por pouco tempo a luz branca e intensa dos arcos voltaicos rivaliza com a luz do gás, pois em Dezembro do mesmo ano, esgota-se o stock de velas de carvão, e em Fevereiro do ano seguinte os equipamentos são retirados, com a promessa da câmara municipal de "ressuscitar a luz Jablochkoff".

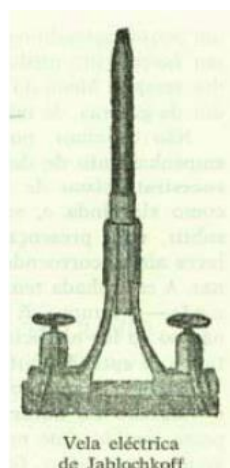


Figura 2.1: Vela eléctrica de Jablochhoff [9].

Deste acontecimento até ao estabelecimento em Lisboa de uma rede de iluminação eléctrica com carácter permanente decorreria ainda uma década, durante a qual em diversas ocasiões festivas, a luz eléctrica fazia a sua ténue aparição. A 9 de Outubro de 1887, é assinado o contrato entre a Câmara Municipal de Lisboa e a Companhia Gás de Lisboa. É por acção da nova companhia, que a Av. Da Liberdade virá a usufruir da moderna tecnologia de iluminação, adquirindo 700 m^2 de terreno para aí construir “uma estação eléctrica onde devem funcionar os aparelhos para a iluminação eléctrica da Avenida e estabelecimentos que queiram usar esta luz” [9].

No ano de 1888, a Câmara Municipal de Lisboa procurando melhorar a iluminação das ruas principais da cidade, implementa na Av. Da Liberdade, a primeira rede eléctrica de serviço público, a 1 de Junho desse ano.



Figura 2.2: Arco voltaico usado na Iluminação pública a electricidade de Lisboa [10].

A primitiva rede eléctrica de Lisboa só foi ampliada em 1903, quando se passou a produzir electricidade nas instalações da antiga fábrica de gás, mas mesmo nesta altura a dimensão da rede continuava a ser diminuta. Estas manifestações pontuais dos efeitos da iluminação a luz eléctrica nas ruas de Lisboa, contribuem para incentivar a ampliação da rede de iluminação pública e atrair novos consumidores particulares, tendo sido para isso construída uma nova fábrica de electricidade.

Tal como aconteceu em Lisboa, também no Porto se realizam algumas demonstrações da nova fonte de luz, como sucedeu em Outubro de 1885, na comemoração do regresso de Ivens e Capelo da sua expedição à África Austral. Na Rua Passos Manuel são colocadas duas lâmpadas eléctricas, alimentadas pela instalação de um particular.

Só em 1908, com a constituição da Sociedade de Energia Eléctrica do Porto e com a construção da Central do Ouro, a iluminação pública passa a ser feita a electricidade e se amplia a rede de distribuição desta fonte de energia e iluminação aos particulares.

Em 1892 surge o primeiro regulamento para a concessão de licenças de estabelecimento de linhas eléctricas, começando então a surgir os primeiros projectos para a iluminação total de uma cidade. Tal é o caso de Braga em 1893, e no ano seguinte Vila Real por iniciativa dos respectivos municípios.

O virar do século não traz grande mudança na electrificação do país. À semelhança da última década do século XIX, a electricidade vai-se estendendo, lentamente por pequenas redes locais. Por iniciativa empresarial ou camarária, cidades e vilas promovem a iluminação pública a electricidade, produzida em centrais especificamente construídas para o efeito ou comprando-as a fábricas

onde estava instalada e cuja produção excedia as necessidades de consumo. Um exemplo de iluminação pública a partir de centrais especificamente construídas para esse efeito, são Guimarães e Viseu em 1901 e 1907 respectivamente.

Nas duas primeiras décadas do século XX, várias outras cidades e vilas são iluminadas a electricidade por iniciativa de empresas que, tendo optado por utilizar esta fonte de energia e iluminação, a rentabilizam através de contratos estabelecidos com as Câmaras.

A proximidade de Espanha, onde a indústria eléctrica já estava mais desenvolvida, foi determinante para a introdução precoce da iluminação a electricidade em algumas vilas ou cidades da raia, como é o caso de Portalegre e Valença.

A atracção pela iluminação a electricidade tornou possível que, em algumas cidades onde a concessão para a iluminação pública estava a cargo de uma companhia de gás, se estabelecessem redes privadas de distribuição de electricidade. Foi o caso do Porto, Évora e Alcobaça, esta última a partir de 1907. Em Peso da Régua e Lamego, a iluminação pública a electricidade inicia-se em 1907, a partir da energia produzida na central do Chocalho. Dois anos depois é a vez de Seia, que começa a receber a energia eléctrica produzida na central de Nossa Senhora do Desterro, através de uma linha de 12 kV que ligava a central à vila.

A iluminação a luz eléctrica de algumas cidades ou vilas faz-se num processo integrado com a implementação da tracção a electricidade. É o que acontece, por exemplo, com a Vila de Ovar, onde a iluminação a luz eléctrica, inaugurada em 1913, se deve à iniciativa da Companhia de Iluminação e Tracção de Ovar.

Em Novembro do mesmo ano, iniciam-se os primeiros trabalhos de construção de um açude no rio Vizela, cuja água passa a alimentar a central de Santa Rita, construída para fornecer energia eléctrica à vila de Fafe. A iluminação a electricidade é inaugurada às 14 horas do dia 5 de Outubro de 1914 [9].

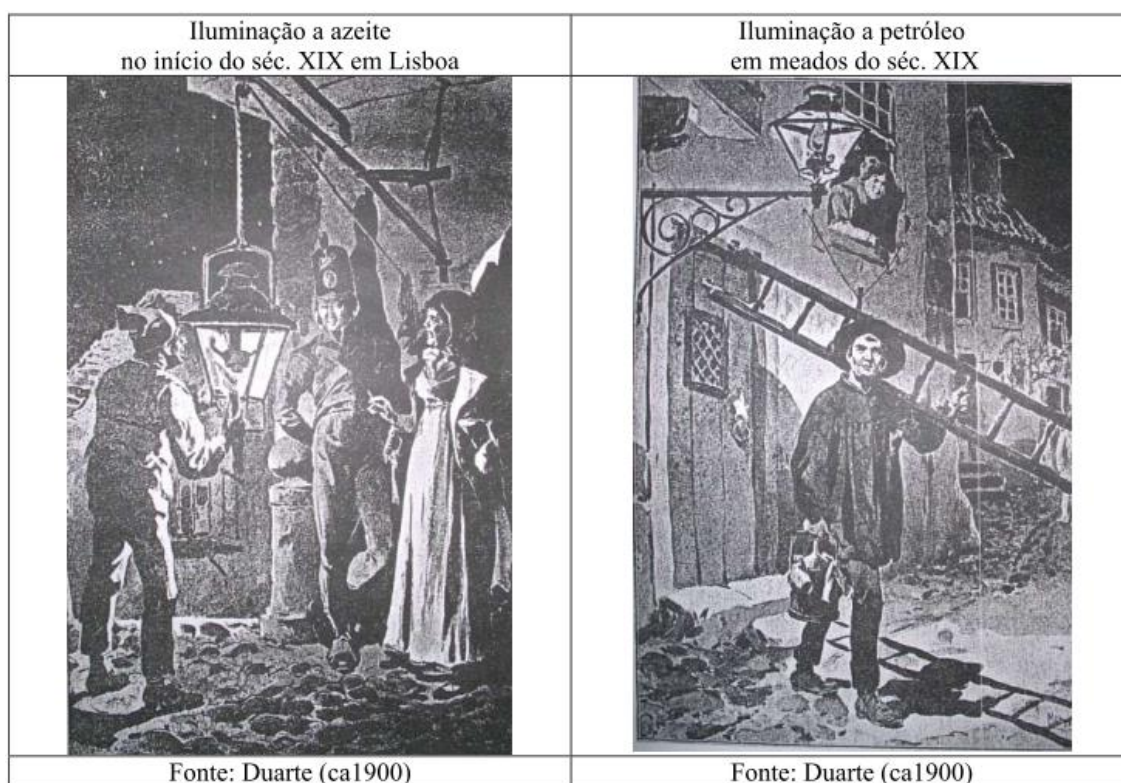


Figura 2.3: Ilustração de iluminação a azeite e a petróleo em Lisboa durante o século XIX [10].

A figura 2.4 evidencia a evolução das várias tecnologias de iluminação em Lisboa ao longo do tempo da existência da iluminação pública, desde o seu início a azeite, passando pela introdução da iluminação a gás em 1848 e depois de petróleo, verificando-se mais tarde o crescimento quase exponencial da utilização de iluminação eléctrica, sendo a ser utilizada em grande escala a partir da década de trinta do século XX. Observa-se ainda que o pico dos azeites se dá entre os anos vinte e quarenta do século XIX, enquanto que o pico do gás se dá entre os anos noventa do século XIX e dez do século XX.

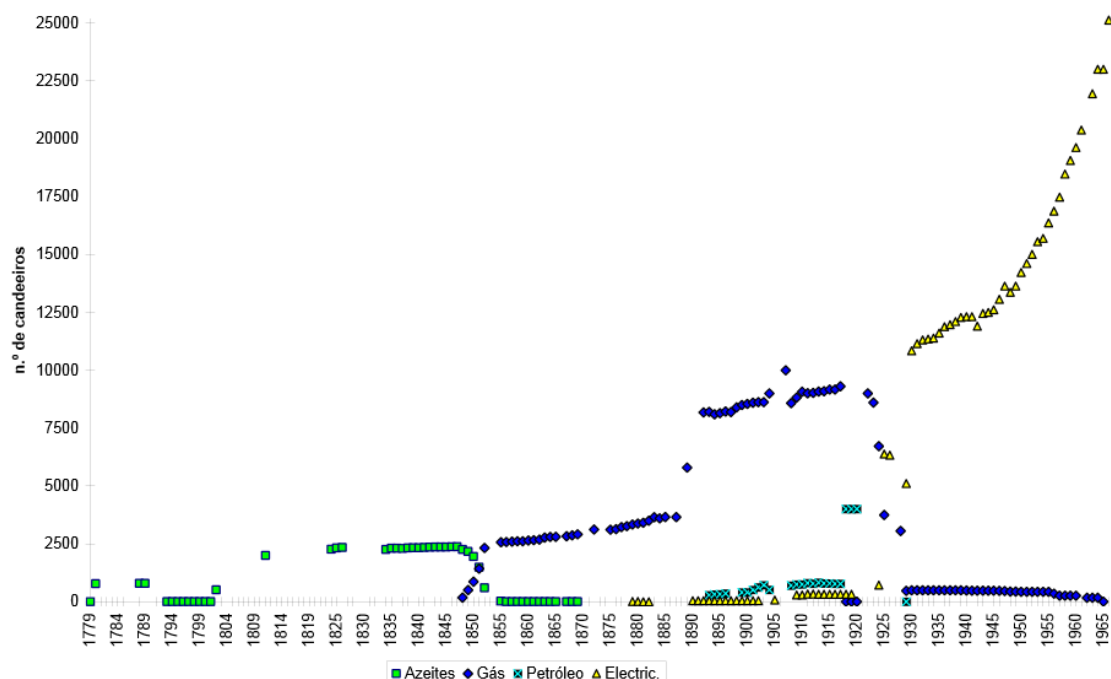


Figura 2.4: Evolução cronológica das diferentes tecnologias de iluminação em Lisboa [10].

A partir de 1848 e nos 118 anos seguintes, houve sempre coexistência entre os vários tipos de tecnologias de fontes de luz (apesar da ausência de informação quanto ao número de candeeiros a petróleo entre 1862 e o início da década de 1890), sendo apenas em 1965 que surge a exclusividade da iluminação eléctrica, onde o Bairro de Santa Catarina em Lisboa é o último lugar do uso da iluminação a gás. São as últimas luzes do gás na iluminação pública lisboeta, e do país [10].

A história das tecnologias de iluminação na iluminação pública no panorama nacional assemelha-se ao caso lisboeta, com a excepção do uso do petróleo que nunca teve grande aderência no município e foi de pouca duração, como se verifica na figura 2.5.

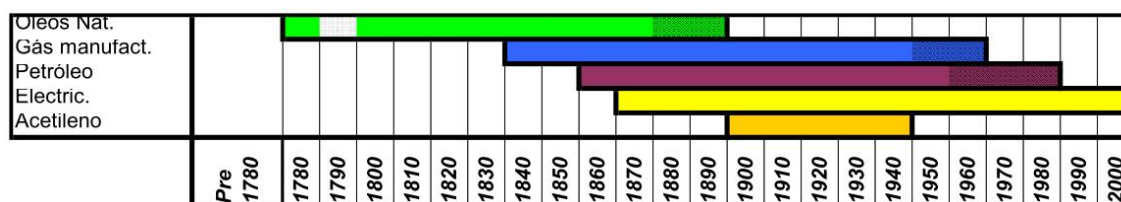


Figura 2.5: Cronograma de sistemas em uso no país, 1780-2006 [10].

A título de curiosidade, a iluminação a gás natural acabou em Portugal no ano de 1965, mas não na Europa e muito menos do mundo. Berlim, Londres, Baltimore entre outras cidades do mundo desenvolvido, mantêm todas ainda hoje iluminação a gás, agora com propósitos de arquitectura da nostalgia. José Alves Costa, ainda o propôs para Lisboa em 1996, mas não consta que

tal tenha sido posto em prática na cidade. Berlin possui 40 000 candeeiros a gás natural, o que equivale a metade das estimativas de candeeiros a gás natural no mundo. [10]

2.2 O panorama actual da iluminação pública em Portugal

Num panorama mais actual, as figuras 2.6, 2.7 e 2.8 ilustram, vistas do espaço recorrendo ao uso de satélites, a iluminação pública na península ibérica, arquipélago da Madeira e Açores à data de 2012.



Figura 2.6: Vista aérea nocturna da península ibérica no ano de 2012 [11].

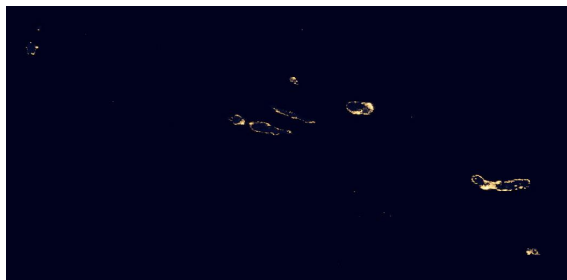


Figura 2.7: Vista aérea nocturna do arquipélago dos Açores no ano de 2012 [11].

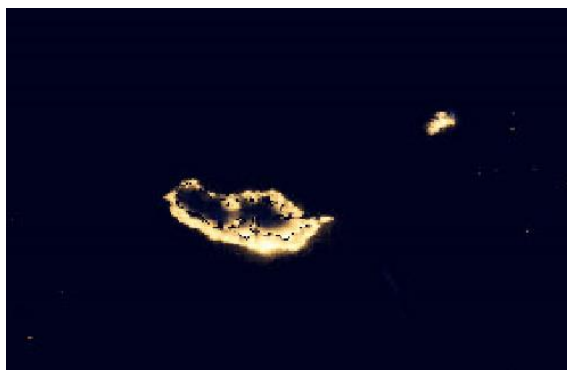


Figura 2.8: Vista aérea noturna do Arquipélago da Madeira no ano de 2012 [11].

2.2.1 Caracterização do consumo de electricidade em Portugal

Em 2012 foram consumidos cerca de 47 000 GWh de energia eléctrica no país. Deste total cerca de 45% foi consumido na região Norte, seguindo-se a região Centro com 37%, o Alentejo com 13% e a região do Algarve com 6%. Com proporções inferiores, a região da Madeira apresenta um consumo de 3% e a região dos Açores apenas 2%, como mostra a figura 2.9 [5].

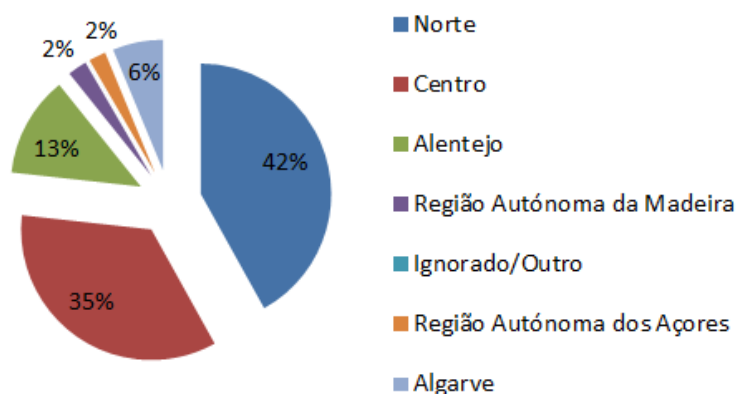


Figura 2.9: Repartição geográfica dos consumos de energia eléctrica em 2012 [5].

Da análise do gráfico da figura 2.10, verifica-se que em termos sectoriais, o Algarve é a região que proporcionalmente mais gasta em consumo doméstico e no sector não doméstico é a região da Madeira. O Alentejo possui a maior parcela do sector agrícola enquanto que a maior proporção de consumo no sector industrial pertence ao centro do país, e a maior proporção de consumo destinado a iluminação pertenceu à região da Madeira [5].

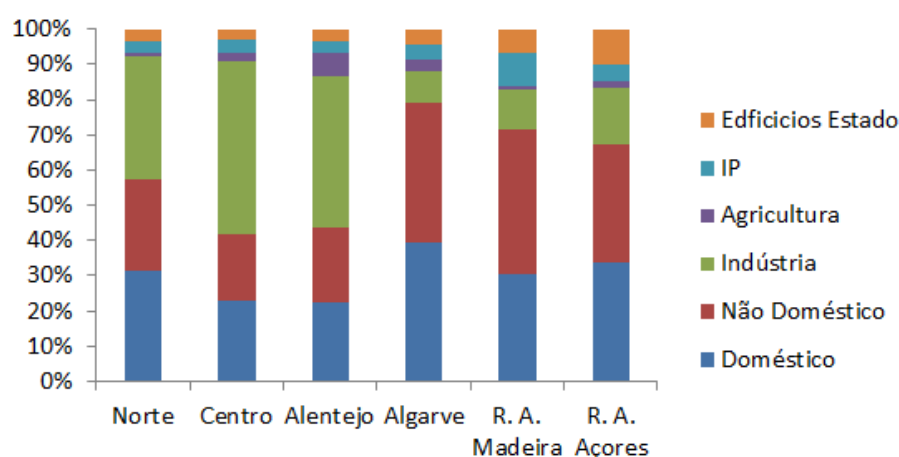


Figura 2.10: Repartição dos consumos de energia eléctrica por sector e por região [5].

2.2.2 O consumo de iluminação pública em Portugal

A iluminação pública é responsável por 3% do consumo eléctrico total de 47 000 GWh consumidos no ano de 2012 em Portugal, e os custos energéticos associados a ela nalguns casos, representam mais de 70% das despesas dos Municípios com a factura de energia eléctrica [2]. Em particular, é actualmente estimado que a IP seja responsável por cerca de 20% a 40% do custo de electricidade típico de uma autarquia [3].

Da análise da figura 2.9 constata-se que do total de electricidade consumida no país para os últimos dados disponíveis de 2012, 36% ficou a dever-se ao sector industrial, 28% ao sector doméstico, 26% ao sector não doméstico, 4% para edifícios do Estado e 3% relativo à IP, cabendo apenas 2% ao sector agrícola, pertencendo o restante consumo a vários outros sectores [5].

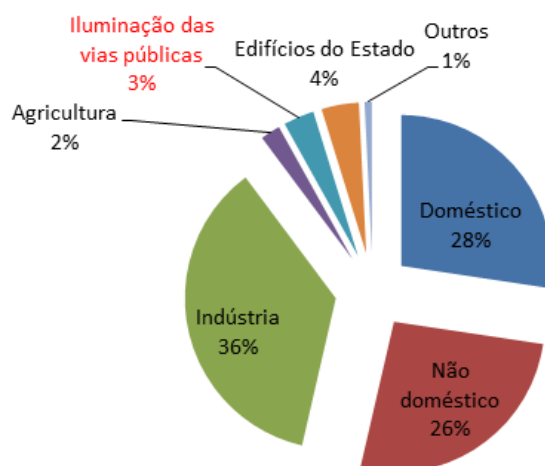


Figura 2.11: Repartição dos tipos de consumo em 2012 [5].

Efectuando-se uma breve análise dos restantes consumos, constata-se que os sectores que apresentam maior gasto energético é o da indústria, seguido dos sectores doméstico, não doméstico,

edifícios do estado, iluminação das vias públicas, agricultura e outros.

A figura 2.10 mostra a evolução do consumo energético da IP em Portugal de 1994 a 2012.

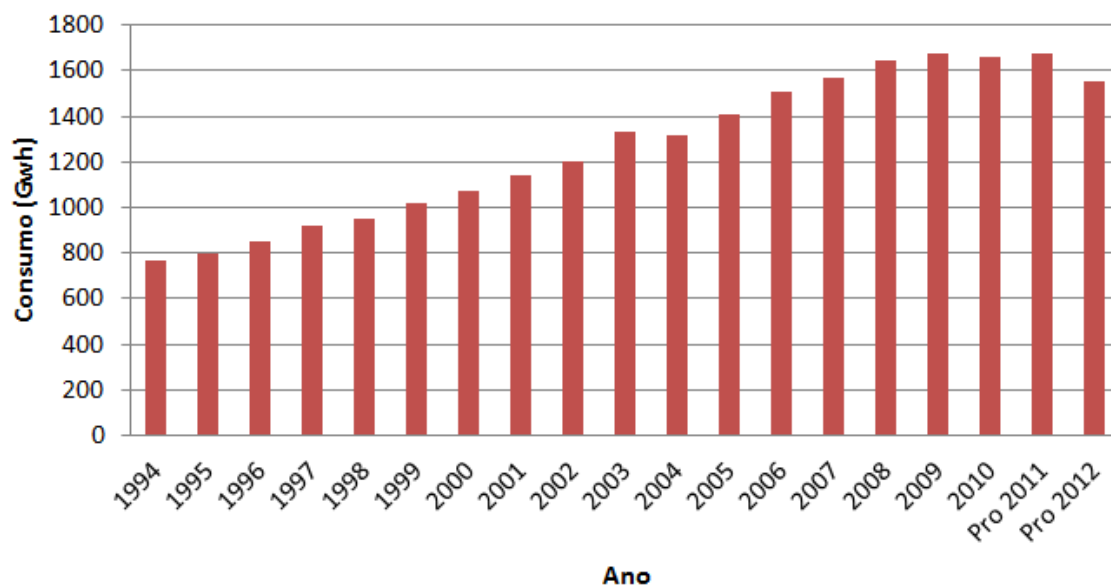


Figura 2.12: Consumo da IP em Portugal de 1994 a 2012 [5].

Da análise ao gráfico da figura 2.12, constata-se que nos últimos anos tem-se verificado uma tendência de aumento do consumo de energia eléctrica em cerca de 4% a 5% por ano até 2009. O consumo de 2009 a 2011 estabilizou por volta dos 1 670 GWh. Para 2012, o consumo de IP foi de 1 554 GWh, traduzindo-se numa redução do consumo em cerca de 116 GWh, resultando numa redução de 7%, contrariando o crescimento médio de 4% a 5% ao ano, fruto das medidas de poupança e eficiência energética realizadas pelos municípios que se apresentarão nos próximos capítulos.

Relativamente à repartição do peso do consumo da IP nas regiões de Portugal, verifica-se através do gráfico da figura 2.13, serem as regiões autónomas (Madeira e de seguida Açores) as regiões com maior peso relativo da IP nos consumos globais. Este facto pode estar ligado ao tipo de actividades económicas predominantes nessas regiões como o turismo, ou a outros factores tais como, por exemplo, a baixa eficiência energética da IP [5].

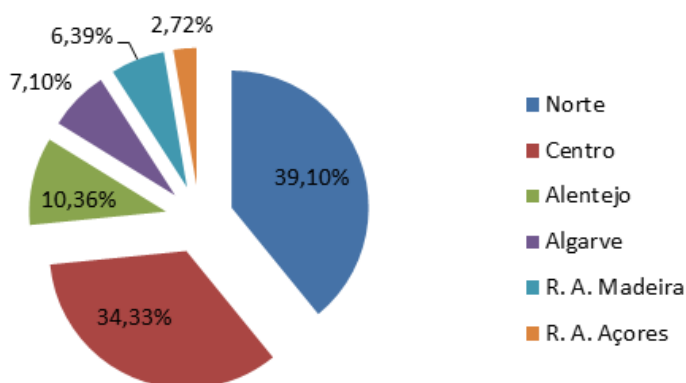


Figura 2.13: Repartição dos consumos de IP por região [5].

2.2.3 A tarifa de iluminação pública em Portugal

A ERSE oferecia até 1 de Janeiro de 2013 aos municípios, a vantagem de aferirem de uma tarifa exclusiva destinada para a IP e à isenção do pagamento de taxa de potência contratada [6].

O gráfico da figura 2.14 apresenta a evolução da tarifa associada à iluminação pública apenas de 2005 a 2012, visto não ter sido possível averiguar os preços respeitantes a anos anteriores.

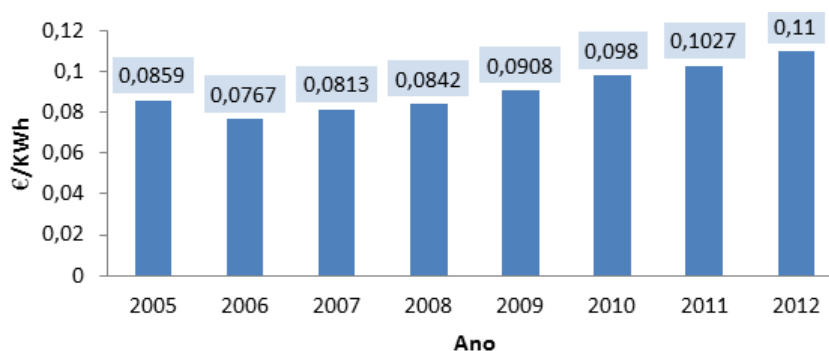


Figura 2.14: Evolução da tarifa da iluminação pública [8-9].

Embora a tarifa associada à iluminação pública tenda a aumentar anualmente, mediante análise do gráfico da figura 2.14, é possível verificar que de 2005 para 2006 houve uma diminuição de 0,0092 €/kWh na tarifa da IP.

Os aspectos tidos em conta pela ERSE na fixação de tarifas num determinado ano para o seguinte são [12]:

- Custos dos combustíveis e produção das centrais térmicas.
- Custos derivados da hidraulicidade.
- Importações e exportações de energia eléctrica.

- Licenças de CO₂.
- A produtibilidade hidroelétrica.
- O total do consumo dos clientes do Comercializador de Último Recurso.
- Os custos de produção face a outras fontes de abastecimento dos clientes do Comercializador de Último Recurso.
- A evolução da Produção em Regime Especial (PRE).

Relativamente à hidraulicidade, se o ano for seco há que tomar em consideração o preço dos combustíveis fósseis, uma vez que torna-se indispensável a entrada em funcionamento de centrais térmicas, naturalmente mais caras que as hídricas [5][12].

Com a extinção das tarifas reguladas para os consumidores de electricidade em Baixa Tensão Normal (BTN), as tarifas de venda de electricidade deixam de ser fixadas pela ERSE e os preços passam a ser definidos em regime de mercado. Esta passagem está programada para dois momentos distintos, salvaguardando-se um período transitório que foi fixado para permitir a transição gradual dos consumidores de electricidade para o mercado:

- De 1 de Julho de 2012 até 31 de Dezembro de 2014 para os consumidores de electricidade em BTN com uma potência contratada igual ou superior a 10,35 KVA.
- De 1 de Janeiro de 2013 até 31 de Dezembro de 2015 para os consumidores de electricidade em BTN com uma potência contratada inferior a 10,35 KVA.

De forma a incentivar o fornecimento da IP no mercado e podendo a tarifa de iluminação pública ser considerada como uma tarifa dependente do uso, a ERSE através do regulamento tarifário publicado em 2011, veio definir um novo quadro regulamentar para o fornecimento de iluminação pública, propondo a eliminação da tarifa de venda a clientes Finais dos comercializadores de último recurso de IP a 31 de Dezembro de 2012, devendo os municípios comunicar à EDP qual a opção tarifária que pretendem adoptar e determinando a instalação de equipamentos de medida mais sofisticados em todos os pontos de consumo de iluminação pública.

Contudo e não obstante, com o período transitório previsto para os consumidores em BTN, verifica-se que com a extinção do tarifário de Iluminação Pública, a isenção do pagamento de taxa de potência contratada deixou de vigorar desde o dia 1 de Janeiro de 2013. Tal situação teve um fortíssimo impacto no valor da factura de IP dos municípios, que foram já nestes últimos anos forçados a implementar drásticas medidas de racionalização dos consumos de energia para fazer face ao aumento do IVA e do custo de energia registado no final de 2011 [6][13].

2.2.4 Custos da iluminação pública em Portugal

Partindo da evolução das tarifas de iluminação pública em Portugal, construiu-se o gráfico da figura 2.15, que demonstra a evolução dos custos da IP a nível nacional.

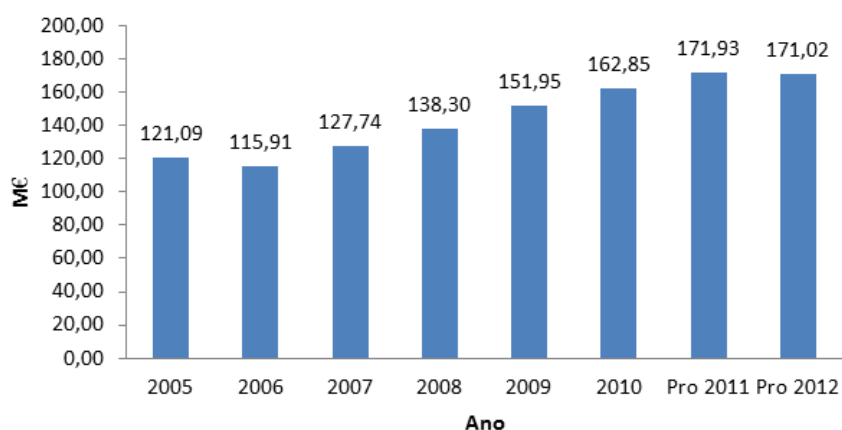


Figura 2.15: Evolução dos custos do consumo da IP em Portugal [7-8].

Para o ano de 2005 e aplicando o tarifário em vigor para esse ano, o valor do consumo de IP correspondeu a cerca de 121 milhões de euros. Dados mais recentes indicam que em 2011 foi consumida uma quantia de 1 674 GWh, o que com o tarifário em vigor para esse ano implicou um custo de 171,93 M€. Assim, de 2005 a 2011 verificou-se um aumento dos custos energéticos em 50,84M€ [5][14].

Já no ano de 2012, com o tarifário em vigor para esse ano, o consumo de IP implicou aos municípios um gasto total de 171,02 M€. Verifica-se que houve uma poupança mínima de 0,91 M€ de 2011 para 2012, pois apesar do consumo ter diminuído 7%, a tarifa de IP de 2011 para 2012 sofreu um aumento de 0,0073 €/kWh [5][6][13].

Os custos de energia consumida na IP para o ano de 2013, sofrerão um aumento significativo, devido à isenção do pagamento da taxa de potência contratada.

2.2.5 Legislação em vigor para a iluminação pública

A legislação aplicada actualmente na IP refere-se com mais relevância para o Regulamento de Segurança em Redes de Distribuição de Energia Eléctrica de Baixa Tensão (RSRDEEBT), documento destinado a fixar as condições técnicas que devem obedecer o estabelecimento e a exploração das instalações eléctricas com vista à protecção das pessoas e coisas à salvaguarda dos interesses colectivos, e ao Decreto-Lei n.º 341/90 e Portaria n.º 454/2001 delegando o responsável pelo funcionamento e manutenção da rede de IP, definindo as regras para a sua concessão. Definem ainda iluminâncias e uniformidades globais recomendadas para zonas rurais, zonas urbanas, sedes de freguesias e para núcleos antigos delimitados. No Decreto-Lei n.º 341/90, está incluído referencias aos Decretos-Lei n.º 344-B/82, 297/86 e 449/88, importantes para compreender a legislação em vigor[15-17].

O RSRDEEBT, no capítulo VII - artºs 67 a 72 - refere-se, especificamente, às "Instalações de Iluminação Pública", pelo que este articulado particular, para além do articulado geral, deve ser conhecido por quem faz o projecto da rede de IP [15].

Referindo os aspectos mais importantes do Decreto-Lei n.º 341/90, diz o Decreto-Lei n.º 344-B/82, de 1 de Setembro, que o mesmo "estabelece que a distribuição de energia eléctrica em baixa tensão no continente compete aos municípios, podendo estes exercê-la ou por exploração directa ou mediante regime de concessão à EDP e a empresas públicas de âmbito local ou regional, salvaguardando, no entanto, a situação das concessões, à data existentes, a empresas privadas, enquanto aquelas subsistam, e permitindo a outorga de concessões aos produtores independentes."

O Decreto-Lei n.º 297/86, de 19 de Setembro, "veio alargar o âmbito dessas entidades, permitindo aos municípios outorgarem concessões de distribuição de energia eléctrica em baixa tensão também a cooperativas."

Porém, com a entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 449/88, de 10 de Dezembro, "a EDP deixa de deter, em regime de exclusivo, a exploração do serviço público de produção, transporte e distribuição de energia eléctrica no continente, deixando de existir qualquer justificação para que apenas a EDP seja referida como entidade distribuidora."

Diz o artigo 3º do Decreto-Lei n.º 341/90, que "os contratos de concessão entre os municípios e as entidades referidas nos n.os 3 e 4 do artigo 1.º serão celebrados pelo prazo de 20 anos, renováveis por iguais períodos, e a sua denúncia, no termo do prazo ou das suas prorrogações, deverá ser manifestada com uma antecedência mínima de dois anos." [16].

Deste modo, o CPI estima que os contractos de concessão entre os municípios para a gestão e manutenção da IP, terminem entre o ano de 2015 e o ano de 2021 [18].

Finda a concessão, os municípios podem acordar em manterem-se ao mesmo concessionário, ou mudar se assim for do seu interesse.

Diz ainda a Portaria n.º 454/2001, que "a gestão da iluminação pública é da inteira responsabilidade da Câmara no que respeita a níveis e horários de iluminação e ao tipo e número de aparelhos de iluminação e lâmpadas em serviço. O concessionário obriga-se a implementar o sistema de comando de iluminação pública que for acordado com a Câmara, bem como a mantê-lo actualizado e em bom estado de funcionamento, garantindo a necessária assistência à rede de iluminação pública, salvo se outra solução for acordada." Compete ainda ao "concessionário manter em bom estado de conservação as instalações de iluminação pública e o concessionário suportará inteiramente os encargos de conservação dos aparelhos de iluminação e dos respectivos suportes, quer constituam ou não apoios da rede de distribuição, desde que sejam do tipo corrente." [17].

A mesma portaria refere as iluminâncias e uniformidades globais recomendadas para zonas rurais, zonas urbanas, sedes de freguesias e para núcleos antigos delimitados, apresentadas na tabela 2.1.

Tabela 2.1: Iluminâncias e uniformidades globais recomendadas [17].

Iluminância e uniformidades globais recomendadas	Zonas rurais		Zonas urbanas e sedes de freguesia	Núcleos antigos delimitados
	Rede subterrânea	Rede aérea		
Centro, arruamentos e largos principais	15 lux	10 lux		20 lux
Arruamentos e largos principais			25 lux	
Periferias	10 lux	5 lux	20 lux	
Área envolvente				15 lux
Uniformidade global (min./méd.)	0,35	0,35	0,4	0,35

2.3 A iluminação pública a nível Mundial

A figura 2.16 evidencia a iluminação nocturna do mundo vista do espaço.

O continente Europeu, a América do Norte, Índia, China e Japão no continente Asiático apresentam uma iluminação mais notória que no resto do mundo.

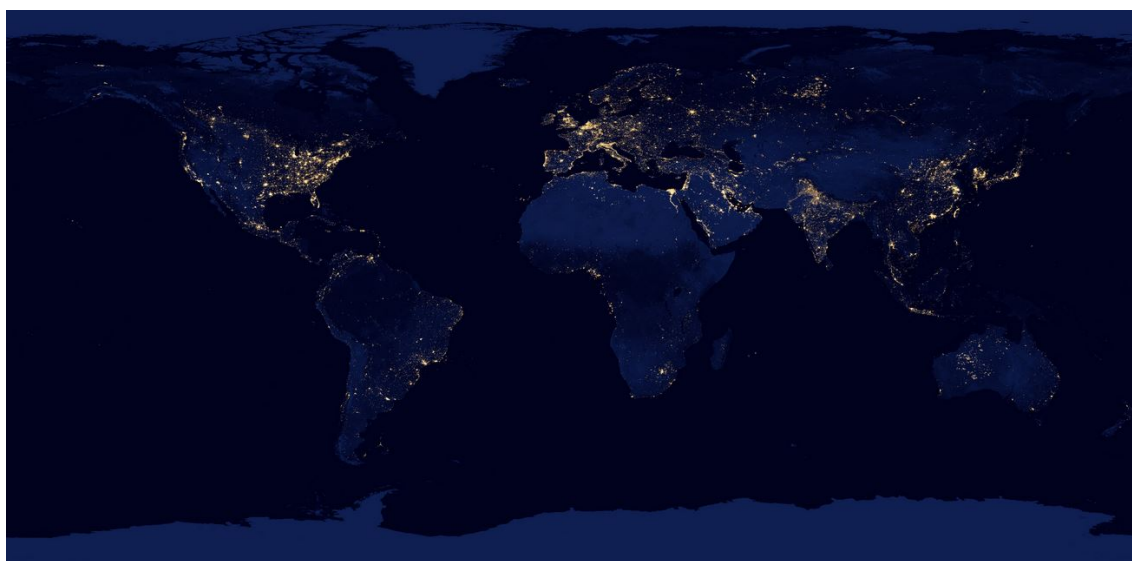


Figura 2.16: A iluminação nocturna vista do espaço em 2012 [11].

A quantidade de luz artificial produzida por uma determinada sociedade está correlacionada com o seu estatuto económico, onde os países ricos e desenvolvidos tendem a ser mais brilhantes do que as nações em vias de desenvolvimento.

Em 2005, foi realizado um estudo para se determinar o consumo de energia eléctrica a nível mundial. Este estudo é o mais recente do género, pelo que não existem dados para os anos seguintes.

O consumo estimado de energia eléctrica para a iluminação pública na União Europeia dos 25, em 2005, foi de 35 TWh, representando aproximadamente 1,3% do total de energia consumida.

Para o mesmo ano, o consumo total mundial de energia eléctrica em aplicações de iluminação resultou em 19% da energia total consumida de 19 982 TWh. Só em IP, estima-se que o consumo tenha sido de 147 TWh, o que corresponde a cerca de 0,95% do consumo global total, e 5,5% do consumo global em iluminação, como mostra a tabela 2.1. Uma parcela relativamente pequena comparando com o total consumido no mundo, mas que na verdade corresponde a um enorme valor em termos energéticos.

O total consumido no mundo em IP, é superior ao triplo do consumo total de energia em Portugal [1][5].

Tabela 2.2: Consumo mundial de electricidade por sector de iluminação e potenciais poupanças, para o ano de 2005 [1].

Sector de Iluminação	Consumo global de energia em iluminação em 2005	Poupança energética	Poupança energética
	Terawatt-horas	Terawatt-horas	Percentagem
Total Iluminação doméstica	1.045	826	79
Total Iluminação Comercial	1.460	971	66
Países OECD	915		
Sem países OECD	545		
Total Iluminação Industria	632	307	49
Total Iluminação de Exteriores	281	113	40
Iluminação Pública	147		
Parques estacionamento	113		
Luzes de tráfego	19		
Total do Mundo	3.418	2.217	65

As perspectivas de redução da energia eléctrica consumida com a iluminação em 65%, aplicando medidas de eficiência energética, reduziria a percentagem consumida de energia eléctrica total do mundo de 19% para 7%, em aplicações de iluminação. Esta poupança utilizando tecnologias mais eficientes resultaria no encerramento de 705 centrais a carvão com uma potência de 500 MW por todo o mundo [1].

O gráfico da figura 2.17 ilustra a evolução do consumo energético para o sector da iluminação a nível mundial para diferentes políticas energéticas.

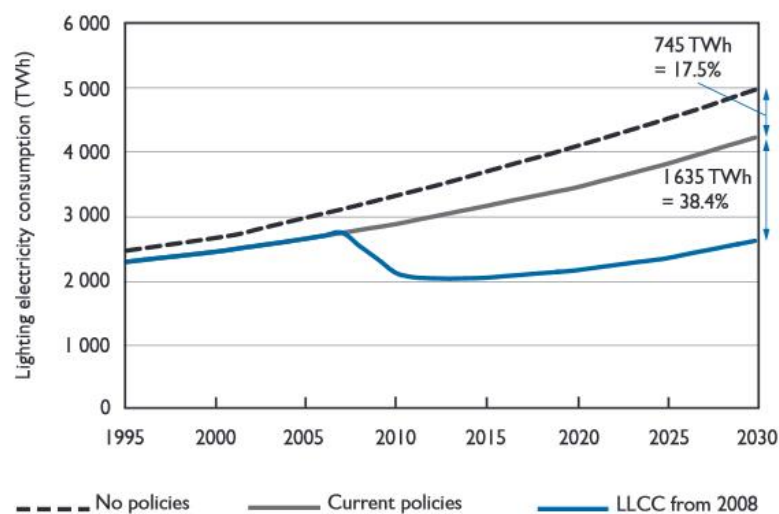


Figura 2.17: Evolução da IP no Mundo e perspectivas para o futuro. LLCC é o menor custo de ciclo de vida [19].

2.3.1 Evolução da iluminação pública mundial

Um grupo de investigadores do instituto de tecnologia ETH Zürich da Suíça, publicou um estudo que analisa imagens arquivadas de satélite com o objectivo de tirar conclusões sobre a distribuição das luzes nocturnas a nível mundial. De acordo com esta análise o centro médio de iluminação do planeta tem vindo a deslocar-se para leste a um ritmo de 60 km por ano, como mostra a figura 2.18, tendência que é por sua vez o reflexo de uma transformação dos centros económicos.

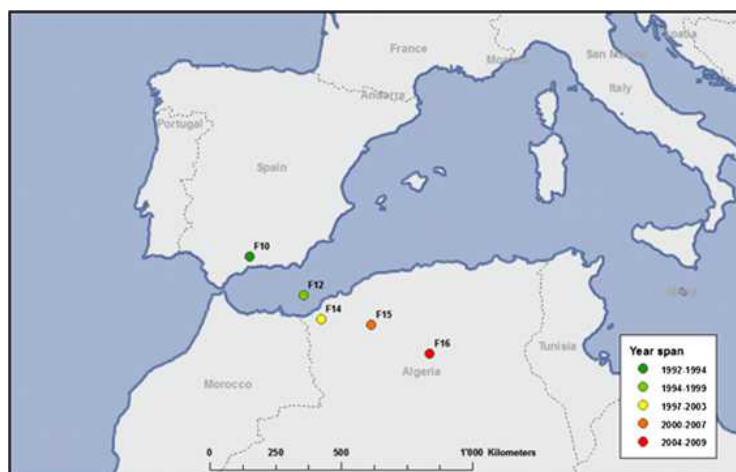


Figura 2.18: Centro de luz da iluminação pública ao longo dos anos de estudo [20].

Os investigadores envolvidos no estudo tentaram assim determinar de que forma a distribuição da iluminação nocturna tem evoluído ao longo do tempo. Usaram para tal dados publicados pelo

Defense Metereological Satellite Program dos EUA, que regista os níveis de iluminação nocturna dos vários pontos do mundo desde meados dos anos 60. Afirmaram que “durante os últimos 17 anos (o centro de luz) moveu-se gradualmente em direcção a leste perto de 1 000 km, a um ritmo de 60 km por ano”. Os investigadores também usaram as luzes nocturnas de modo a registar outros géneros de estudo como as alterações socioeconómicas de países em desenvolvimento como o Brasil ou a Índia, a descida dos níveis de iluminação de países em declínio demográfico e com queda da população urbana, como a Rússia e a Ucrânia, e ainda o sucesso dos programas de mitigação da poluição luminosa no Canadá e no Reino Unido.

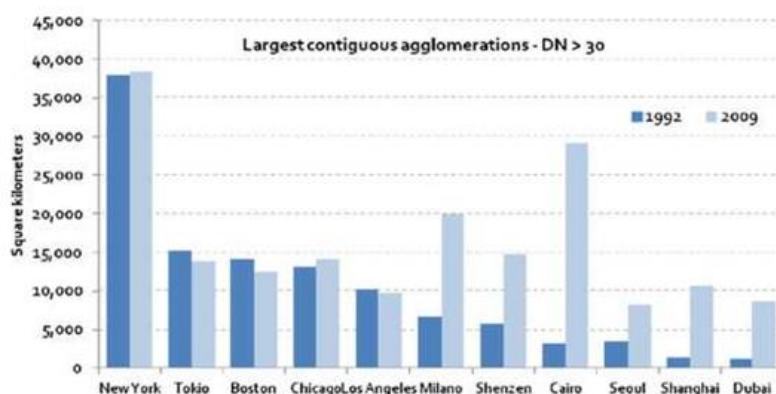


Figura 2.19: Maiores aglomerações contínuas de luminosidade detectadas no estudo [20].

As cidades do Ocidente, na parte esquerda do gráfico da figura 2.19, apresentam uma tendência de estabilização ou pequena descida do nível de luminosidade, onde por outro lado, as cidades do Oriente apresentam um elevado crescimento do nível de iluminação nocturna.

Os padrões de iluminação nocturna permitem igualmente acompanhar o crescimento económico acelerado de algumas zonas do planeta, entre as quais o delta do rio Nilo e a área à volta de Shanghai. Outras zonas têm mantido um nível bastante estável, dos quais se destaca a zona metropolitana de Nova Iorque pela sua grande dimensão. A cidade de Shenzen na China e o delta do Nilo no Egipto, foram por outro lado as zonas que assistiram a um maior aumento dos níveis de iluminação a nível global, tal como mostram as figuras 2.20 e 2.21 respectivamente [20].

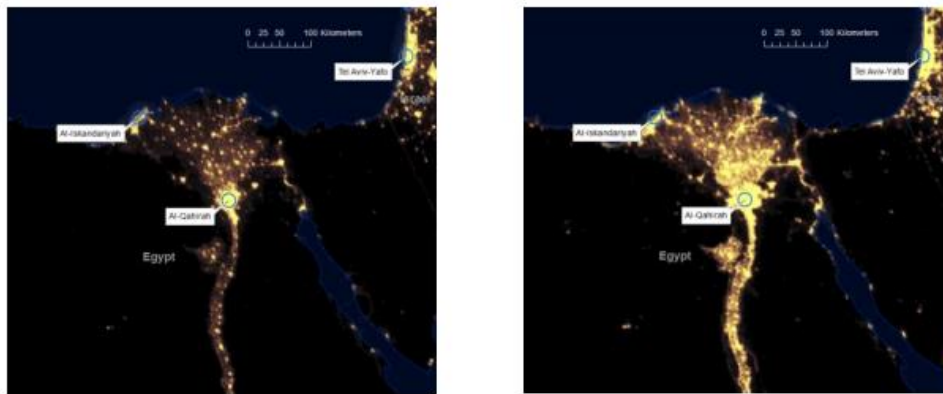


Figura 2.20: Visualização do crescimento da iluminação pública no delta do Nilo entre 1992 (esquerda) e 2009 (direita) [20].

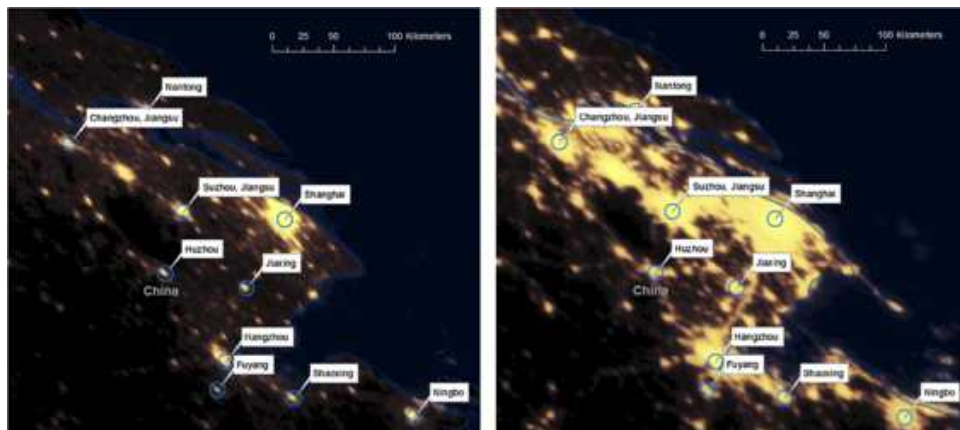


Figura 2.21: Visualização do crescimento da iluminação pública de Shanghai, China, entre 1992 (esquerda) e 2009 (direita) [20].

Um dos casos mais estudados da evolução da IP a nível mundial é o da cidade de Los Angeles nos Estados Unidos da América, sendo conhecida como uma das cidades mais iluminadas do mundo.

A figura 2.22, ilustra a quantidade de pontos luminosos e sua poluição luminosa nos anos de 1908 e 1988.

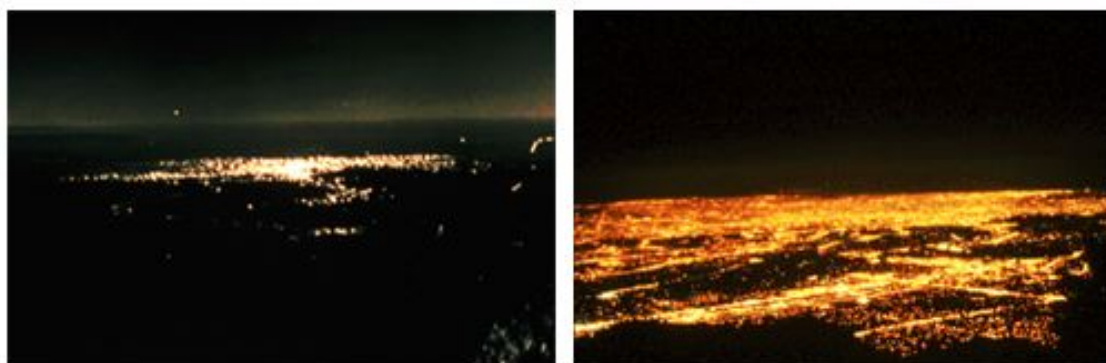


Figura 2.22: Visualização da Iluminação publica de Los Angeles em 1908 e 1988 [21].

As próximas imagens mostram com maior detalhe a IP na mesma cidade para os anos de 2002 e 2012.

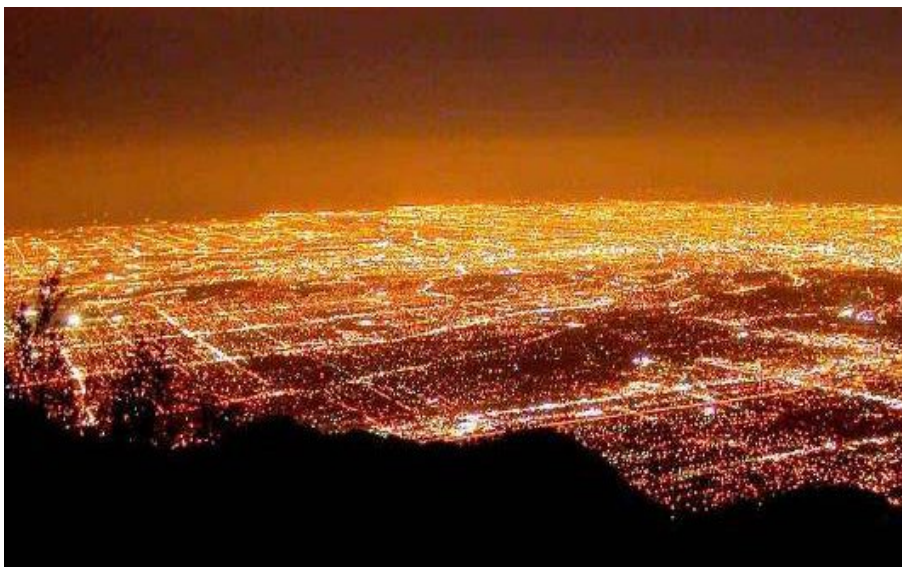


Figura 2.23: Visualização da Iluminação publica de Los Angeles em 2002 [22].

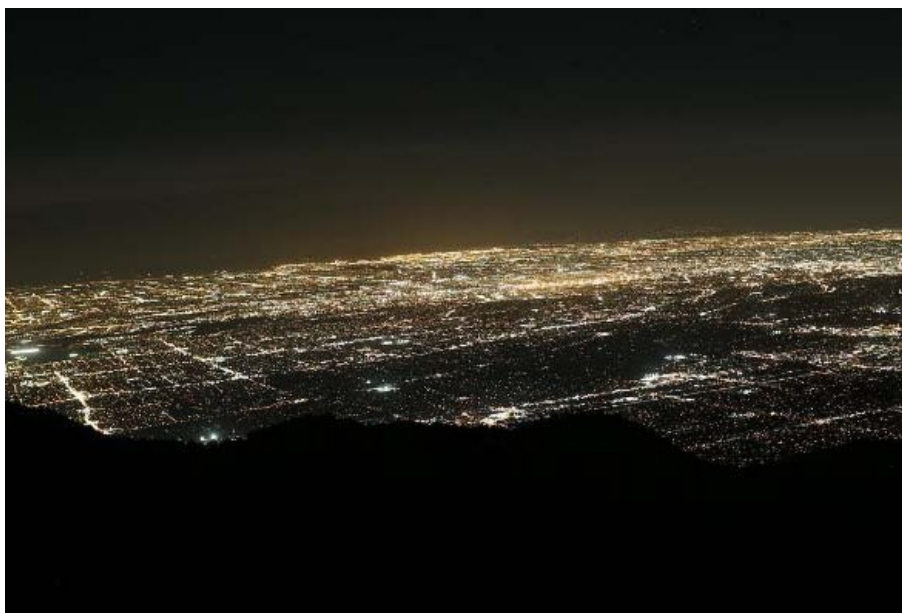


Figura 2.24: Visualização da Iluminação publica de Los Angeles em 2012 [22].

De 1908 a 1988 houve uma grande evolução na quantidade dos pontos de luz, sempre acompanhada por uma maior poluição luminosa. Após 14 anos, em 2002, a figura 2.23 mostra que a quantidade de pontos de luz voltou a aumentar de uma forma onde praticamente se colmataram os espaços ainda sem iluminação pública, onde por sua vez a poluição luminosa voltou a aumentar de forma dramática, tendo a cidade como pano de fundo um autêntico clarão de luz laranja.

No ano de 2009, o *Mayor* de Los Angeles Antonio Villaraigosa lançou um plano de Eficiência Energética com vista ao uso de LED para a IP, que consistia em substituir as 140 000 lâmpadas tradicionais por díodos emissores de luz (LED) altamente eficientes. Este plano consistiu no maior esforço a nível mundial para substituir as lâmpadas convencionais por luminárias LED, com um custo de 57 milhões de dólares com o objectivo de poupar por ano à cidade 10 milhões de dólares por ano, em redução de consumo de energia e esforços de manutenção. O impacto na população foi bastante positivo por se ter reduzido a poluição luminosa [22].

Pela análise das figuras 2.23 e 2.24, dos anos de 2002 e 2012 respectivamente, é claramente notória a diferença na qualidade da iluminação pública, visualizando-se também a grande redução na poluição luminosa, devido à nova tecnologia LED aplicada na IP ser uma fonte de luz de capacidade de focagem pontual e direccional, com a grande vantagem de emitir menor quantidade de luz para o céu.

O fotógrafo francês Thierry Cohen é o responsável por um projecto fotográfico chamado de "*Darkened Cities*", em português "*Cidades escuras*". O fotógrafo demonstra como poderiam ser várias cidades importantes sem poluição luminosa. As fotografias foram realizadas tirando uma foto do céu precisamente na mesma latitude da cidade escolhida, mas numa região menos povoada e com menor poluição luminosa, e com a câmara exactamente no mesmo ângulo. Os resultados

são fotos que jamais se poderiam observar na vida real, mas que mesmo assim demonstram a beleza do céu nocturno, como visualizado na figura 2.25 [23].



Figura 2.25: Paisagem nocturna do Rio de Janeiro sem poluição luminosa [23].

2.4 Conclusão

Neste capítulo foi realizada uma breve introdução da história e evolução da iluminação pública até à actualidade, em Portugal e no Mundo.

A crise económica que abraçou o país a partir de 2008, mostrou que as opções políticas energéticas utilizadas na IP não são mais sustentáveis face aos custos operacionais inerentes. Com a crescente preocupação da sustentabilidade energética a nível mundial e em reduzir as facturas de electricidade por parte dos Municípios com vista à poupança económica, quer para aliviar a carga fiscal dos contribuintes, quer para aliviar os orçamentos das Câmaras Municipais, estes têm vindo a aplicar medidas que visam combater o excessivo consumo da IP por todo o país.

Com a entrada de novas tecnologias para uso na IP de maior eficiência energética que as tecnologias tradicionais e a preços cada vez mais acessíveis, bem como medidas mandatárias do Governo e da EU para a eficiência energética, espera-se obter um sistema de IP mais eficiente com um consumo global cada vez mais diminuído.

Assim, o futuro da IP em Portugal, possui perspectivas animadoras conforme indicam os dados relativos ao consumo energético, que estagnou de 2009 a 2011, tendo apresentado uma redução

significativa de 7% no ano de 2012 em relação ao seu ano anterior, fruto das medidas implementadas pelos Municípios e concessionárias da rede de IP, contrariando a tendência de aumento do consumo de 4% a 5% ao ano.

De salientar que só recentemente é que os municípios se preocuparam a apostar na eficiência energética na IP, com o objectivo da redução do seu consumo devido a medidas de contenção orçamental, tendo vindo a proporcionar um sistema de IP decadente, ineficaz e retrógrado para os utilizadores das vias públicas.

A nível mundial, as perspectivas são também animadoras, já que grande parte dos países desenvolvidos estão a apostar na redução dos consumos energéticos da IP por via da eficiência energética, como foi o caso da cidade de Los Angeles que tem actualmente, uma IP maioritariamente constituída por LED, permitindo obter grandes reduções no consumo, ao mesmo tempo que assegura uma melhor segurança e conforto aos seus habitantes.

No próximo capítulo, serão enunciados os principais conceitos luminotécnicos que influenciam o modo como a luz é processada pela visão humana e o modo como são iluminados os objectos, para se compreender melhor a implementação de medidas de eficiência energética na IP.

Capítulo 3

Conceitos e noções sobre luminotecnia

3.1 O espectro electromagnético

A luz é a radiação cuja gama de comprimentos de onda do espectro da radiação electromagnética consegue ser detectada pelo olho humano. Esta gama situa-se entre a radiação ultravioleta e infravermelha, ou seja, entre os 380 nm (violeta) e os 760 nm (vermelho) do espectro electromagnético, como é ilustrado na figura 3.1 [24].

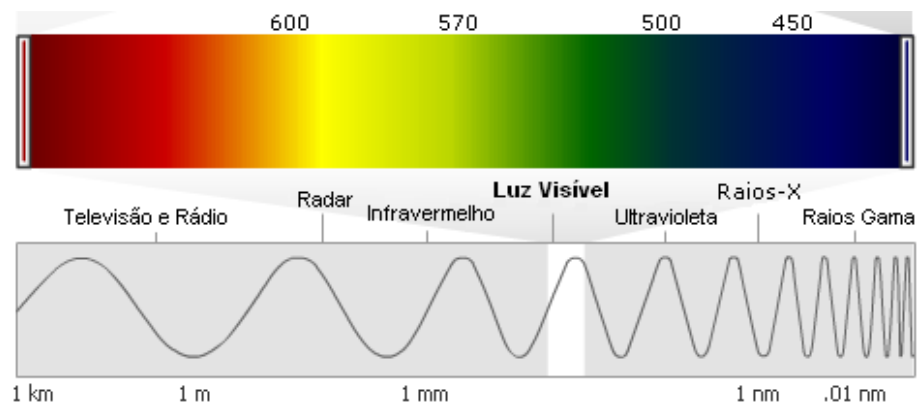


Figura 3.1: Composição do espectro electromagnético [24].

3.2 A visão

Para melhor compreender como a luz natural ou artificial é processada pelo olho humano, é necessário referir certos parâmetros associados a ele, pois para diferentes tipos de fontes de luz o olho reage completamente de forma diferente.

A captação da luz é realizada pela retina, que contém dois tipos de células visuais chamadas de fotorreceptores, que são sensíveis à luz, designadamente, os cones, mobilizados em condições de forte intensidade luminosa e sensíveis às radiações coloridas e os bastonetes, que funcionam apenas em condições de baixa luminosidade.

3.2.1 Acuidade visual

A acuidade visual relaciona-se com a capacidade de resolução espacial de dois pontos e depende da densidade dos receptores na retina e do poder de refração do sistema das lentes ópticas. Por outras palavras a acuidade visual é a capacidade que o olho tem de reconhecer separadamente, com nitidez e precisão, objectos muito pequenos e próximos entre si. As distâncias na retina são referidas em termos de ângulo visual (θ). Assim, a capacidade do olho em distinguir dois pontos está associada a um certo valor de ângulo visual, como mostra a figura 3.2. Quantitativamente, a acuidade visual é o inverso do ângulo mínimo sob o qual os olhos conseguem distinguir um pormenor [24].

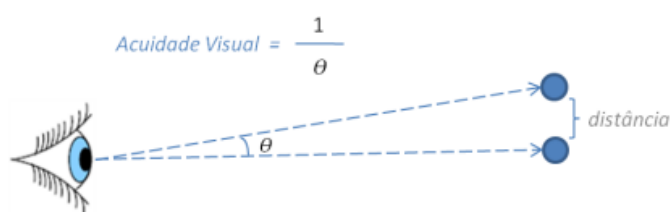


Figura 3.2: Esquemática da acuidade visual [24].

Existem vários factores que irão influenciar a acuidade visual, tais como[21]:

- 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: 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 objectos.

3.2.2 A visão escotópica (visão nocturna)

A 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 figura 3.3 mostra as curvas de sensibilidade do olho humano para a visão fotópica e escotópica.

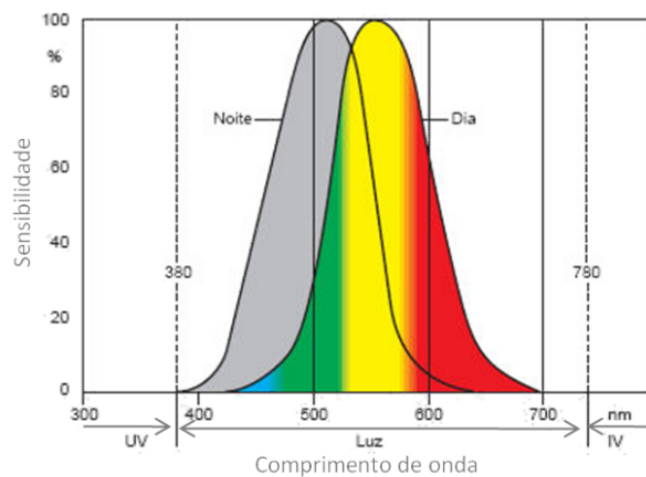


Figura 3.3: Curva de sensibilidade do olho humano [24].

A máxima eficácia da visão escotópica é de 1700 lm/W num comprimento de onda de 507 nm (verde), como mostra a figura 3.4 [24].

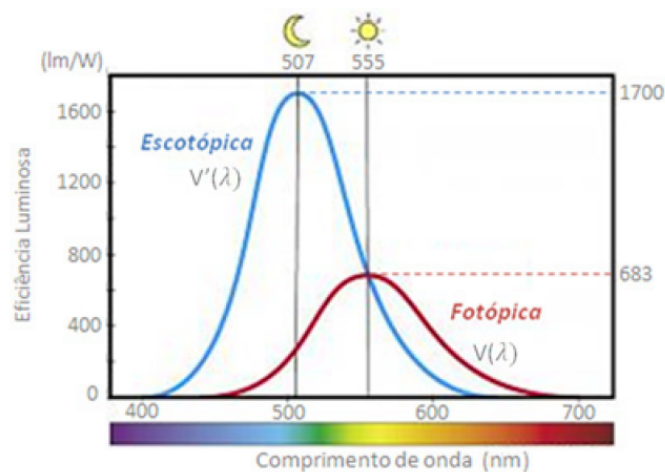


Figura 3.4: Eficiência luminosa máxima para visão fotópica e escotópica [24].

3.2.3 A visão fotópica (visão diurna)

A 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) [24].

3.2.4 A visão mesópica

A visão mesópica é o termo científico para a combinação entre a visão fotópica e escotópica em situações com uma luminosidade baixa, mas não totalmente escuro. Portanto, a iluminação pública actua nas condições de visão mesópica.

A figura 3.5 estabelece os níveis de luminância para os diferentes tipos de visão, sendo que as normas mais recentes de IP estabelecem, de acordo com o tipo de via, valores aconselháveis de luminância entre 0,03 e 2 candelas por metro quadrado [24].

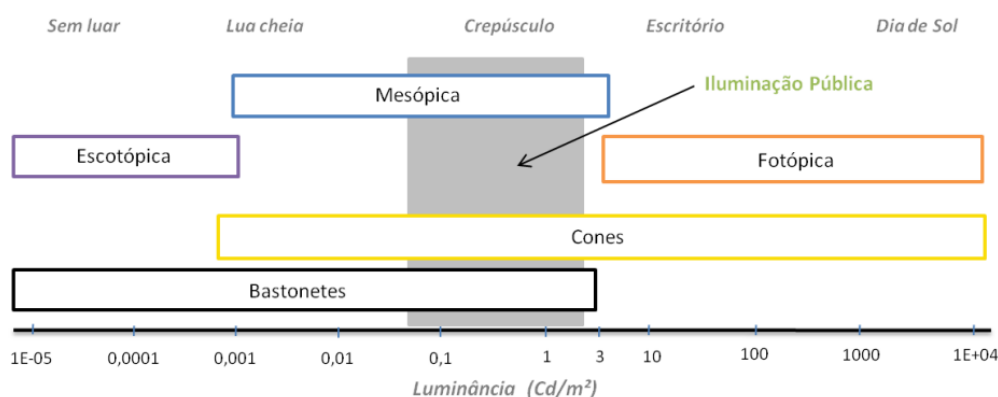


Figura 3.5: Gamas de luminância para cada tipo de visão e dos fotorreceptores [24].

3.3 Temperatura de cor (Tc)

A temperatura de cor é identificada pela abreviatura Tc e mede-se em kelvin (K). Está relacionada com a tonalidade de cor emitida pela lâmpada. Assim, quanto mais elevada for a temperatura da fonte, mais fria ou azulada parecerá ser a luz emitida. Pelo contrário, quanto mais baixa for a temperatura de cor, maior será a impressão de luz quente ou avermelhada. Na tabela 3.1, estão relacionados os três grupos de cor existentes nas lâmpadas com as gamas de temperatura de cor correspondentes.

Tabela 3.1: Grupos de cor existentes nas lâmpadas com as gamas de temperatura de cor correspondentes [26].

Cor	Tc
Branco Quente	Inferior a 3300 K
Branco Neutro	Entre 3300 K e 5000 K
Branco Frio	Superior a 5000 K

Conforme o tipo de utilização a dar aos locais a iluminar, são recomendados gamas de valores padrão de temperaturas de cor, por forma a dar ao ambiente o conforto visual mais adequado [26].



Figura 3.6: Gamas de temperatura de cor [21].

A tabela 3.2 apresenta as diferenças na aparência da luz emitida para as três gamas de temperatura de cor existentes nas lâmpadas

Tabela 3.2: Aparência das várias temperaturas de cor em Iluminação Pública [24].

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

3.4 Índice de restituição de cor (IRC)

Índice de Restituição de Cor (IRC), é uma característica adimensional das lâmpadas, vulgarmente designada pela abreviatura Ra, Rc ou CRI (sigla inglesa), que pretende quantificar o efeito da radiação emitida por uma lâmpada sobre o aspecto cromático dos objectos iluminados por ela. O IRC varia entre 0 e 100 e quanto mais alto é o seu valor, mais natural será a aparência do objecto iluminado [26]. Por outras palavras, indica a capacidade de uma fonte luminosa restituir fielmente

as cores de um objecto ou de uma superfície iluminada [25]. O valor deste índice depende principalmente da composição espectral da luz emitida [26].

A tabela 3.3 apresenta alguns exemplos de qual deve ser o IRC para determinados tipos de aplicações.

Tabela 3.3: IRC a aplicar para diferentes casos [24].

Qualidade desejada	IRC	Aplicações
Apreciação o mais exacta possível das cores.	≥ 90	• Laboratórios • Salas de impressão
Restituição de cor aceitável.	≥ 70	• Escritórios • Escolas • Lojas
Restituição de cor não suficiente.	$60 < IRC < 70$	• Oficinas mecânicas
Sem qualquer exigência de restituição de cor.	≤ 60	• Armazéns • Estradas secundárias

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 objecto. Assim se explica o facto de lâmpadas com a mesma temperatura de cor possuírem um índice de restituição de cor diferente, como visualizado na figura 3.7 [24].

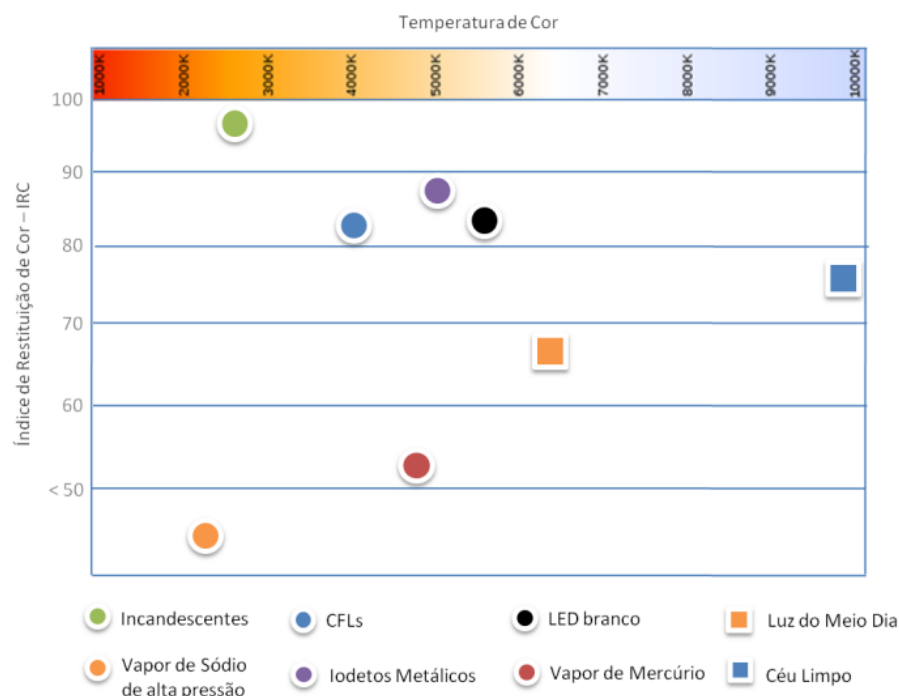


Figura 3.7: Temperatura de cor e índices de restituição de cor [24].

3.5 Fluxo luminoso (Φ)

Fluxo luminoso (Φ) é a quantidade de luz emitida em todas as direcções por uma fonte de luz, como demonstrado pela figura 3.8 [26]. A unidade do fluxo luminoso (Φ) é o lúmen (lm). Este define o fluxo luminoso dentro de um cone de 1 esterorradiano (sr), emitido por um ponto luminoso com intensidade de 1 candela, em todas as direcções, ou seja,

$$1\text{lm} = 1\text{cd} \times \text{sr} = 1\text{lx} \times \text{m}^2. \quad (3.1)$$



Figura 3.8: Demonstração de fluxo luminoso [24].

A unidade do ângulo sólido é o esterradiano. É a par da unidade do ângulo plano (o radiano), uma das duas unidades suplementares do sistema internacional de unidades. Um esterradiano é o ângulo sólido que tendo o vértice no centro de uma esfera, intersecta, na superfície dessa esfera, uma área igual à de um quadrado tendo por lado o raio da esfera, como apresentado na figura 3.13 [26].

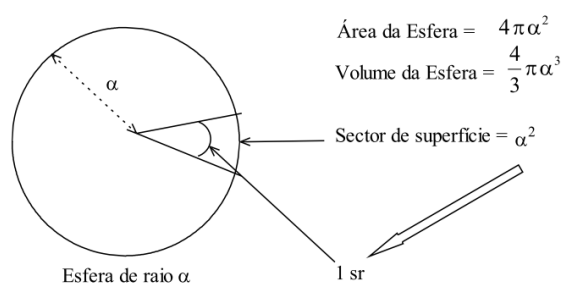


Figura 3.9: Ilustração de um esterradiano [26].

3.6 Rácio de saída do fluxo luminoso (*Light Output Ratio* - LOR)

O rácio de saída do fluxo luminoso (LOR) pode ser entendido como o quociente entre o fluxo luminoso 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, ou seja,

$$LOR = \frac{\Phi_{saída da luminária}}{\sum \Phi_{lâmpada individual}}. \quad (3.2)$$

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

- 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. Deve sempre ser utilizado um ULOR o mais baixo possível de forma a aumentar a eficiência energética da instalação.

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.

A figura 3.10 demonstra os conceitos de ULOR e DLOR [24].

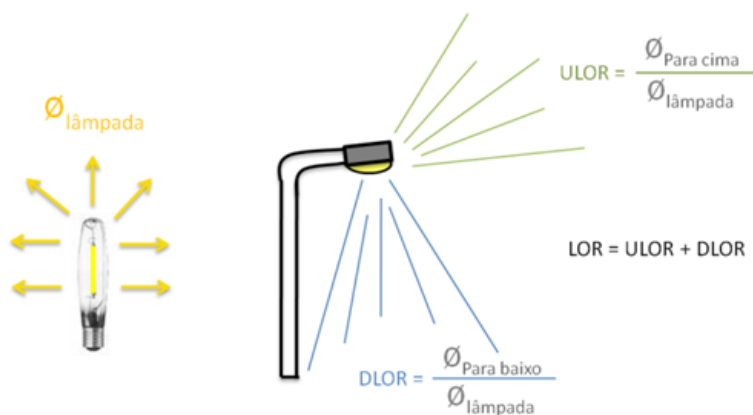


Figura 3.10: ULOR e DLOR [24].

3.7 Factor de utilização (FU)

O factor de utilização (FU) de uma instalação é o rácio do fluxo luminoso recebido pela superfície que se pretende iluminar, designado por fluxo útil (ϕ_{util}), com a soma dos fluxos individuais de cada lâmpada da instalação.

O factor de utilização depende de vários parâmetros associados às luminárias e ao meio envolvente, tais como [24]:

- LOR da luminária.
- Distribuição do fluxo luminoso da luminária.
- Reflexão dos objectos vizinhos.
- SHR (*Space Height Ratio*):
 - Rácio entre a altura e o espaçamento dos postes de iluminação.

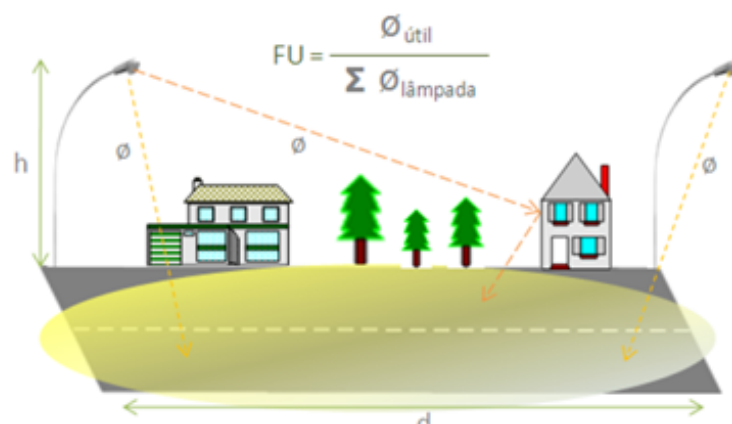


Figura 3.11: Demonstração do Factor de utilização de uma luminária [24].

3.8 Intensidade luminosa (I)

A Intensidade luminosa de uma fonte de luz é igual ao fluxo emitido por uma lâmpada numa direcção por unidade de ângulo sólido dessa direcção, ou seja, $I = \phi / \omega$ (lm/sr), e a unidade é a candela (cd) [28]. A figura 3.12 demonstra o conceito de intensidade luminosa.

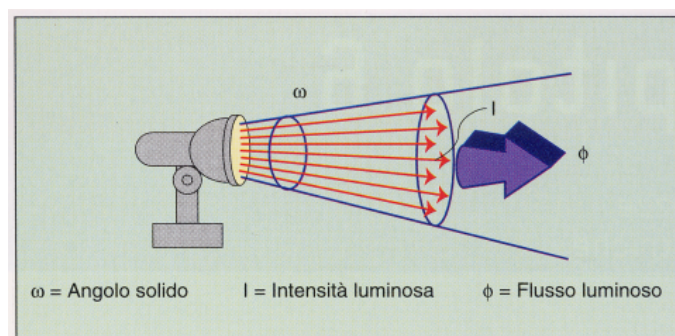


Figura 3.12: Ilustração do conceito de intensidade luminosa [28].

A candela pode ainda ser definida como sendo a intensidade luminosa numa certa direcção de uma fonte de luz que emite uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} Hz e cuja intensidade energética nessa direcção é 1 por 683 Watt por estereorradiano [27].

3.9 Eficiência luminosa (lm/W)

A eficiência luminosa (η) de uma lâmpada é a relação entre o fluxo luminoso total emitido pela fonte (Φ) e a potência por ela absorvida (P), ou seja,

$$\eta = \frac{\Phi}{P} (\text{lm/W}). \quad (3.3)$$

A unidade SI é o lúmen por Watt (lm/W) [27].

3.10 Iluminância (E)

A iluminância tem como unidade SI o lux (lx) e é o quociente entre o fluxo luminoso (Φ) incidente num elemento da superfície, e a área desse elemento, ou seja, é a quantidade de fluxo luminoso recebido pela unidade de área iluminada, como a seguinte equação mostra,

$$E = \frac{\delta\Phi}{\delta A} = \int_{2\pi sr} L \cdot \cos(\theta) \cdot \delta\Omega, \quad (3.4)$$

onde, E é a iluminância, L a luminância num dado ponto nas várias direcções dos raios elementares incidentes do ângulo sólido, Ω o ângulo sólido e θ o ângulo entre qualquer um dos raios incidentes e a normal à superfície num dado ponto, como mostra a figura 3.13 [24].

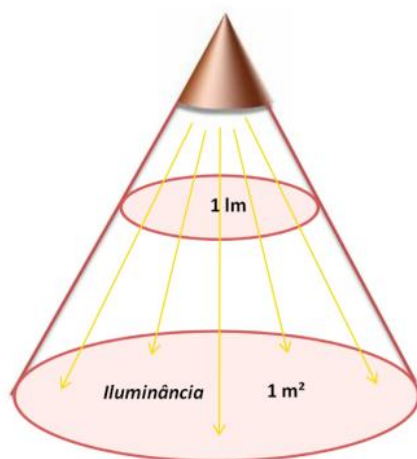


Figura 3.13: Ilustração do conceito de iluminância [24].

A iluminância é uma unidade base da Luminotecnia, à qual fazem referência recomendações e tabelas relativas ao nível de iluminação recomendado que deve ser assegurado nas diversas aplicações de interiores, mas também para exteriores como para IP.

A iluminância natural varia desde 0 lux até cerca de 100 000 lux num dia de sol [28].

A iluminação artificial necessária para a IP varia de 1,5 a 50 lux [30], até a centenas ou milhares de lux para iluminação interior, em função das tarefas visuais que é necessário realizar [28]. Existem quatro medidas de iluminância possíveis:

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

A iluminância total num ponto E_p , é a soma das contribuições ($E_1, E_2, \dots, E_n$) de todas as luminárias que iluminam esse ponto,

$$E_p = E_1 + E_2 + \dots + E_k + \dots + E_n = \sum_{k=1}^n E_k, \quad (3.5)$$

sendo que apenas se poderá somar iluminâncias do mesmo tipo, ou seja, horizontais com horizontais, hemisféricas com hemisféricas por exemplo [24].

3.11 Luminância (L)

A luminância (L) é uma medida da densidade da intensidade da luz reflectida numa dada direcção, que descreve a quantidade de luz que atravessa ou é emitida de uma superfície, segundo um ângulo sólido ($\delta\Omega$), como ilustra a figura 3.14. Tem como unidade SI a candela por metro quadrado (cd/m^2).

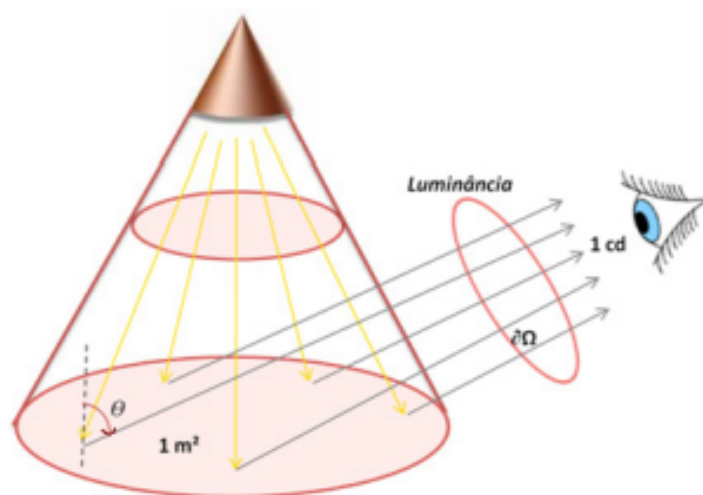


Figura 3.14: Esquematisação do conceito de luminância [27].

A luminância (L) é o quociente entre a intensidade luminosa (I) e a área (A) que a reflecte segundo uma determinada direcção (θ), ou seja,

$$L = \frac{I}{A \cdot \cos(\theta)} (cd/m^2). \quad (3.6)$$

A luminância é uma grandeza fundamental para a visão, dado que é a luminância dos objectos que dá ao olho a sensação visual [28].

Indicam-se de seguida alguns valores de luminância de vários tipos de fontes luminosas [28]:

- Superfície do sol: $1\,650 \times 10^6 cd/m^2$.
- O céu na direcção sul : $16\,000 cd/m^2$.
- O céu na direcção norte: $8\,000 cd/m^2$.
- Uma folha branca bem iluminada artificialmente: $100 cd/m^2$.
- Uma estrada bem iluminada artificialmente: $2 cd/m^2$.

3.12 Diferença entre iluminância e luminância

A luminância corresponde ao fluxo luminoso emitida por unidade de área de uma superfície numa direcção específica.

Esta mede a luz tal como é percebida pelo olho humano. A percepção de todas as superfícies e objectos que estão no nosso campo de visão deve-se à sua luminância, enquanto os níveis de iluminância não são de factos percebidos.

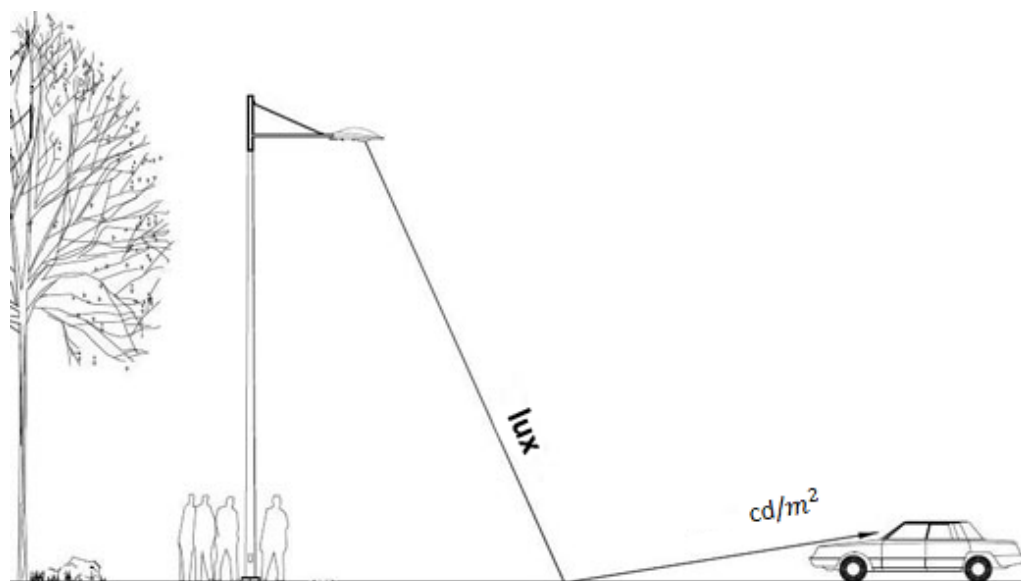


Figura 3.15: Ilustração da diferença entre iluminância e luminância [29].

As superfícies, com diferentes propriedades de reflexão terão a mesma iluminância, mas luminância diferente.

O principal critério requerido pela norma para aplicações rodoviárias de iluminação é a luminância da superfície da estrada.

O bom conhecimento das características da reflexão da luz em pavimentos rodoviários é, portanto, de grande importância para alcançar um design de iluminação preciso [29].

3.13 Incremento limite (TI – Threshold Increment)

O incremento limite ou aumento limiar (TI) é uma medida que permite quantificar a perda de visibilidade causada pelo encandeamento das luminárias de iluminação pública. Neste caso um objecto que está no limite da visibilidade deixa de ser visível devido ao encandeamento. Caso se pretenda que o objecto seja visível nestas condições, há que aumentar o nível de contraste, correspondendo este incremento ao TI, ou seja,

$$TI = \frac{65}{(\bar{L})^{0,8}} \times L_v\%, \quad (3.7)$$

$$L_v = 10 \sum_{k=1}^n \frac{E_k}{\theta_k^2} = \frac{E_1}{\theta_1^2} + \frac{E_2}{\theta_2^2} + \dots + \frac{E_k}{\theta_k^2} + \dots + \frac{E_n}{\theta_n^2}, \quad (3.8)$$

onde, $\bar{L}$ é a luminância média da estrada (cd/m^2), L_v é a luminância encandeante (*veiling luminance*) equivalente (cd/m^2), E_k é a iluminância (lux) produzida pela luminária k, num plano normal à linha de visão e à altura do olho do observador e θ_k o ângulo, em graus, do arco entre a linha de visão e a linha desde o observador ao centro da luminária k [24][27].



Figura 3.16: Esquemática dos parâmetros para o cálculo do TI [24].

3.14 Rácio envolvente (SR - *Surround Ratio*)

Um dos principais objectivos 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 objectos mais altos na estrada e os objectos que se encontram nas laterais das faixas de rodagem (particularmente em secções curvas) são vistos apenas se existir uma boa iluminação na envoltência da estrada, ou seja, na sua vizinhança.

Com efeito, uma iluminação adequada da zona envolvente à estrada possibilita ao condutor uma melhor percepção da sua situação, fazendo ajustamentos devidos de velocidade e trajectória a tempo. A função do rácio envolvente ou relação entorno é assegurar que o fluxo luminoso direccionado 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, adjacentes aos seus limites, como mostra a figura 3.17 [24].

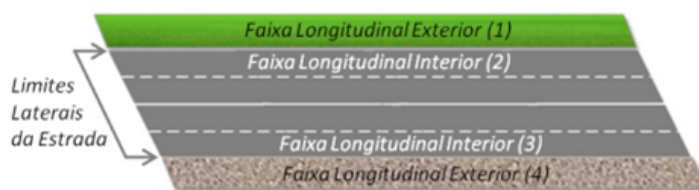


Figura 3.17: Demonstração dos parâmetros para cálculo do SR [24].

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:

- 5 metros.



Figura 3.18: Largura máxima das faixas para cálculo do SR [24].

- Metade da largura da estrada.

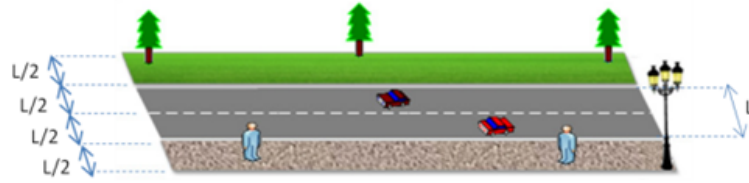


Figura 3.19: Esquematização para a situação em que o cálculo do SR é feito para metade da largura da estrada [24].

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

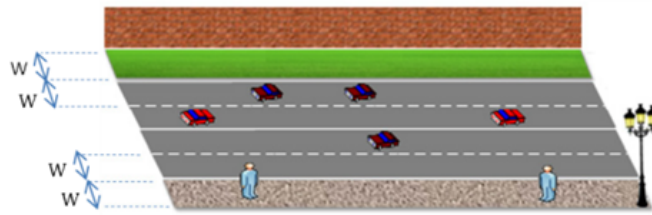


Figura 3.20: Parede de tijolo a obstruir a faixa longitudinal exterior de largura W [24].

Em qualquer um dos casos, o rácio envolvente poderá ser calculado pela iluminância média ($\bar{E}$) pela seguinte expressão,

$$SR = \frac{\bar{E}_1 + \bar{E}_4}{\bar{E}_2 + \bar{E}_3}. \quad (3.9)$$

3.15 Uniformidade da iluminação

3.15.1 Uniformidade geral (U_o)

A uniformidade geral ou global, deverá ser calculada como o rácio entre o valor da luminância ou iluminância mais baixa existente num ponto qualquer do campo de cálculo, com a luminância ou iluminância média, ou seja [27],

$$U_o = \frac{L_{min}}{L_{med}}. \quad (3.10)$$

3.15.2 Uniformidade longitudinal (U_1)

A uniformidade longitudinal é calculada através do quociente entre o valor mais baixo e o valor mais alto da luminância ou iluminância, na direcção longitudinal, ao longo do centro de cada faixa de rodagem, ou seja,

$$U_1 = \frac{L_{min}}{L_{max}}. \quad (3.11)$$

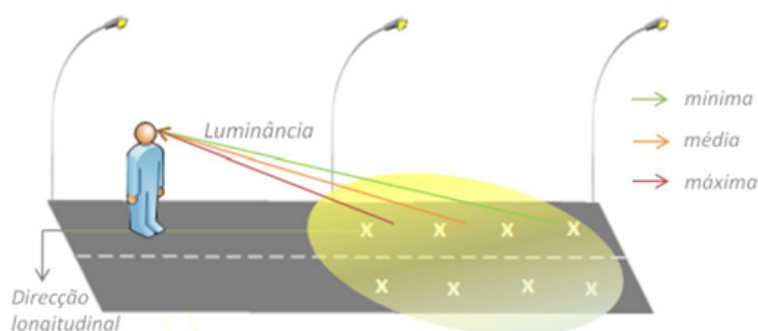


Figura 3.21: Demonstração do cálculo para a uniformidade longitudinal [24].

O número de pontos na direcção longitudinal e o espaço entre eles terá de ser o mesmo que fora usado no cálculo da luminância ou iluminância média. Adicionalmente, a posição do observador terá de estar no enfiamento da linha dos pontos de cálculo, como mostra a figura 3.21 [24][27].

3.16 Tempo de vida útil de uma lâmpada

O tempo de vida útil disponibilizado pelos fornecedores é uma das características das fontes luminosas mais relevantes, uma vez que influencia os custos de funcionamento efectuado, quer ao nível dos custos de manutenção quer do número de lâmpadas a serem adquiridas durante um determinado período. O tempo de vida útil é definido em horas e representa o tempo no qual o fluxo luminoso inicial das lâmpadas testadas foi reduzido em cerca de 25% a 30% [24].

3.17 Tempo de vida médio de uma lâmpada

O tempo de vida normalmente indicado pelo fabricante é o tempo de vida médio. Este indica o número de horas após as quais 50% de um lote significativo de lâmpadas acesas deixa de emitir fluxo luminoso. A duração da vida média varia entre as 1000 horas para as lâmpadas incandescentes, até cerca de 100 000 horas no caso dos LED mais avançados. A figura 3.22 ilustra os conceitos de tempo de vida médio e útil de uma lâmpada [24].

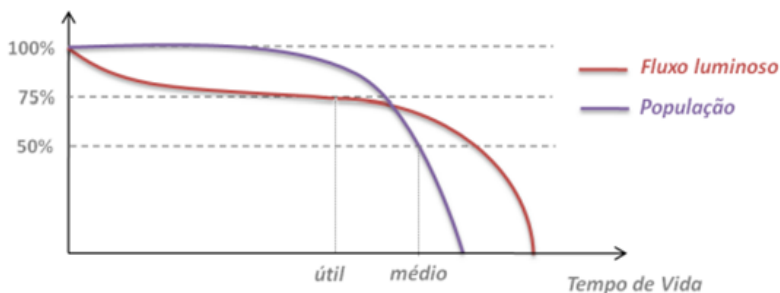


Figura 3.22: Tempo de vida médio e útil de uma lâmpada [24].

3.18 Poluição luminosa

Pode ser definida como sendo qualquer efeito adverso causado ao meio ambiente pela luz artificial excessiva, ou mal direccionada, nomeadamente quando a luz artificial é emitida horizontalmente e pelo hemisfério superior. As fontes da poluição luminosa existente são as luminárias internas e externas de residências e outros estabelecimentos, anúncios publicitários, iluminação pública, sinalização aérea e marítima, bem como todas outras fontes artificiais de luz para exteriores [24].

Dependendo do conceito inicial de um projecto de IP, uma possível solução é o uso de fontes de luz direccionadas, que sejam emitidas somente pelo hemisfério sul (para baixo da horizontal), de tal forma que a própria fonte de luz não seja visível pelos lados. Uma luminária eficiente deve iluminar o chão até um pouco além da metade de sua distância ao próximo poste. Assim, ao dirigir a luz apenas para onde ela é necessária, é requerida menos iluminação. Outra vantagem desse tipo de luminária é que a visão do ser humano da área iluminada, se torna muito mais nítida quando não se recebe luz vinda directamente das lâmpadas, sobre os olhos [27].

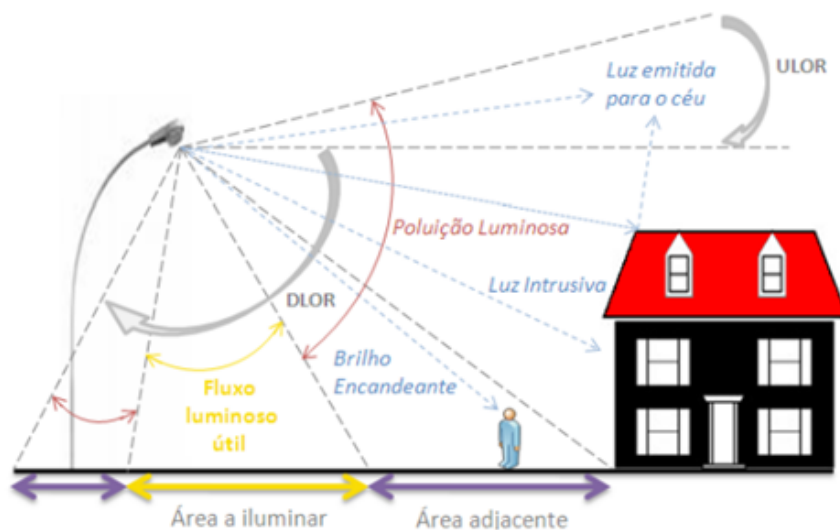


Figura 3.23: Distribuição luminosa de uma luminária [24].

No domínio da iluminação pública, são considerados três tipos de poluição luminosa:

- Luz emitida para o céu (*sky glow*).
- Brilho encandeante (*glare*).
- Luz intrusiva (ilumina locais indevidamente).

3.18.1 Luz emitida para o céu (*sky glow*)

A luz emitida para o céu (*sky glow*) é definida como o brilho do céu à noite que resulta da reflexão da radiação visível, espalhada pela atmosfera na direcção do que se está a observar. Existem dois tipos de *sky glow* [24]:

- Natural: parte que é devido à radiação de objectos celestiais e de processos de luminescência da atmosfera terrestre.
- Artificial: parte que é atribuída às radiações de origem humana, como a iluminação pública. Esta inclui quer a radiação que é emitida directamente para cima, quer a radiação reflectida pelas diversas superfícies.

3.18.2 Brilho encandeante (*glare*)

O brilho encandeante é provocado pela presença de luminárias brilhantes no campo de visão do observador. Consideram-se dois tipos de brilho [24]:

- Desconfortante (*discomfort glare*):
 - O brilho encandeante apenas provoca uma sensação não agradável de desconforto, quando situado no campo de visão. É considerado um critério algo subjectivo já que a sensibilidade dos observadores varia de pessoa para pessoa.
- Incapacitante (*disability glare*):
 - Este tipo de brilho encandeante reduz efectivamente a visibilidade. Estas fontes causam a sobreposição desse brilho na imagem captada na retina, o que resultará numa redução do contraste da imagem, reduzindo a capacidade de distinguir pequenos contrastes e/ou pequenos objectos. Ao contrário do *discomfort glare*, o brilho encandeante incapacitante é um parâmetro mensurável de forma objectiva dado pelo incremento limite (TI).

3.18.3 Luz intrusiva (ilumina locais indevidamente)

A luz intrusiva é definida como a luz emitida por uma instalação para fora dos limites da área ou propriedade que deveria iluminar, causando incómodo, desconforto, distracção ou redução na capacidade de observar informação essencial [24].

3.19 Factor de utilização de uma instalação

A eficiência energética de uma instalação de IP está fortemente associada a um factor de utilização, que por sua vez dependerá fortemente de factores iniciais:

- Eficiência energética da fonte e acessórios (lm/W).

- Características fotométricas da luminária.

O factor de utilização de uma instalação está directamente relacionado com o factor de manutenção global (FM), sendo que este depende de três outros factores relacionados com os aspectos construtivos das fontes de luz e das luminárias, que são:

- Factor de manutenção da luminosidade da lâmpada (FMLL).
- Factor de Sobrevivência da Lâmpada/fonte de luz (FSL).
- Factor de Manutenção da Luminária (FML).

3.19.1 Factor de manutenção da luminosidade da lâmpada (FMLL)

O factor de manutenção da luminosidade da lâmpada (LLMF – *Lamp Luminance Maintenance Factor*, ou FMLL em português) 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), como mostra a figura 3.24 [24].

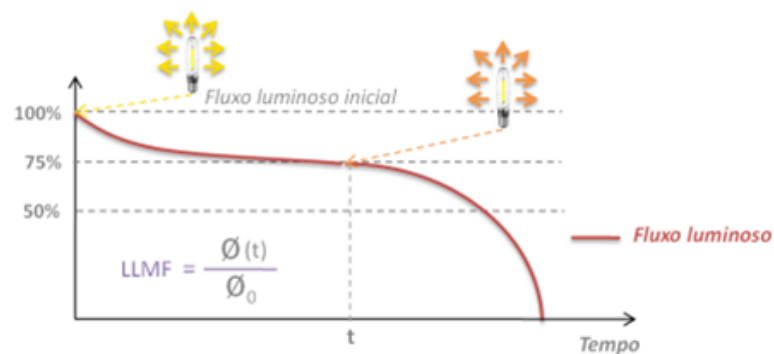


Figura 3.24: Demonstração do factor de manutenção da luminosidade da lâmpada (FMLL) [24].

O fluxo luminoso de uma fonte de luz decresce ao longo do tempo. A taxa exacta irá depender do tipo de fonte de luz e do balastro/*driver*. A tabela 3.4 mostra o FMLL para as tecnologias de fontes de luz mais usuais na iluminação pública.

Tabela 3.4: Factor de manutenção da luminosidade da lâmpada para diferentes fontes luminosas [27].

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 deve-se de considerar um FMLL de 0,7 para um tempo de operação de 65 000 horas [27].

3.19.2 Factor de sobrevivência da lâmpada/fonte de luz (FSL)

O factor de sobrevivência da lâmpada/fonte de luz (FSL ou LSF em inglês) é a probabilidade das fontes de luz continuarem operacionais durante um determinado período de tempo, como mostra a figura 3.25.

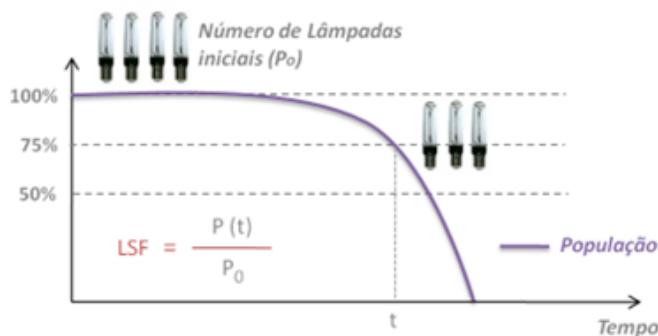


Figura 3.25: Factor de sobrevivência da Lâmpada/fonte de luz (FSL) [24].

A taxa de sobrevivência das lâmpadas depende principalmente de quatro factores [27]:

- Tipo de fonte de luz.
- Potência.
- Frequência de comutação.
- Balastro/*Driver*.

Na tabela 3.6 estão factores de sobrevivência para diferentes tipos de lâmpadas mais utilizadas na IP.

Tabela 3.5: Factor de sobrevivência para diferentes tipos de lâmpadas [27].

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

3.19.3 Factor de manutenção da luminária (FML)

O factor 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 (LOR_0), visualizado pela figura 3.26 [24].

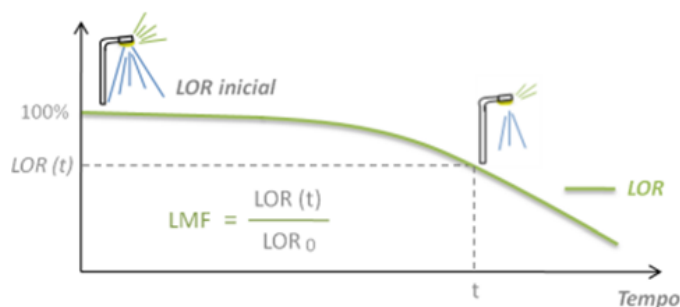


Figura 3.26: Ilustração do factor de manutenção da luminária (FML) [24].

Na análise da depreciação de um sistema de IP é importante reconhecer o tipo e a quantidade de poluição existente, de modo a avaliar convenientemente o tipo de luminária a utilizar, bem como os requisitos de limpeza. A tabela 3.6 mostra a variação do FML para diferentes índices de protecção das luminárias, constatando-se que os vidros têm um maior FML, e quanto maior for o índice de protecção IP da luminária, maior será o mesmo factor.

Tabela 3.6: Factor de manutenção da luminária para diferentes materiais e índices de protecção [27].

	Nível de Poluição	Tempo de Operação (mil horas)		
		4	8	12
IP 55 <i>Difusor de Plástico</i>	Baixo	0,92	0,80	0,71
	Alto	0,87	0,71	0,61
IP 65 <i>Difusor de Plástico</i>	Baixo	0,95	0,84	0,76
	Alto	0,89	0,76	0,66
IP 65 <i>Difusor de Vidro</i>	Baixo	0,97	0,90	0,82
	Alto	0,94	0,84	0,76
IP 66 <i>Difusor de Plástico</i>	Baixo	0,95	0,87	0,81
	Alto	-	0,81	0,74
IP 66 <i>Difusor de Vidro</i>	Baixo	0,97	0,93	0,88
	Alto	-	0,88	0,83

Por exemplo, a poluição numa zona industrial é normalmente bastante superior à encontrada numa zona rural. Também o pó seco de uma pedreira é muito diferente do lixo criado pelos insectos. A tabela 3.7 define os tipos de poluição que uma luminária terá que suportar [27].

Tabela 3.7: Definição de poluição alta e baixa [27].

Poluição	Definição
Alta	Fumo gerado por actividades relativamente próximas, envolvendo as luminárias.
Baixa	Nível de contaminação ambiente baixo, não existindo fumo ou poeiras gerados nas proximidades. Verifica-se em zonas residenciais ou áreas rurais, com tráfico ligeiro. Possui um nível de partículas no meio ≤ 150 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

3.19.4 Factor de manutenção global (FM)

O factor de manutenção (FM) de uma instalação é o rácio da iluminância num determinado momento ($E(t)$), com a iluminância inicial (E_0). O valor do factor de manutenção poderá afectar significativamente a potência da lâmpada a instalar, bem como o número de luminárias necessárias para alcançar os valores de iluminância ou luminância especificados. Observa-se através da análise da figura 3.27, que a iluminância da instalação de IP vai-se reduzindo com o avançar do tempo [24].

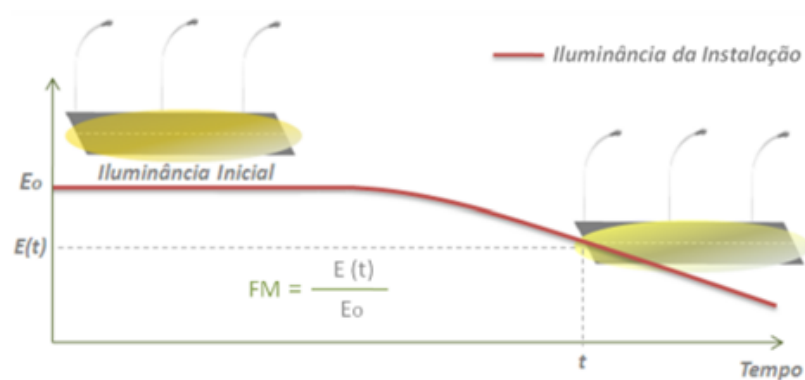


Figura 3.27: Factor de manutenção (FM) de uma instalação [24].

O Factor de Manutenção Global (FM) deverá ser o resultado do seguinte produto,

$$FM = F_{MLL} \times F_{SL} \times F_{ML}. \quad (3.12)$$

Para o cálculo do factor de manutenção deverá ser considerado um período de 3 anos, uma vez que são os valores de referência, sobredimensionando-se assim a instalação de IP para compensar a depreciação luminosa que ocorre ao longo do tempo [24].

3.20 Conclusão

Neste capítulo foi apresentada uma abordagem aos principais conceitos e grandezas associados à luminotecnia utilizados numa instalação de IP.

Todos os parâmetros mencionados são importantes para a compreensão de como a luz emitida por uma instalação de IP, se comporta ao iluminar as vias públicas, pelo que a sua eficiência energética, segurança e conforto dos utilizadores depende da conjugação de todos estes factores.

No próximo capítulo serão mencionadas as tecnologias de iluminação utilizadas na IP, abordando as suas vantagens e desvantagens, bem como os constituintes de uma luminária.

Capítulo 4

Tipos de lâmpadas e luminárias na IP

4.1 Introdução

Estimativas feitas apontam para mais de 4 milhões de pontos de luz associados à iluminação pública em Portugal, traduzindo-se em 3 a 4 pontos de luz por cada habitante. Desconhece-se o número exacto porque a grande maioria das concessionárias da rede e Municípios não conhece o estado do seu sistema de IP, carecendo de cadastros actualizados da sua rede [2][4].

A iluminação pública actualmente emprega dois tipos de tecnologias de lâmpadas para a iluminação dos espaços, que requerem equipamentos diferentes para o seu funcionamento. A tecnologia de descarga de alta intensidade, (*High-intensity discharge* -HID) requer a utilização de balastos e outra aparelhagem auxiliar, e a tecnologia LED requer a utilização de *drivers*.

Tendo em consideração as diferentes tecnologias de lâmpadas, os pontos seguintes identificam os elementos chave dos componentes para a iluminação pública:

- Lâmpadas: fonte com a finalidade de produzir uma radiação óptica visível.
- Aparelhagem auxiliar: balastro, condensador e ignitor ou arrancador. São utilizados apenas nas lâmpadas de HID. Nas luminárias LED utiliza-se o *driver*.
- Luminárias: aparato que distribui, filtra ou transforma a luz transmitida pela lâmpada, que inclui todas as partes necessárias para fixar e proteger as lâmpadas, e os circuitos auxiliares com os meios para a ligação da lâmpada à corrente eléctrica. É importante notar que para os sistemas HID, a luminária não inclui a lâmpada, mas nos sistemas LED já está incluída.

4.2 Tipos de lâmpadas para a IP

A lâmpada é o componente cuja funcionalidade visa a produção de uma radiação electromagnética no espectro visível. São vários os tipos de lâmpadas que podem ser utilizadas como fontes luminosas num sistema de iluminação pública. Estas diferenciam-se mediante as suas características técnicas e económicas, e dos seus parâmetros de desempenho, nomeadamente [31]:

- Índice de restituição de cor (IRC).

- Temperatura de cor (K).
- Fluxo luminoso (Φ).
- Eficiência luminosa (lm/W).
- Potência (W).
- Tempo de vida (h).
- Custo (€).
- Factor de sobrevivência da lâmpada (LSF).
- Factor de manutenção da luminosidade da lâmpada (LLMF).

Pode-se classificar as lâmpadas usadas na iluminação pública por ordem cronológica da sua tecnologia como [3][31]:

- Tecnologias obsoletas:
 - Incandescentes.
 - Vapor de mercúrio de alta pressão.
- Tecnologias do presente:
 - Lâmpadas compactas fluorescentes
 - Vapor de sódio de baixa pressão.
 - Vapor de sódio de alta pressão.
 - Iodetos metálicos.
- Tecnologias emergentes:
 - Indução.
 - LED.
- Tecnologias do futuro:
 - Plasma.
 - OLED.
 - COLED.
 - Incandescentes mais eficientes.

Na tecnologia de HID, entram as lâmpadas de vapor de mercúrio, vapores de sódio e iodetos metálicos.

4.2.1 Tecnologias obsoletas

As lâmpadas incandescentes e as de vapor de mercúrio são fontes luminosas obsoletas, sujeitas neste momento ao phase-out nos sistemas de iluminação pública em Portugal, seguindo os compromissos definidos pelo PNAEE. Se, por um lado, já não se encontram praticamente nenhuma lâmpadas incandescentes, por outro lado, as de vapor de mercúrio ainda representam uma quota-parte significativa no universo da iluminação pública nacional, com cerca de 10% do consumo total de energia no final de 2008 [3][7].

4.2.1.1 Lâmpadas incandescentes

Nas lâmpadas de filamento incandescente, a luz é produzida pela passagem da corrente eléctrica por um fino filamento, normalmente de tungsténio, que se torna incandescente, produzindo assim luz e calor. Estas lâmpadas têm a mais baixa eficiência luminosa de todas as tecnologias, já que grande parte da potência absorvida é transformada em calor.

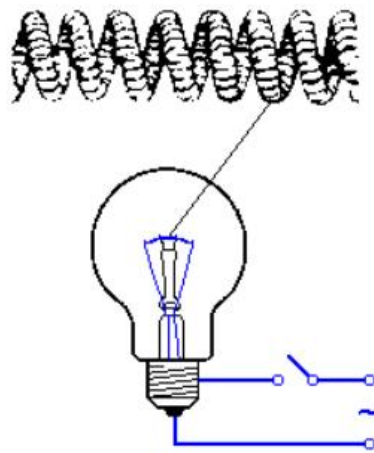


Figura 4.1: Ilustração de lâmpada incandescente [32].

O filamento está mergulhado numa atmosfera gasosa, cuja constituição depende do tipo de lâmpada. Assim, nas lâmpadas incandescentes convencionais, ou simplesmente, lâmpadas incandescentes, é usado como gás o árgon, o azoto ou o cripton. A figura 4.2, mostra as transferências de energia numa lâmpada incandescente, podendo-se observar a grande percentagem, cerca de 70%, de radiações infravermelhas emitidas.

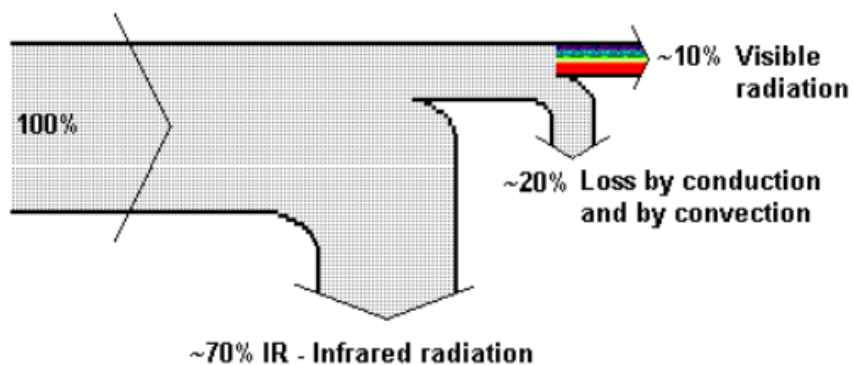


Figura 4.2: Transferências de energia numa lâmpada incandescente [32].

Nas lâmpadas de halogéneo, é adicionado ao gás da lâmpada halogéneo, o que permite obter uma refrigeração do filamento, aumentando o tempo de vida da lâmpada e melhorando a sua eficiência luminosa [6].

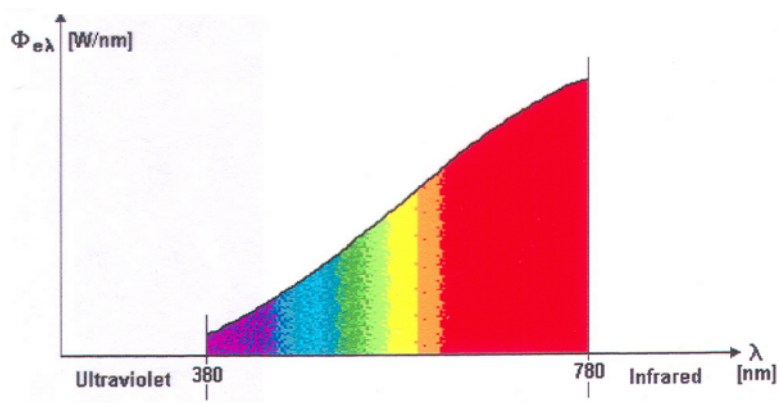


Figura 4.3: Espectro luminoso de uma lâmpada incandescente [32].

A figura 4.4 mostra uma luminária em Itália no ano de 2012, utilizando uma lâmpada incandescente.



Figura 4.4: Luminária em Itália no ano de 2012, utilizando uma lâmpada incandescente [33].

As principais características das lâmpadas incandescentes são [3][6]:

- Eficiência luminosa baixa: 10 a 20 lm/W.
- Muito boa restituição de cores, apresentando um IRC máximo.
- Reduzido tempo médio de vida: 1000 a 2000 horas.
- Temperatura de cor: 2500 a 2700 K.
- Ligação directa à rede.
- Preço baixo.
- Disponíveis em ampolas de vidro de várias formas, e cores.

4.2.1.2 Vapor de mercúrio de alta pressão

A lâmpada de vapor de mercúrio (*High Pressure Mercury* - HPM) emite uma luz de aparência branca-azulada, com emissão na região visível dos comprimentos de onda do amarelo, verde e azul, faltando porém a radiação vermelha. Este tipo de lâmpadas foi desenvolvido por volta de 1930, e teve grande sucesso graças ao seu desempenho representar, na altura, um melhoramento substancial em relação à tecnologia incandescente.

Dada a sua baixa impedância após o arranque, para que a lâmpada de vapor de mercúrio possa funcionar com segurança, deve operar com um balastro para limitar a corrente a valores aceitáveis para o seu funcionamento, necessitando do uso de condensador, mas dispensa o uso de ignitor.

Em funcionamento, o tubo de descarga de uma lâmpada de HPM, contém mercúrio vaporizado a alta pressão. À temperatura normal do ambiente, o mercúrio é um líquido. Introduce-se uma pequena quantidade de gás, como o argon, de mais fácil vaporização para facilitar o arranque. Há

um eléctrodo em cada extremidade do tubo, e ao lado de cada eléctrodo principal, encontra-se um eléctrodo auxiliar de arranque. Entre o tubo de descarga e a ampola exterior existe normalmente um gás inerte que estabiliza a lâmpada, mantendo uma temperatura praticamente constante às diferentes condições ambientais.

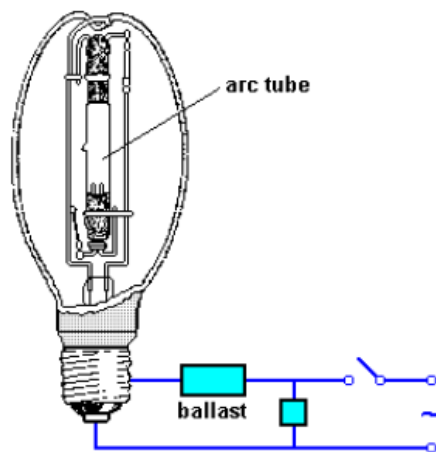


Figura 4.5: Esquema eléctrico de ligação de uma lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão [32].

A figura 4.6, mostra que, no caso das lâmpadas de 400 W, metade desta potência é transformada em radiação. Uma parte dessa potência, cerca de 60 W, encontra-se no espectro visível, outra parte, cerca de 73 W, encontra-se na zona do ultravioleta e outra, ainda de cerca de 60 W, na zona dos infravermelhos. Colocando uma fina camada de pó fluorescente na superfície interna do invólucro exterior, parte da radiação ultravioleta é convertida em radiações visíveis.

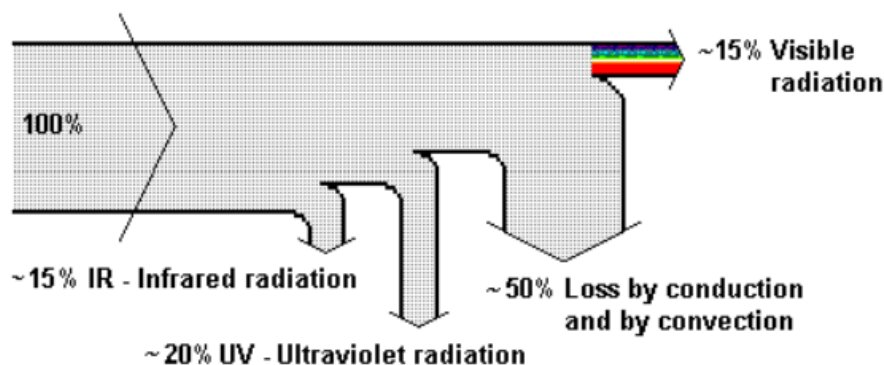


Figura 4.6: Distribuição de energia de uma lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão [32].

Para tal, 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 porém não é apreciável, aumentando apenas em cerca de 10%, dado que a sensibilidade da vista à radiação vermelha é fraca.

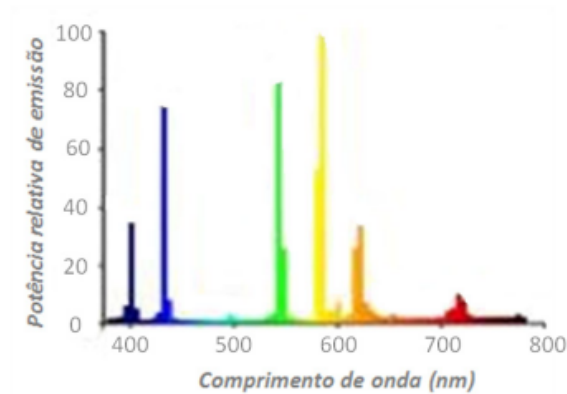


Figura 4.7: Espectro electromagnético da lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão [3].

A figura 4.8, mostra uma luminária utilizando uma lâmpada de vapor de mercúrio de 250 W.



Figura 4.8: Luminária utilizando uma lâmpada de HPM de 250 W.

As principais características das lâmpadas de HPM são [3][25][33]:

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

- Têm vindo a ser substituídas por lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão, de maior rendimento luminoso.
- Obrigatório o uso de mercúrio para o seu funcionamento.
- Rápida depreciação luminosa.
- A gama de fabrico das lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão utilizadas pela EDP Distribuição, de acordo com o DMA-C72-220/E, Julho 1996, abrange, correntemente, os seguintes valores de potência: 50W, 80W, 125W, 250W e 400W.

Apesar do seu baixo custo, as lâmpadas de HPM têm uma baixa eficiência energética, uma rápida depreciação luminosa, um baixo índice de reprodução de cor e contêm mercúrio numa quantidade muito maior que uma lâmpada de vapor de sódio, sendo prejudicial para o ambiente [3][25].

4.2.2 Tecnologias do presente

4.2.2.1 Lâmpadas compactas fluorescentes

As CFL (*Compact Fluorescent Lamp*), surgiram na década de 80 e foram projectadas para substituir as lâmpadas incandescentes nos diversos sectores e aplicações. São uma boa escolha quando se quer uma elevada eficiência, baixo custo e um valor baixo de lúmens à saída, sendo por isso aplicadas em locais onde níveis modestos de luminosidade são aceitáveis. Daqui se compreende que a taxa de utilização deste tipo de lâmpadas na iluminação pública é baixa, sendo quase exclusivamente utilizadas nos globos dos parques e jardins dos espaços verdes públicos ou em zonas para efeitos decorativos [3].

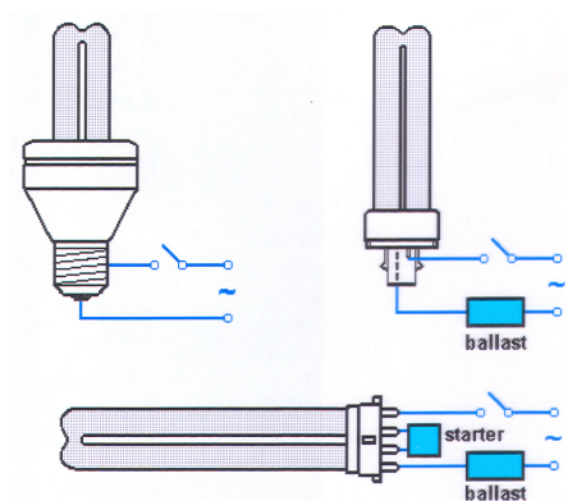


Figura 4.9: Diferentes configurações eléctricas das lâmpadas compactas fluorescentes [6].

O custo destas lâmpadas é maior do que o das lâmpadas incandescentes, mas a poupança conseguida, considerando o seu rendimento luminoso e duração de vida amortiza rapidamente o

agravamento do seu custo inicial. As lâmpadas compactas fluorescentes podem ser compactas ou modulares, caso integrem ou não o balastro, e o balastro pode ser ou não electrónico [25].

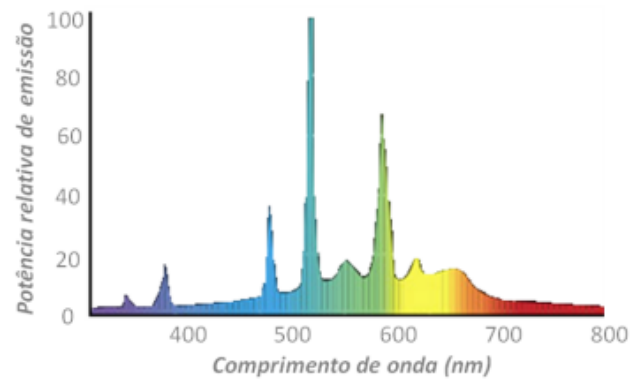


Figura 4.10: Espectro de uma lâmpada compacta fluorescente [3].

A figura 4.11 mostra um globo para iluminação de um espaço verde público utilizando uma lâmpada de CFL.



Figura 4.11: Globo para iluminação de espaço verde público utilizando uma lâmpada de CFL.

O seu princípio de funcionamento é idêntico ao das fluorescentes normais, mas tem um ou mais tubos de descarga em forma de U, para tornar a lâmpada mais compacta.

As suas principais características são [3][6]:

- Eficiência luminosa razoável: de 40 a 87 lm/W.

- Índice de restituição de cores elevado: 85 a 98.
- Temperatura de cor: 2700 a 6000 K.
- Tempo médio de vida baixo: 6000 a 15 000 horas; a duração de vida diminui com a maior frequência de acendimentos.
- Existem com casquilho E27 ou E14 para substituição directa das lâmpadas de incandescência e com reflector interno para substituição das lâmpadas de halogéneo com reflector interno.

4.2.2.2 Vapor de sódio de baixa pressão

A lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão (LPS – *Low-Pressure Sodium*) foi desenvolvida por volta de 1930, e com a sua utilização nas redes de IP conseguiu-se obter um melhor rendimento das instalações.

Esta lâmpada extremamente popular na década de 50, começou a cair em desuso com o aparecimento das modernas lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão. No que concerne às suas características funcionais, possui algumas particularidades que a tornam semelhante à lâmpada fluorescente, como por exemplo, eléctrodos aquecidos e necessitar de balastro e um ignitor.

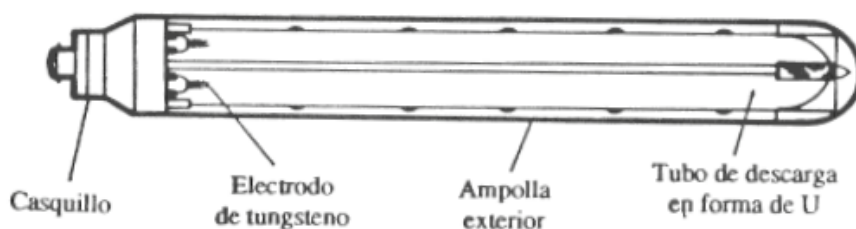


Figura 4.12: Ilustração da constituição de uma lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão [25].

A lâmpada a vapor de sódio de baixa pressão é a fonte de luz artificial de maior rendimento luminoso, chegando a apresentar uma eficiência luminosa superior a 180 lm/W. No entanto, tem a desvantagem de possuir um espectro praticamente monocromático na região do amarelo, o que faz com que se caracterize por ter o pior índice de restituição de cor de todas as fontes luminosas, que é zero. Adicionalmente, tem dos tempos de vida útil mais baixos [3].

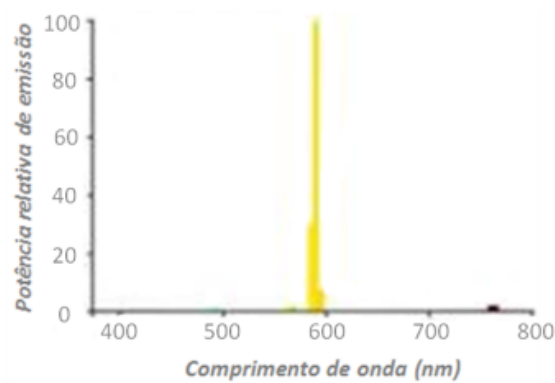


Figura 4.13: Espectro de uma lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão [3].

A figura 4.14 mostra uma estrada iluminada por lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão.



Figura 4.14: Estrada iluminada por lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão [35].

As principais características de uma lâmpada de LPS são [6]:

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

- Devido ao seu carácter monocromático garantem uma elevada acuidade visual.
- Usadas principalmente em iluminação pública e em iluminação de vigilância.

4.2.2.3 Vapor de sódio de alta pressão

A lâmpada de vapor de sódio de alta pressão (HPS – *High-Pressure Sodium*) é uma lâmpada de descarga de alta intensidade, caracterizada por ter uma eficiência luminosa e durabilidade elevadas.

É amplamente utilizada na iluminação exterior e industrial, onde a sua maior eficiência luminosa se torna numa melhor escolha do que o uso de lâmpadas de iodetos metálicos ou vapor de mercúrio de alta pressão, especialmente quando o índice de restituição de cor não é uma prioridade. O tubo de descarga é feito de um material capaz de aguentar a grande intensidade química do vapor de sódio, onde resultam temperaturas na ordem dos 700 °C [32].

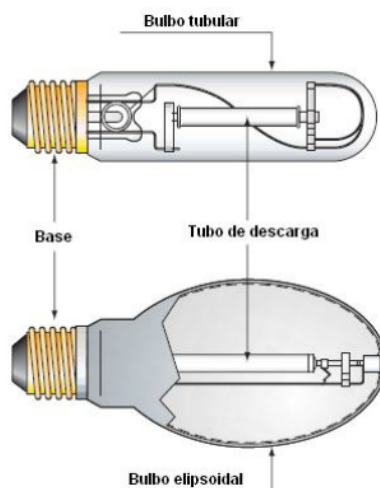


Figura 4.15: Dois tipos de lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão (AP) [3].

A tensão de arco existente na lâmpada de vapor de sódio de AP aumenta entre 1 V a 2 V por cada 1000 horas de funcionamento devido à diminuição da pressão dos gases que compõem a mistura dentro do tubo de descarga, resultante da gradual impregnação de sódio nas paredes do tubo. Este incremento é bastante relevante, uma vez que aumentos de cerca de 10% no valor da tensão de arco implicam aumentos entre 20% a 25% da potência. Estas lâmpadas já na segunda metade do seu tempo de vida podem ter dificuldade em arrancar com tensões reduzidas.

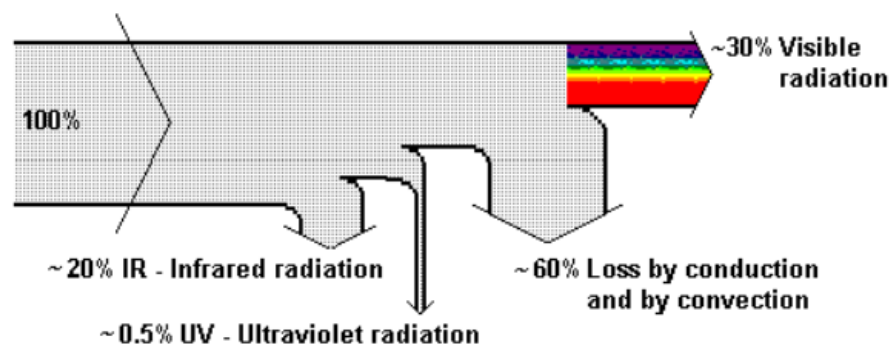


Figura 4.16: Distribuição da energia de uma lâmpada de vapor de sódio de alta pressão [32].

As lâmpadas de HPS estão disponíveis numa enorme gama de formatos, desde a forma elipsoidal, à forma reflectora parabólica, sendo extremamente úteis em diversas aplicações, nomeadamente na IP [3].

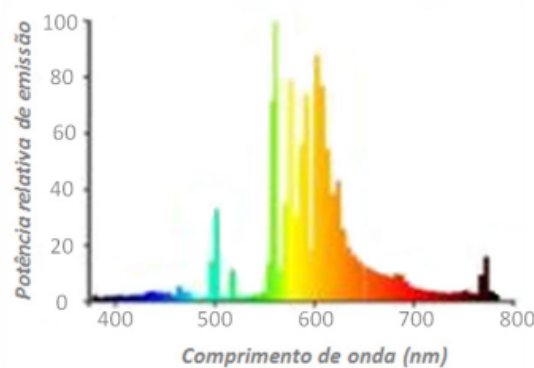


Figura 4.17: Distribuição da energia de uma lâmpada de HPS [32].

As principais características de uma lâmpada de vapor de sódio de alta pressão são [3][6][33]:

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

- Preço mais elevado do que as de mercúrio mas com maior eficiência luminosa.
- Tecnologia madura e bem compreendida.
- Por ser uma tecnologia bem compreendida, não são expectáveis grandes aumentos na sua eficiência.
- Usadas em iluminação pública e em iluminação industrial.
- A gama de fabrico das lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão utilizadas pela EDP Distribuição, de acordo com o DMA-C72-220/E, Julho 1996, abrange, correntemente os seguintes valores de potência: 50 W, 70 W, 100 W, 150 W, 250 W e 400 W.

4.2.2.4 Iodetos metálicos

As lâmpadas de HPS e HPM, não são apropriadas sempre que seja exigido um elevado índice de restituição de cores. Por exemplo, para as ruas de um centro de uma cidade, onde a luz emitida pelas lâmpadas permita visualizar a verdadeira cor dos objectos à sua volta. Para superar esse problema, foi desenvolvida uma nova lâmpada contendo iodetos metálicos (MH – *Metal-Halide*) como aditivos.

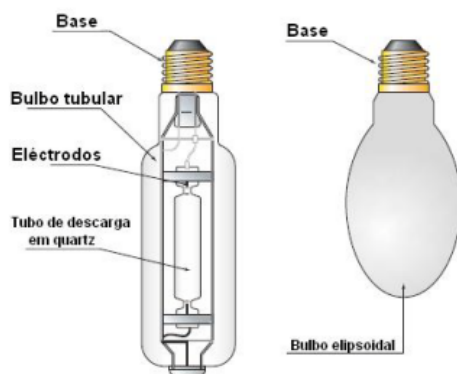


Figura 4.18: Detalhes construtivos de uma lâmpada de iodetos metálicos [3].

Este tipo de lâmpadas contém um revestimento de alumina nas extremidades do tubo de descarga, cujo objectivo é reflectir o calor produzido pela descarga para os eléctrodos, impedindo a condensação dos iodetos no interior do tubo de descarga da lâmpada. Este tipo de lâmpadas necessita de um ignitor adequado que produza picos de tensão até cerca de 5000 V para a ignição. As lâmpadas de iodetos metálicos estão disponíveis nos mais variados formatos, existindo ainda lâmpadas de elevada potência que têm um reflector hermeticamente fechado.

Actualmente, a lâmpada de iodetos metálicos apresenta um grande número de aplicações, com destaque para a iluminação pública de centros históricos e seus monumentos, zonas residenciais e estádios de futebol.

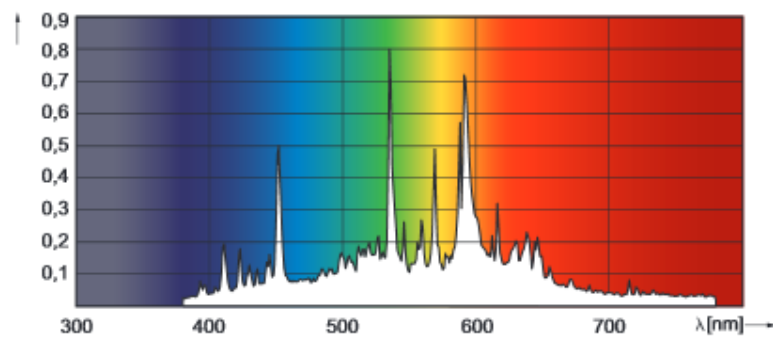


Figura 4.19: Espectro de uma lâmpada de iodetos metálicos CosmoWhite CPO-TW [36].

Esta lâmpada está disponível numa enorme gama de potências, de 35 W até 3500 W, com uma eficiência luminosa em torno dos 100 lm/W, ou seja, o dobro da tradicional lâmpada de vapor de mercúrio, mas ainda inferior à lâmpada de vapor de sódio de alta pressão.

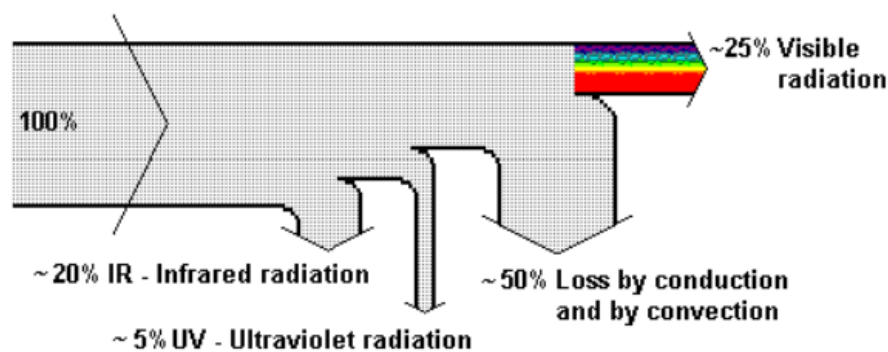


Figura 4.20: Distribuição de energia de uma lâmpada de iodetos metálicos [32].

Comparadas com as lâmpadas de sódio de alta pressão, estas oferecem as mesmas vantagens, mas têm características diferentes. Têm uma maior gama de potências e uma cor mais branca e fria. São usadas quando se necessita de uma boa eficiência e uma boa restituição de cores. A aparência de cor é, contudo, afectada pela idade e têm menor vida útil e rendimento luminoso [3][25][37].

As suas principais características são [3][25]:

- Emitem radiação nas três cores primárias: vermelho, verde e azul, originando bom IRC.
- Eficiências luminosas até 110 lm/W.
- Alto índice de restituição de cores, geralmente maior que LED: 80 a 95.
- Temperatura de cor: 3000 a 7000 K.
- Tempo médio de vida baixo: 12 000 a 16 000 horas.

- Tempo de arranque e de re-arranque: 4 minutos e 10 minutos.
- Necessitam de aparelhagem auxiliar: balastro, ignitor e condensador.
- Usadas quando a restituição de cores tem uma importância primordial, em interiores e em exteriores.
- Preço elevado.
- Elevada depreciação luminosa ao longo do seu tempo de vida.

4.2.3 Tecnologias emergentes

4.2.3.1 Lâmpadas de indução

A lâmpada de indução electromagnética apresenta uma inovação fundamental para o próprio conceito de sistemas de iluminação. O princípio de funcionamento baseia-se na excitação do mercúrio e dos gases nobres que se encontram no seu interior, através da aplicação de um campo magnético oscilante de altíssima frequência, que irá produzir radiação ultravioleta que é convertida em luz visível, usando revestimentos com sais apropriados, tal como acontece nas lâmpadas fluorescentes. Trata-se de uma fonte luminosa que apresenta interessantes aspectos práticos e de fiabilidade, estimando-se a duração máxima de vida em cerca de 100 000 horas, o que correspondem a cerca de 25 anos de funcionamento numa instalação de iluminação com um funcionamento de 11 horas por dia. Por outro lado, emite luz instantânea quando ligada, e um tempo de re-arranque de 0,1 segundos, aliado a um índice de restituição de cores de cerca de 80, com a possibilidade de se poder escolher entre três diferentes tonalidades de cor e com um bom rendimento global comparando com as lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão.

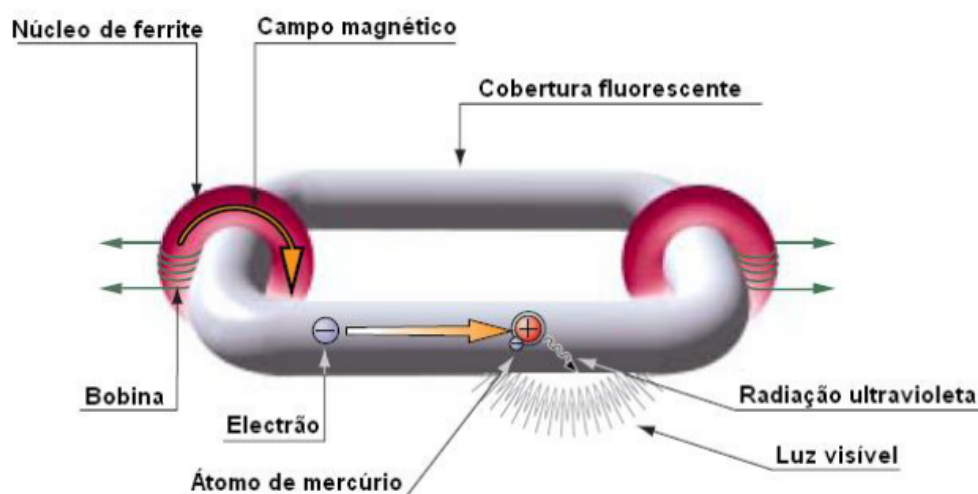


Figura 4.21: Ilustração dos constituintes de uma lâmpada fluorescente de indução [3].

As suas principais características são [3][6][25]:

- Funcionam a alta frequência, o que permite obter uma luz confortável e sem oscilações.
- Eficiência luminosa: de 60 a 80 lm/W.
- Índice de restituição de cores: 80.
- Temperatura de cor: 2700 K a 4000 K,
- Tempo de vida médio: 60 000 a 100 000 horas.
- Tempo de arranque e de re-arranque: rápido e sem cintilação.
- Necessitam de aparelhagem auxiliar: gerador de alta frequência externo.
- Usadas principalmente em iluminação de túneis, iluminação de naves industriais muito altas com manutenção difícil (difícil acesso às armaduras de iluminação).
- Não é possível efectuar dimming.
- Necessita de balastos electrónicos especiais de muita alta frequência.

4.2.3.2 Tecnologia LED

Os LED (*Light Emitting Diode*), vieram revolucionar a forma como se utiliza a luz, permitindo fontes de iluminação totalmente controláveis e ajustáveis, podendo ser integradas em redes inteligentes e comunicativas.

A evolução da tecnologia LED tem mostrado que a lâmpada LED vai ser a substituta das lâmpadas de descarga de alta intensidade.



Figura 4.22: Um díodo LED [3].

A transformação de energia eléctrica em energia luminosa é totalmente diferente da encontrada em lâmpadas convencionais (incandescentes, descarga e indução), pois nos LED a transformação de energia eléctrica em luz é efectuada na matéria sólida, daí que também seja denominada de iluminação em estado sólido (SSL – *Solid State Lighting*). Um LED é um díodo semiconductor, que emite luz por electroluminescência. A saída de luz é função do processo de fabrico, material utilizado, corrente de excitação. O espectro de luz emitida pode estar no ultravioleta, luz visível ou infravermelho. Esta tecnologia não possui filamentos nem descarga eléctrica, trabalha com

tensão contínua reduzida, normalmente de 10 V ou 24 V, precisando de um driver para converter a corrente alternada da rede em corrente contínua, consumindo em média 1 W por LED, o que permite uma poupança considerável de energia, aliado à vantagem de praticamente não emitir radiações IV e UV.

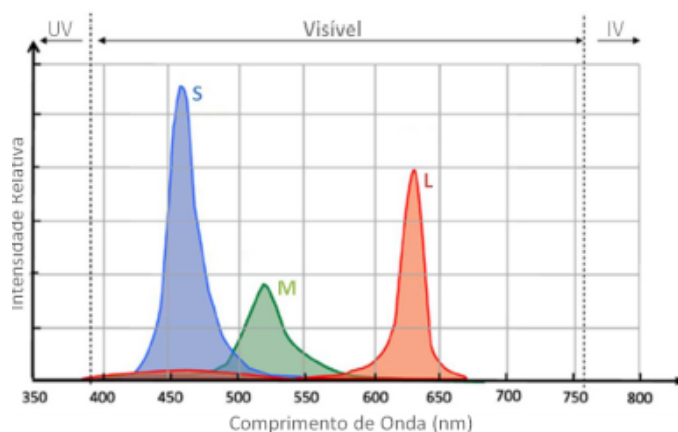


Figura 4.23: Visualização do espectro de um LED branco [3].

Com o desenvolvimento de novas tecnologias de fabrico e aparecimento de novos materiais, os LED têm vindo a ser produzidos com custos cada vez menores, proporcionando uma gama cada vez maior de aplicações, como sinalização e iluminação de ambientes em geral. Já entraram no mercado de iluminação de interiores para substituir as lâmpadas incandescentes e de descarga, estando agora a dar os primeiros passos em aplicações no domínio da iluminação pública.

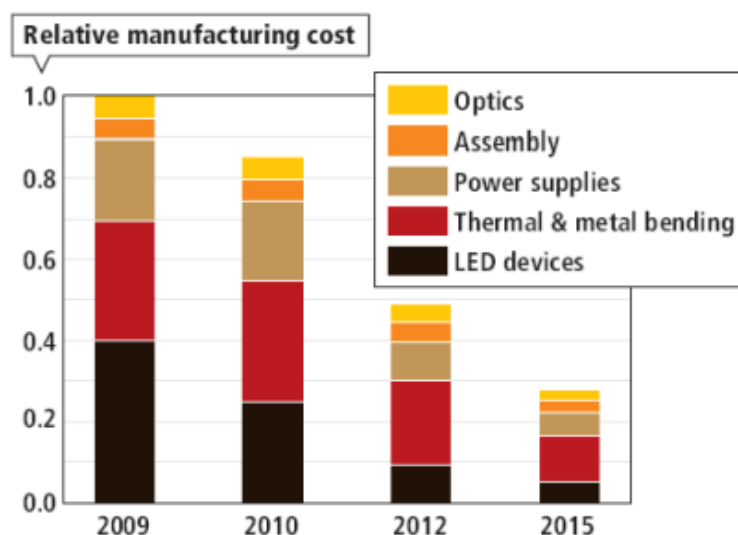


Figura 4.24: Estimação da redução de custo de luminárias de tecnologia LED [38].

A eficiência dos LED tem aumentado consideravelmente durante os últimos anos, graças aos

avanços tecnológicos. Estando directamente relacionada com a cor, já se conseguiu ultrapassar os 130 lm/W para produtos no mercado e os 150 lm/W em laboratório, incrementando ainda mais a cada ano de evolução que passa [3].



Figura 4.25: luminária LED de uso em iluminação pública [29].

A figura 4.26 mostra uma via pública iluminada por tecnologia LED.



Figura 4.26: Via pública iluminada por tecnologia LED [39].

As principais vantagens do uso de LED na IP são [6][25][29][40]:

- Podem emitir luz de uma determinada cor, sem o uso de filtros.

- Pode ser desenhado de modo a focar a luz emitida pontualmente, sem o uso de reflectores externos.
- Não necessitam de sistemas para arrancarem, nem necessitam de arrancadores nem de ignitores.
- Quando são usados com regulação de fluxo não modificam a tonalidade da cor da luz emitida com a variação da corrente que os atravessa.
- São bastante robustos em comparação com os restantes tipos de lâmpadas.
- Têm um tempo de vida médio bastante elevado: 35 000 a 100 000 horas.
- Atingem o seu fluxo nominal muito rapidamente (menos de 100 ns).
- Podem ter dimensões muito reduzidas.
- Vasta gama de temperaturas de cor.
- Maior conforto visual.
- Elevado índice de restituição de cor: >70 .
- Elevada Eficiência, mais de 90% da energia consumida é transformada em luz.
- Menor envelhecimento precoce.
- Regulação do fluxo luminoso de 100% até perto dos 0%.
- Não emitem UV, logo não atraem insectos.
- Possuem maior uniformidade da sua luz emitida comparada com a maioria das luminárias de vapor de sódio de alta pressão.
- Fácil incorporação em sistema de telegestão.
- Os LED não contêm mercúrio prejudicial para o ambiente, ao contrário de todos os tipos de lâmpadas de vapor de mercúrio e para a maioria de vapor de sódio.

Os LED também apresentam, contudo, algumas desvantagens, tais como [10][11][40-42]:

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

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

A figura 4.27, mostra os resultados de um trabalho de campo em várias instalações de IP utilizando LED, para averiguar a depreciação luminosa de várias luminárias de diferentes lotes de produção e fabricantes, consoante as horas de operação e temperatura ambiente.

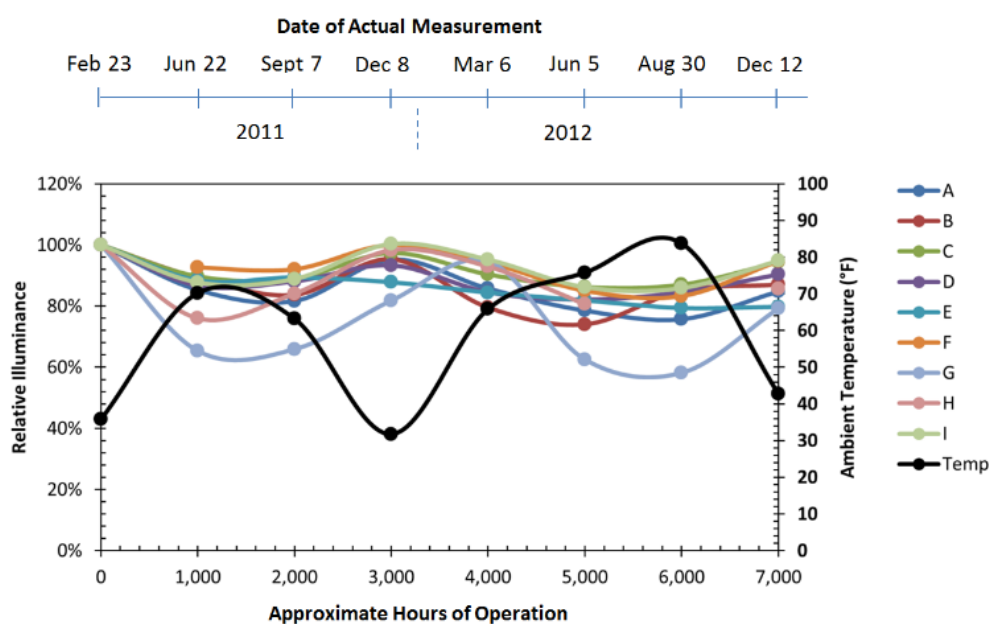


Figura 4.27: Depreciação luminosa de várias luminárias LED de diferentes lotes de produção e fabricantes, consoante as horas de operação e temperatura ambiente [43].

É possível constatar através do gráfico da figura 2.27, que para alguns produtos LED, a depreciação da iluminância chega a ser até 40% com o aumento da temperatura ambiente, provando-se a fragilidade da tecnologia com a temperatura.

A figura 2.28, mostra a diferença da aparência e distribuição da luz emitida por LED à esquerda, e HPS à direita.



Figura 4.28: Diferença da aparência e distribuição da luz emitida por LED à esquerda, e HPS à direita [40].

4.2.4 Tecnologias do futuro

4.2.4.1 Plasma

Lâmpada de plasma, ou LEP (*Light Emitting Plasma*), é uma fonte luminosa de estado sólido que utiliza um gerador de altas frequências para ionizar uma ampola carregada com gás argon [31].



Figura 4.29: Luminária utilizando tecnologia de plasma [44].

Pelo facto de utilizar uma fonte geradora de altas frequências e o fenómeno de ionização de um gás, a gestão de emissão de interferências electromagnéticas (Electromagnetic interference - EMI) e a temperatura que atinge, são dois factores muito problemáticos que terão que ser equacionados na utilização desta tecnologia. Neste sentido, as empresas fabricantes destas ampolas providenciam manuais de desenvolvimento para garantir que as emissões de EMI fiquem contidas dentro da óptica da luminária e que haja uma correcta dissipação do calor.

Outros problemas que foram endereçados a esta tecnologia foram [3]:

- Necessidade de ter o gerador de altas frequências o mais perto possível da ampola, sob pena de reduzir a eficiência da lâmpada.
- Impossibilidade de utilizar sistemas ópticos devido à utilização do fenómeno de incandescência para gerar energia luminosa.
- Redução de fluxo até 20% da sua capacidade máxima, tal como na lâmpada de indução.
- Para baixas potências a eficiência já não se demarca das tecnologias actuais e emergentes (iodetos metálicos cerâmicos e LED).

As suas principais vantagens são [3]:

- Espectro visível total, logo elevado IRC (>95).
- Maior densidade lumínica do que nos LED (mais lúmens por tamanho).

Apesar das suas vantagens e do facto de ser expectável uma evolução rápida da eficiência desta tecnologia acompanhada por uma redução do seu custo, os problemas descritos anteriormente estão a criar entraves na entrada desta tecnologia de iluminação no mercado.

4.2.4.2 OLED

Se o material emissor de um LED for um composto orgânico, é conhecido como um OLED (*Organic Light Emitting Diode*).

O melhor rendimento luminoso obtido com um OLED, até agora, é de cerca de 10% do máximo teórico de 683 lm/W para a luz branca, ou seja cerca de 68 lm/W [45].

Embora não seja expectável que a utilização dos OLED no domínio da iluminação se torne muito popular nos próximos anos, não há dúvidas de que a sua presença no mercado se tornará marcante pelos seus benefícios estéticos, económicos e ambientais para a sociedade [3].

4.2.4.3 COLED

Os COLED (*Cavity Organic Light-emitting Diode*), são cavidades ópticas utilizando espelhos paralelos e espelhos contrapostos que evitam a fuga de fotões para outros pontos que não a direcção de saída da luz emitida pelo dispositivo. As cavidades ópticas, usadas em conjunto com os LED orgânicos feitos de polímeros, resultam numa emissão de luz cinco vezes superior à dos melhores OLED.

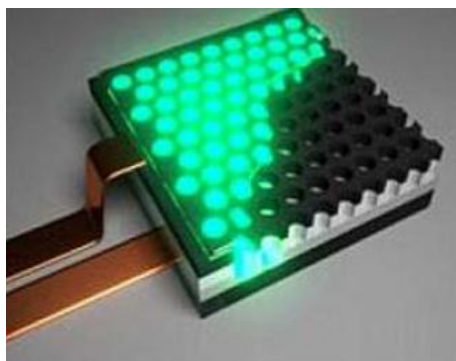


Figura 4.30: Ilustração de um COLED [31].

Os COLED conseguem já uma eficiência de 30 lm/W ao emitir luz azul, mais do que qualquer outro OLED e para a luz verde, os pesquisadores alcançaram 80 lm/W, cerca de três vezes mais do que um OLED tradicional.

Os COLED poderão ser duas vezes mais eficientes do que as actuais lâmpadas fluorescentes compactas [3][31].

4.2.4.4 Lâmpadas incandescentes mais eficientes

Várias experiências têm sido efectuadas no domínio das lâmpadas incandescentes para combater as suas grandes desvantagens: um reduzido tempo de vida útil e uma eficiência luminosa extremamente baixa. Utilizando um laser superpotente com uma duração de 1 femtossegundo durante o processo de fabrico, pode transformar as lâmpadas incandescentes de vilãs em poupadoras de energia. O processo faz com que uma lâmpada de 100 watts, emitindo a mesma luminosidade, consuma menos electricidade do que uma lâmpada de 60 watts, e continue sendo muito mais barata e capaz de emitir uma luz mais agradável de espectro contínuo. Um outro avanço foi conseguido pelos cientistas do Sandia National Laboratories (Estados Unidos) ao criarem uma rede cristalina de tungsténio, com um padrão microscópico bem definido, que é capaz de transformar praticamente toda a energia em luz, evitando o desperdício. O novo filamento poderá elevar a eficiência destas lâmpadas dos actuais 5%, para até 60%. O fabrico do novo filamento baseou-se na tecnologia MEMS e utiliza pastilhas de silício de seis polegadas o que significa que a sua produção efectiva poderá ser fácil e barata. Finalmente, dois engenheiros do Instituto Politécnico Rensselaer (igualmente nos Estados Unidos) recorreram à nanotecnologia e criaram um filtro fotónico metálico bidimensional que aumenta a eficiência dessas lâmpadas em cerca de 8 vezes. Isto é conseguido ao "reciclar" a radiação infravermelha desperdiçada pela lâmpada, reaproveitando-a e transformando-a em luz visível [3].

4.3 Aparelhagem auxiliar

4.3.1 Balastro

As lâmpadas de descarga e as lâmpadas de estado sólido não podem ser ligadas directamente à rede, necessitando na maioria das vezes de um sistema auxiliar de arranque.

No caso dos LED o equipamento de controlo é uma fonte de alimentação controlável denominada *driver*.

O balastro tem como função limitar o valor da corrente durante o funcionamento das lâmpadas de HID, produzir a tensão de arranque e pré-aquecer os eléctrodos de modo a facilitar a emissão de electrões para iniciar a descarga. O balastro é então um equipamento que se insere entre a rede de alimentação e uma ou mais lâmpadas de descarga.

Os balastros podem ser de dois tipos:

- Balastros electromagnéticos.
- Balastros electrónicos.

Os balastros electromagnéticos são tipicamente constituídos por uma bobina enrolada num núcleo ferromagnético. Como têm um factor potência fortemente indutivo, utilizam-se condensadores para gerar energia reactiva tendo em vista a correcção do factor potência. Actualmente apenas são comercializados balastros de classe B (baixas perdas) enquanto que os das restantes classes, C (standard) e D (altas perdas), deixaram de o ser. Devido à sua baixa eficiência energética, os balastros electromagnéticos começaram a ser substituídos pelos electrónicos.



Figura 4.31: Balastro electromagnético [6].

Os balastros electrónicos são constituídos por condensadores e bobinas para alta frequência, resistências, circuitos integrados e outros componentes electrónicos. Operam em alta frequência (de 20 kHz a 50 kHz), o que proporciona maior fluxo luminoso com menor potência de consumo. Para além de serem mais eficientes também podem ter funções de arrancador e regulador do fluxo. No caso da frequência de comutação ser elevada consegue-se anular o efeito estroboscópico e ainda aumentar a eficiência da lâmpada, o que constitui também uma vantagem face aos balastros electromagnéticos. São classificados nas seguintes classes: A1 (balastros electrónicos com regulação), A2 (balastros electrónicos com baixas perdas) e A3 (balastros electrónicos standard).



Figura 4.32: Balastro electrónico [6].

Para os balastros electrónicos com regulação para lâmpadas de HID, o *dimming* ou regulação de fluxo pode ser efectuada por duas maneiras [3]:

- No *dimming* de duplo-nível (degrau) as lâmpadas estão a 100% da sua potência quando os níveis máximos de iluminação são necessários. Quando tal não acontece, o nível de fluxo será reduzido, diminuindo a potência da lâmpada para um valor inferior. Esta variação é feita a degrau, sendo que o balastro apenas permite internamente fazer a regulação para níveis previamente estabelecidos.
- A outra forma comum de *dimming* é denominada contínua e, como o próprio nome indica, a selecção do nível de potência é feita continuamente, o que resulta num controlo do fluxo luminoso completo e adequado às necessidades, para além de ter um menor impacto na qualidade de energia eléctrica.

Os balastros electrónicos oferecem várias vantagens face aos balastros electromagnéticos, das quais se destacam as seguintes [3][6][41]:

- Poupança de energia entre 20% e 30%.
- Ausência de cintilação durante o funcionamento devido à alta frequência da operação (aproximadamente 30 kHz).
- Substitui o arrancador e condensador.
- Fluxo constante, independentemente da tensão de alimentação.
- Controlo versátil do fluxo luminoso: existem balastros electrónicos que permitem a regulação do fluxo luminoso o que permite uma poupança considerável de energia nas situações em que a iluminação está ligada a um sistema de controlo automático.
- Absorve as variações de tensão da rede (entre 190 V e 253 V).
- Aumento do tempo de vida útil das lâmpadas (em cerca de 50%).
- Temperatura de funcionamento mais baixa.

- Factor de potência mais elevado (superior a 0,95), evitando o uso de condensadores.
- Facilidade de implementação em sistemas de telegestão.

A tabela 4.1 faz um resumo dos tipos de balastros disponíveis para venda.

Tabela 4.1: Resumo dos tipos de balastros disponíveis para venda [3].

Classe	Tipo de Balastro
A1	Balastro Electrónico com dimming
A2	Balastro Electrónico de baixas perdas
A3	Balastro Electrónico convencional
B1	Balastro magnético de muito baixas perdas
B2	Balastro magnético de baixas perdas
C	Balastro magnético convencional Proibida a venda desde 21 de Novembro de 2005
D	Balastro magnético de altas perdas Proibida a venda desde 21 de Maio de 2002

4.3.2 Condensador

A utilização de balastros electromagnéticos impõe um baixo factor de potência à instalação de iluminação. Assim, é incompatível com a correcta exploração das instalações eléctricas onde se inserem as lâmpadas, recorrendo-se para isso a condensadores de compensação do factor de potência [6].



Figura 4.33: Imagem de um condensador para uso em IP [6].

4.3.3 Ignitor

São usados para alguns tipos de lâmpadas de descarga (HPS e MH), com a função de injectar impulsos de alta tensão através das lâmpadas, para permitir o arranque das mesmas, ou seja, para

além de assegurar o pré-aquecimento dos eléctrodos da lâmpada, irá gerar uma sobretensão para o arranque da mesma [3][6].



Figura 4.34: Imagem de um ignitor para uso em IP [6].

4.3.4 Driver

Entende-se por *driver* de LED todo o circuito controlador dos LED, que tem como função efectuar a conversão da energia eléctrica da rede em corrente contínua, de forma a alimentar todos os componentes electrónicos da luminária LED, e a controlar a corrente fornecida nos vários modos de funcionamento dos LED. Adicionalmente, alguns *drivers* permitem ainda efectuar o *dimming* nos LED, controlar as comunicações e implementar inclusive capacidades de inteligência artificial. A eficiência dos *drivers* pode variar dos 74% (*driver* do tipo corrente constante) até ao valor máximo possível na prática de 95% (*driver* do tipo tensão constante). A maior parte dos *drivers* apresenta uma eficiência na casa dos 80%, o que reduz em 20% a eficiência total de uma luminária LED [3].

4.4 Luminárias

Uma luminária de iluminação pública é um conjunto óptico, eléctrico e mecânico, com a função de distribuir e controlar a luz emitida pela lâmpada.

As luminárias devem satisfazer os seguintes requisitos [3][46]:

- Dirigir o fluxo luminoso para obter a repartição luminosa desejada, com o melhor rendimento possível.
- Evitar o encandeamento e a poluição luminosa.
- Satisfazer as especificações eléctricas que garantem a segurança e o bom funcionamento.
- Proteger o melhor possível as lâmpadas e os dispositivos eléctricos e ópticos das influências atmosféricas.
- Promover a dissipação de calor.



Figura 4.35: Luminárias normalmente utilizadas em Portugal na IP [4].

As figuras 4.35 e 4.36, apresentam as luminárias normalmente utilizadas em Portugal na iluminação pública.

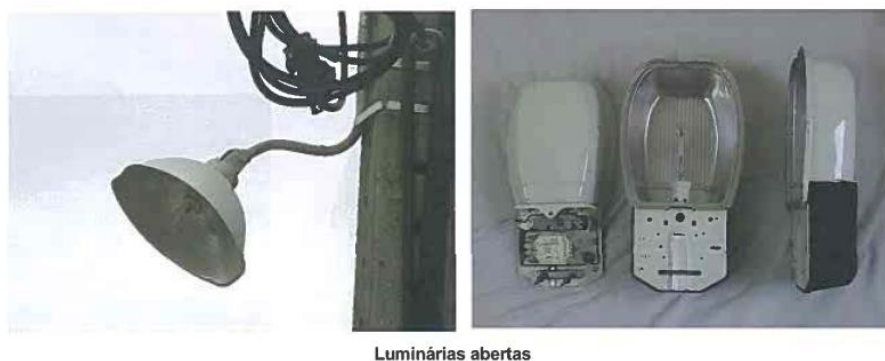


Figura 4.36: Luminárias abertas normalmente utilizadas em Portugal na IP [4].

Uma luminária é constituída por [3][33][46]:

- Sistema óptico:
 - Visa modificar a distribuição do fluxo luminoso emitido pela lâmpada, sendo realizado pela combinação dos seguintes dispositivos (podem nem todos estar presentes consoante o tipo de luminária):
 - * Reflector.
 - * Refractor.
 - * Difusor.
- Suporte das lâmpadas.
- Dispositivo de regulação.
- Compartimento de acessórios.
- Dispositivo de fixação.
- Corpo, carcaça ou armadura da luminária.

A figura 4.37, mostra os constituintes de uma luminária eficiente do modelo Onyx da marca Schreder, para lâmpadas de HID.

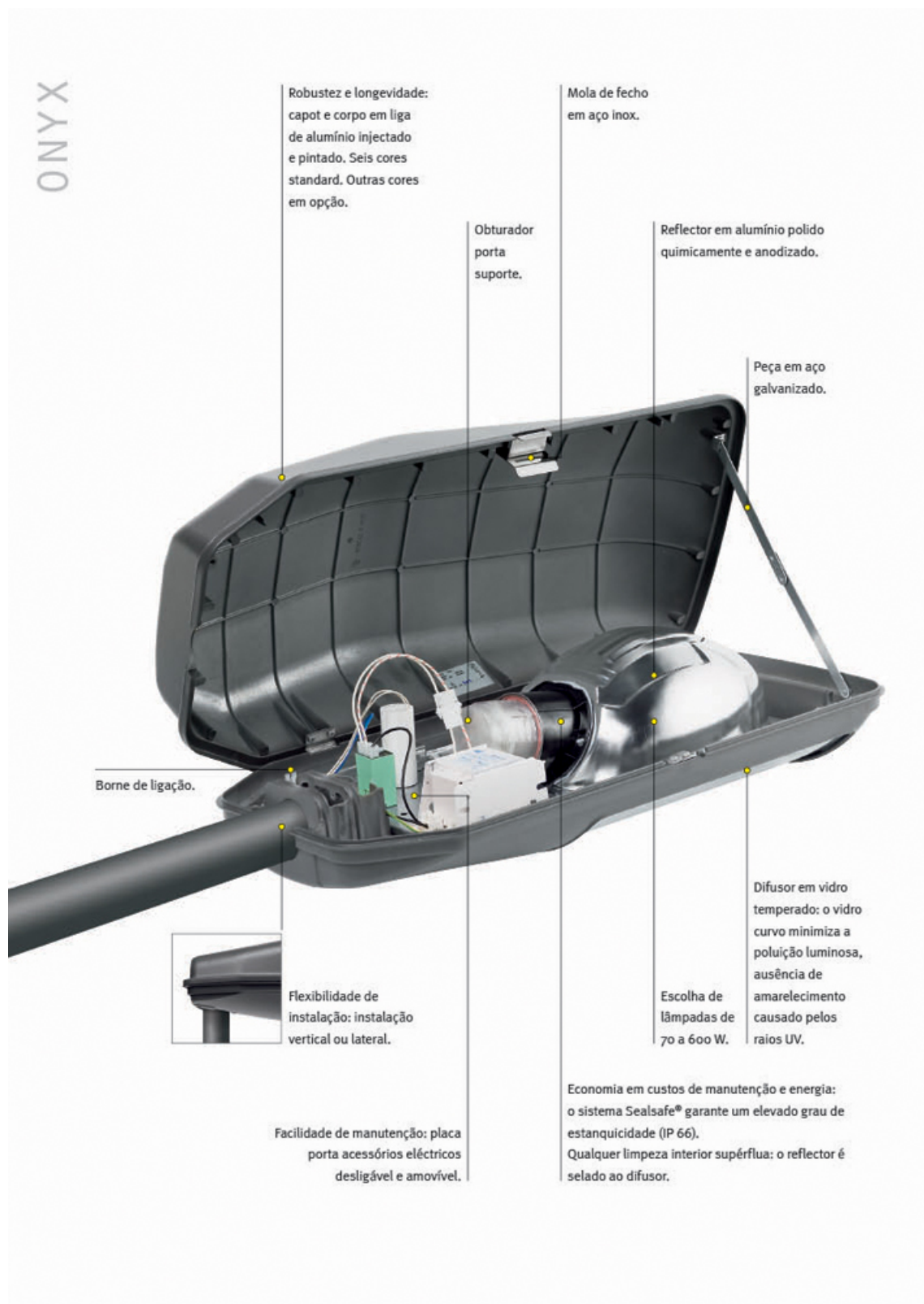


Figura 4.37: Ilustração dos constituintes de uma luminária HID de alta gama [29].

A figura 4.38, mostra os constituintes de uma luminária eficiente do modelo Teceo da marca Schreder, de tecnologia LED.

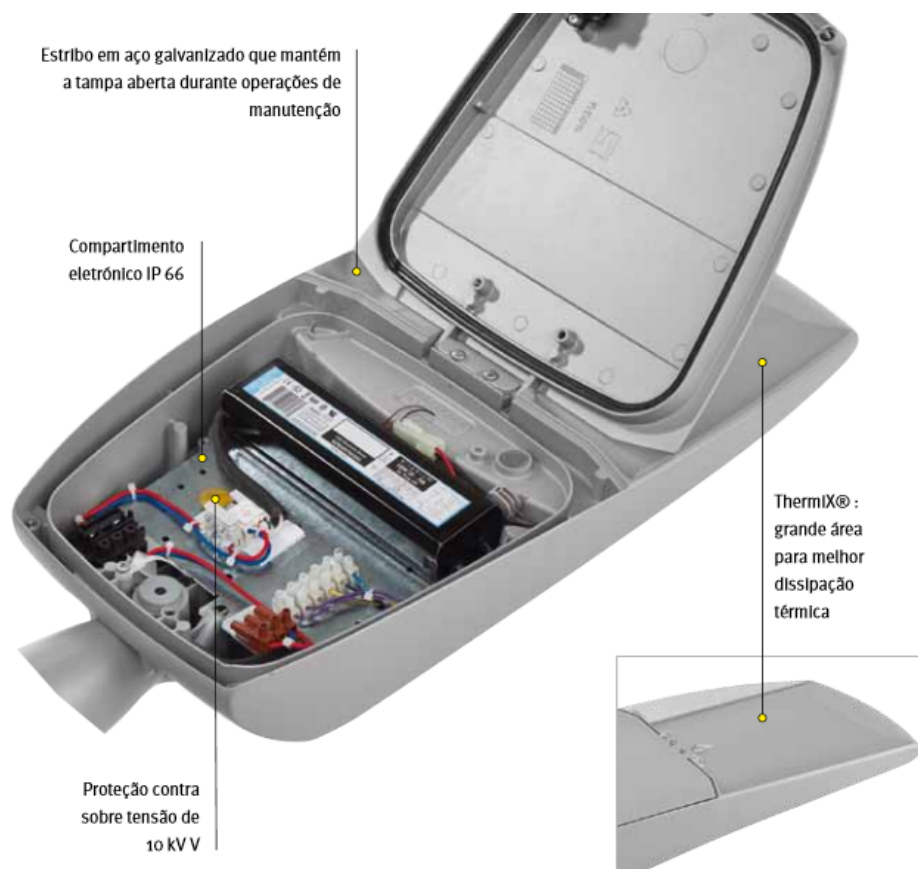


Figura 4.38: Ilustração dos constituintes de uma luminária LED de alta gama [29].

A escolha da luminária deve ter em conta vários aspectos económicos e técnicos. Em termos de aspectos económicos, há que ter em atenção [3][33][46]:

- O custo das armaduras.
- O custo da instalação.
- A facilidade de substituição das lâmpadas e da aparelhagem auxiliar.
- A facilidade de limpeza.

No que respeita aos aspectos técnicos, é preciso ter em consideração [3][33][46]:

- A natureza dos dispositivos óptico e de fixação da luminária.
- O peso.
- As dimensões.

- A resistência às condições atmosféricas.
- O rendimento luminoso.
- O tipo e potência das lâmpadas que vão ser instaladas.
- O tipo de armadura: fechada ou aberta.
- A poluição luminosa.
- A capacidade de resistência ao aquecimento, sujidade, corrosão e vibrações.

4.4.1 Sistema óptico

4.4.1.1 Reflector

Os reflectores dirigem a luz para o ângulo sólido desejado, possibilitando a orientação do fluxo luminoso na direcção pretendida, procurando localizar a maior percentagem possível da luz emitida, pela fonte luminosa, na zona a iluminar. Não obstante, a escolha de uma lâmpada de elevada eficiência em detrimento da utilização de um reflector pobre e com más prestações poderá arruinar substancialmente o rendimento do conjunto funcional. A eficiência do reflector irá variar consoante a sua reflectância e a sua resistência, peculiares ao material de construção utilizado. A sua forma pode ser variada, existindo como reflectores planos, circulares, parabólicos, elípticos ou uma combinação destas formas. Do material mais eficiente para o menos eficiente [33][46]:

- Alumínio (metalizado, anodizado ou polido).
- Vidro espelhado.
- Plásticos espelhados.
- Chapa de aço esmaltada ou pintada de branco.

4.4.1.2 Refractor

Os refractores utilizam o princípio da refacção dos corpos transparentes servindo também para direccionar o fluxo luminoso, e são normalmente em vidro ou então em material plástico.

Deverão ter resistência suficiente contra choques mecânicos e térmicos que ocorram ao longo do tempo de vida da luminária, conservando o seu aspecto estético e funcional.

O refractor não existe nas luminárias abertas [33][46].

4.4.1.3 Difusor

Empregam-se normalmente para melhorar o conforto visual, através de uma diminuição da luminância das lâmpadas, modificando a distribuição espacial do fluxo luminoso emitido por uma fonte luminosa. Normalmente utilizam-se com os dispositivos ópticos atrás descritos. Os materiais normalmente utilizados são diferentes tipos de plásticos (metacrilato e policarbonato), e diferentes

tipos de vidros (plano, curvo, temperado, claro, etc.). A outra função dos difusores é proporcionar a estanquicidade do sistema óptico, pelo que o difusor não existe nas luminárias abertas [33][46].

4.4.2 Suporte das lâmpadas

O suporte das lâmpadas deve assegurar permanentemente a posição correcta das lâmpadas, bem como um contacto eléctrico eficiente em diferentes condições de utilização, em particular quando as armaduras estão sujeitas a vibrações [33].

4.4.3 Dispositivo de regulação

Uma luminária pode ter dispositivos de regulação de modo a adaptar a distribuição luminosa à área a iluminar. Isto verifica-se principalmente nas luminárias mais eficientes, onde se consegue também o ajustamento da posição da própria fonte luminosa, assegurando um melhor funcionamento óptico [33].



Figura 4.39: Possibilidade de ajustamento da posição da fonte luminosa numa luminária [33].

4.4.4 Compartimento de acessórios

A designação de acessórios para uma luminária, contempla toda a aparelhagem auxiliar necessária ao funcionamento das lâmpadas, sendo basicamente o balastro, condensador e ignitor (quando necessário). Em determinados tipos de luminárias, esta aparelhagem é colocada, dentro do próprio corpo da luminária, pelo que não se pode, propriamente, falar em compartimento separado, como mostra a figura 4.40. Noutros casos, como é o caso da luminária representada na figura 4.41, uma luminária do modelo Z1 da marca Schröder, a aparelhagem é colocada num compartimento exterior ao corpo da luminária [33][46].

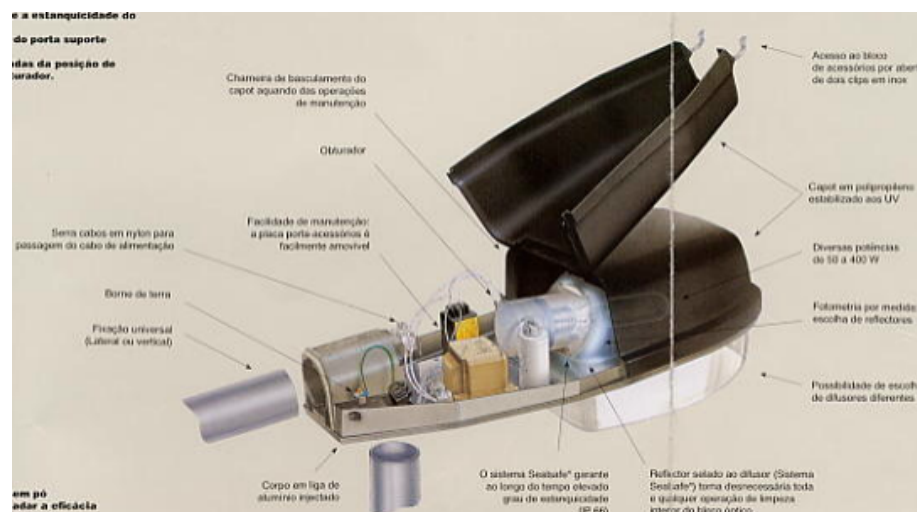


Figura 4.40: Luminária com aparelhagem auxiliar incorporada no corpo da mesma [46].

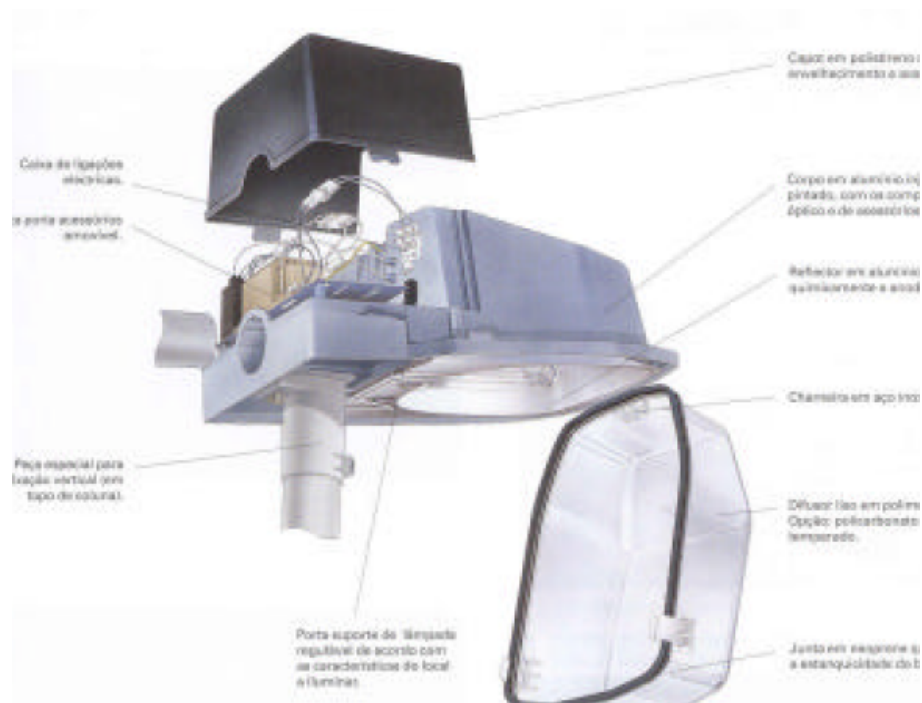


Figura 4.41: Visualização do compartimento de acessórios exterior ao corpo da luminária [33].

4.4.5 Dispositivo de fixação

Serve para fixar a luminária ao poste, podendo a fixação ser lateral (horizontal) ou vertical, havendo luminárias em que os dois sistemas são possíveis. Há, ainda, a possibilidade de o sistema de fixação ser fixo ou orientável [33].

O dispositivo de fixação define o ângulo de inclinação da luminária em relação à via a iluminar, obtendo-se melhores ou piores prestações dependendo da inclinação e da fotometria da luminária.

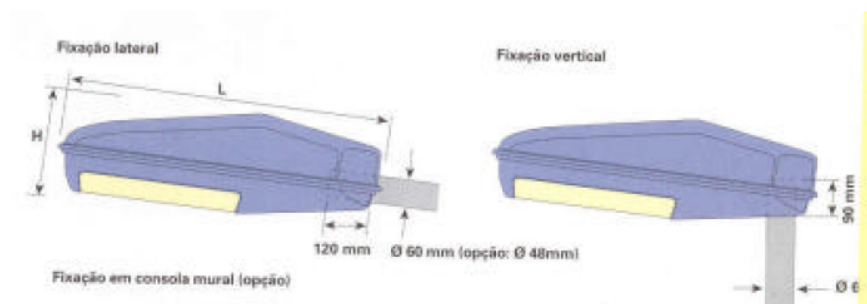


Figura 4.42: Fixação lateral e fixação vertical [33].

4.4.6 Corpo, carcaça ou armadura da luminária

O corpo da armadura pode ser simples ou formado por vários elementos dissociáveis ou não. Pode formar, total ou parcialmente, a parte óptica da armadura. A sua forma, dimensões e disposições construtivas devem ter em atenção o tipo e a potência das lâmpadas previstas, condições de natureza estética, bem como as condições de funcionamento, permitindo [33][46]:

- Substituir facilmente as lâmpadas.
- Proteger convenientemente as lâmpadas e os órgãos eléctricos.
- Assegurar uma boa resistência à corrosão, aos choques mecânicos e às vibrações.

O formato da carcaça varia bastante, de fornecedor para fornecedor consoante o propósito funcional/estético da luminária. Adicionalmente, o material de construção é igualmente diversificado obtendo-se diferentes pesos, dimensões e resistências mecânicas. Nas carcaças, é comum encontrar os seguintes materiais [33][46]:

- Alumínio (injectado, extrudido).
- Aço.
- Vidro.
- Materiais plásticos:

- Polipropileno.
- Poliamida.
- Poliéster reforçado a fibra de vidro.

4.4.7 Eficiência de uma luminária

Ao avaliar uma luminária, a sua eficiência e as suas características de emissão do fluxo luminoso têm grande importância. A eficiência de uma luminária (η) pode ser obtida pela relação entre fluxo luminoso emitido ($\Phi_{luminaria}$) e o fluxo luminoso emitido pela fonte luminosa ($\Phi_{lampada}$):

$$\eta = \frac{\Phi_{luminaria}}{\Phi_{lampada}}. \quad (4.1)$$

Parte do fluxo luminoso da lâmpada é absorvido pela luminária, enquanto o restante é emitido para a área a iluminar. O valor da fracção de emissão da luz da luminária irá depender dos seguintes factores:

- Forma e tipo de construção (aberta ou fechada).
- Dispositivos usados para proteger as fontes luminosas.
- Estado de conservação.
- Materiais utilizados na sua construção e em particular da reflectância das suas superfícies.

No caso de uma luminária aberta (sem difusor), o rendimento no início do seu ciclo de vida é 10% superior ao de uma luminária fechada. No entanto, com a acumulação de poeiras na lâmpada e no sistema óptico a um ritmo bastante mais elevado, o seu rendimento irá decair, podendo tornar-se inferior ao proporcionado por uma luminária fechada. Uma luminária fechada justifica-se por razões de ordem estética e por razões de ordem técnica, pois para além de proteger o sistema óptico e a fonte de luz, essa parte adicional da luminária irá completar o próprio sistema óptico (refractores e difusores) [3][46].

4.4.8 Classificação das luminárias

A classificação mais actual das luminárias de iluminação pública baseia-se em três propriedades básicas [3][46]:

- Projecção da armadura: a distância até onde a luz saída da armadura é distribuída ao longo da estrada.
- Dispersão da armadura: indica a distribuição luminosa no sentido transversal da estrada.
- Controle da armadura: a facilidade de controlar o encandeamento produzido.

A tabela 4.2 mostra os parâmetros para cada classificação de luminária, enquanto que a imagem 4.43 os demonstra.

Tabela 4.3: Significado do 1º algarismo do índice IP [27].

Dígito	Tamanho do Objeto	Proteção
0	---	Nenhuma proteção contra o contacto e a penetração de objetos
1	> 50 milímetros	De qualquer grande superfície do corpo, tais como mãos, mas sem nenhuma proteção contra penetração liberal no instrumento
2	> 12,5 milímetros	Dedos ou objetos de comprimento maiores que 80 mm cuja menor secção transversal é maior que 12mm.
3	> 2,5 milímetros	Ferramentas, fios grossos, etc. de comprimento maiores que 2,5 mm cuja menor secção transversal é maior que 2,5mm.
4	> 1 milímetro	A maioria dos arames, parafusos, etc. de comprimento maiores que 1,0 mm cuja menor secção transversal é maior que 1,0mm.
5	Proteção relativa contra poeira e contacto com as partes internas ao invólucro	A entrada de poeira não é totalmente impedida, mas não devem entrar em quantidade suficiente para interferir com o funcionamento satisfatório do equipamento; completa proteção contra o contacto
6	Totalmente protegido contra penetração e poeira e contacto com as partes internas do invólucro	Não é esperada nenhuma infiltração de poeira e completa proteção contra contacto

Tabela 4.4: Significado do 2º algarismo do índice IP [27].

Dígito	Protecção	Descrição
0	Não protegido	Nenhuma protecção especial. Invólucro aberto
1	Gotas de água	Protecção contra gotas de água devida condensação caindo verticalmente (90°) não exercerá qualquer efeito nocivo ao funcionamento do equipamento.
2	Gotas de água quando inclinado até 15 °	Verticalmente gotas de água não devem ter qualquer efeito nocivo, quando o equipamento é inclinado em um ângulo de até 15 ° em relação a sua posição normal.
3	Água pulverizada	Água caindo como um spray, em qualquer ângulo até 60 ° em relação à vertical não deve ter qualquer efeito nocivo.
4	Projecções contra água aspergida	Projecção leve de água contra de qualquer direcção não deve ter qualquer efeito nocivo.
5	Jactos de água	Água projectada por um bico contra recinto de qualquer direcção não deve ter efeitos nocivos.
6	Poderosos jactos de água	Água projectada em jactos potentes contra a qualquer direcção não deve ter efeitos nocivos.
7	Imersão até 1 m	A entrada da quantidade de água não será prejudicial quando o equipamento estiver imerso em água sob condições definidas de pressão e do tempo (até 1 m de submersão).
8	Imersão após 1 m	A protecção do equipamento é adequada para imersão contínua em água, em condições que devem ser especificados pelo fabricante. NOTA: Normalmente, isto significa que o equipamento é hermeticamente fechado. No entanto, com determinados tipos de equipamentos, que pode significar que a água possa entrar, mas só de forma tal que não produz efeitos nocivos.

Quanto maior for o número de IP, maior será a protecção fornecida pela luminária, fazendo com que o factor de manutenção global seja mais elevado devido à menor depreciação do fluxo luminoso por agentes exteriores, contribuindo para o aumento da eficiência global da instalação [2][33][46][27].

4.5 Manutenção dos sistemas de IP

A operação e manutenção da IP é um enorme desafio devido ao vasto número de componentes inseridos numa rede. Todos os sistemas de iluminação irão deteriorar-se progressivamente a partir do instante inicial de funcionamento. Esta diminuição do desempenho é o resultado da:

- 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.
- Tecnologia de iluminação aplicada.

- 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 efectuada, 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 factores de depreciação de uma rede de IP que reduzem o seu nível de iluminação.

Dividem-se em dois grupos:

- Depreciação não recuperável.
- Depreciação recuperável.

Na depreciação não recuperável, como por exemplo o envelhecimento das luminárias, as suas atenuantes são inerentes à instalação e ao seu meio ambiente, não sendo possível melhorá-los com a manutenção efectuada.

Os factores inerentes à depreciação recuperável, podem ser melhorados através de uma manutenção de rotina [3].

4.6 Conclusão

Neste capítulo foram enunciadas as principais características das várias tecnologias de iluminação e das respectivas luminárias utilizadas nas vias públicas.

A figura 4.44 representa um resumo da evolução da eficiência luminosa das tecnologias de iluminação e das suas luminárias.

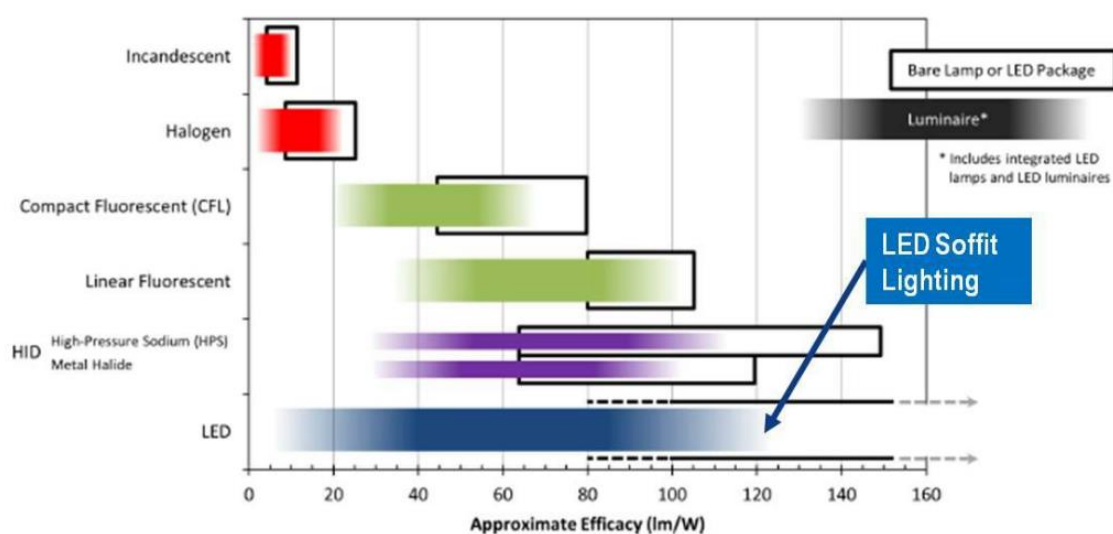


Figura 4.44: Comparação de eficiência de lâmpada LED entre lâmpadas de HID para o ano de 2013 [47].

Os rectângulos pretos indicam a eficiência luminosa das lâmpadas, que varia com o tipo de construção, material, potência entre outros. As regiões sombreadas indicam a eficiência da luminária, considerando todo o sistema, incluindo as perdas da aparelhagem auxiliar. Dentro da tecnologia apresentada, apenas os LED têm possibilidade de aumentar a sua eficiência no futuro, de forma constante.

As tecnologias do presente encontram-se já bastante consolidadas, pelo que se aproximam do seu valor máximo teórico que vai de encontro com a sua eficiência energética.

Pelo contrário, as tecnologias emergentes como é o caso dos LED, encontram-se em constante evolução.

No próximo capítulo será abordado o novo Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública, criado de forma a estabelecer uma série de parâmetros técnicos que devem ser seguidos por um projecto de IP, de modo a se obter uma maior eficiência energética das instalações.

Capítulo 5

Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública

O Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública (DREEIP) surgiu em Janeiro de 2011, na sequência de uma proposta apresentada pela RNAE – Associação das Agências de Energia e Ambiente (Rede Nacional), em parceria com o CPI – Centro Português de Iluminação e a Ordem dos Engenheiros, a Secretaria de Estado da Energia e da Inovação do Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento (SEEI/MEID).

Apesar de não estar incluído no âmbito da legislação aplicável à iluminação pública, constitui uma importante fonte de consulta aquando do estudo das medidas que podem ser tidas em consideração para o estudo de um projecto de IP, nomeadamente no que se refere aos requisitos de eficiência energética e aos parâmetros relevantes a ter em conta.

O DREEIP tem como objectivo definir uma série de parâmetros técnicos que deve seguir um projecto de IP, de modo a se obter uma maior eficiência energética destas instalações, e poder funcionar como complemento para um Plano Director de Iluminação Pública (PDIP) de uma Autarquia ou concessionária.

O documento aponta para a classificação energética de uma instalação de IP com recurso a um código de letras e referenciará o modo e o conteúdo de apresentação de um projecto de IP eficiente do ponto de vista energético e lumínico.

O documento insere-se num quadro de utilização de materiais normalizados pelas autarquias, concessionárias das redes e/ou entidades com responsabilidade de implementar, operar e manter redes de IP. Aplica-se a novos projectos de iluminação pública ou a remodelações completas (conjuntos de luminárias e/ou apoios com rede de alimentação) de instalações existentes.

O disposto no DREEIP não se deve aplicar a:

- Remodelações parciais, processos de manutenção ou operação das redes existentes;

- Zonas especiais de intervenção, assim classificadas pelos Municípios, iluminação ornamental/decorativa, iluminação monumental, instalações militares, túneis, iluminação de segurança, zonas históricas ou outras que sejam objecto de regulamentação específica.

É apenas visada a IP funcional no DREEIP. Em suma, o DREEIP foi criado com a finalidade de [27][48]:

- Dotar os Municípios, e quem de decisão, de um instrumento que aponte para soluções sustentáveis do ponto de vista de eficiência energética na iluminação independentemente da fonte ou da tecnologia utilizada.
- Servir de referência para novas instalações e para requalificações.
- Convergência com o PNAEE, normas internacionais e Portaria 454/2001.
- Classificação criteriosa das vias de acordo com as normas internacionais.
- Adaptação dos níveis de iluminação às correspondentes classificação das vias, com limites.
- Limitação do fluxo luminoso para cima, reduzindo a energia gasta em luz inútil, poluição luminosa e luz intrusiva.
- Introdução de um índice de eficiência energética e sua classificação para as vias.
- Garantir em qualquer circunstância a qualidade da iluminação pública.
- Redução em mais de 30% do consumo energético.
- Criar uma maior responsabilidade no projecto luminotécnico.
- Valorizar e dinamizar o projecto luminotécnico.

5.1 Iluminação pública funcional

Na iluminação pública funcional devem ser consideradas zonas urbanas e zonas fora do perímetro urbano.

Consideram-se zonas fora do perímetro urbano, todas as vias fora do perímetro urbano, incluindo vias de circulação periféricas ao tecido urbano com traçado simples (rectas e curvas largas), onde seja possível medir luminâncias.

As vias dentro do perímetro urbano, devido à complexidade de traçado e diversidade de superfícies reflectoras existentes nessas mesmas vias, não permitem calcular de modo fiável as luminâncias e, neste sentido, os cálculos deverão apresentar níveis de iluminância, devendo ser utilizada a conversão de candelas para lux na relação de 1 para 15.

Para estabelecer as condições adequadas de iluminação, foi utilizado o método simplificado preconizado no relatório técnico CIE 115:2010, que é uma simplificação da norma para a IP EN

13201, reduzindo o número de parâmetros necessários de modo a não existirem interpretações diversificadas a que a aplicação directa da norma EN 13201 poderia conduzir.

Nos pontos seguintes serão enumeradas as classes e as metodologias para a selecção das classes de iluminação, sendo que prevalecerão sempre os documentos EN 13201 e CIE 115 [27].

5.2 Classes de iluminação consoante o tipo de estrada

Cada tipo de estrada a ser iluminada está associado a mais do que uma classe de iluminação, que será determinada, no PDIP 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 luminâncias para as classes ME
- Valores de iluminância para as restantes classes.

Para as condições existentes em Portugal, as classes a ter em conta num projecto de IP podem ser classificadas em três categorias de estradas, que compreenderão as classes de iluminação da norma EN 13201-2:2003, conforme descritas na tabela 5.1.

Tabela 5.1: Classificação das três categorias de estradas existentes em Portugal [30].

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 EN 13201-2:2003: ● [ME1 a ME5] ● [MEW1 a MEW5]
M (misto)	Corresponde a um tráfego misto, ou seja, comporta tráfego motorizado a baixa e média velocidade, bem como 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 EN 13201-2:2003: ● [ME2 a ME5] ● [MEW2 a MEW5]
L (lento)	Corresponde ao tráfego lento, ou seja, para zonas residenciais e áreas pedonais (jardins e outros espaços públicos) com requisitos somente de iluminância (lux). Compreende as seguintes classes definidas na norma EN 13201-2:2003: ● [CE0 a CE5] ● [S1 a S6] ● [ES1 a ES9] ● [EV1 a EV6] ● [A1 a A5]

Na categoria R (rápido), as lâmpadas empregues são maioritariamente sódio de alta pressão (HPS), com potências compreendidas entre os 150 W e os 250 W. Potências de 400 W e 600 W são menos comuns. Para o uso de sódio de baixa pressão (LPS), são usadas potências de 131 W, 135 W e 180 W. Os únicos estados europeus com uma parcela significativa destas lâmpadas são a Bélgica, Holanda, Suécia, Reino Unido e Irlanda, e a tendência é que estas lâmpadas sejam substituídas por HPS.

Na categoria M (misto), são utilizadas maioritariamente lâmpadas de HPS e mercúrio de alta pressão (HPM). As potencia típicas são 250 W e 400 W para HPM, e 100 W, 150 W e 250 W para HPS. Neste caso ainda se utilizam lâmpadas de LPS noutros países com potências de 90 W, 131 W e 135 W, mas estão a ser gradualmente substituídas por lâmpadas de HPS.

Na categoria L (lento), são utilizadas maioritariamente lâmpadas de HPS e HPM, e com uma menor extensão, lâmpadas fluorescentes compactas (CFL) e lâmpadas de iodetos metálicos (MH). As potências típicas para HPM são ou 50 W ou 125 W, e 125 W ou 70 W para HPS. Para as de MH, utilizam-se geralmente potências de 70 W, e em relação às CFL, potências de 36 W. As lâmpadas de HPM estão a ser substituídas por HPS, mas ainda representam uma cota substancial em proporção com as restantes tecnologias [49].

5.2.1 Classes ME

As vias da classe ME estão incluídas nas zonas fora do perímetro urbano, porque é possível a medição de luminâncias, logo aplica-se a norma EN 13201.

A tabela 5.2 apresenta os vários tipos da classe ME.

Tabela 5.2: Tipos da classe ME [27].

Classe da via		Luminância da superfície da via em condições secas			Deslumbramento Perturbador	Iluminação Envolvente
		Luminância média L_m (cd/m ²)	Uniformidade Global U_0	Uniformidade longitudinal U_1	Aumento limiar TI (%)	Relação Entorno SR
ME1		2,00	0,40	0,70	10	0,50
ME2		1,50	0,40	0,70	10	0,50
ME3	a	1,00	0,40	0,70	15	0,50
	b			0,60		
ME4	a	0,75	0,40	0,60	15	0,50
	b			0,50		
ME5		0,50	0,35	0,40	15	0,50
ME6		0,30	0,35	0,40	15	0,50

Para a iluminação pública funcional, os níveis médios calculados não deverão ultrapassar 120% nem serem inferiores a 95% dos níveis de referência da tabela 5.2 [27]:

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

5.2.1.1 Determinação da classe ME

A determinação da classe ME é feita de acordo com a tabela 5.3.

Tabela 5.3: Selecção das classes de iluminação ME [27].

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

Para a determinação da classe ME e, de acordo com a CIE 115, deve proceder-se do seguinte modo:

- Atribuir, apropriadamente, um factor de peso a cada trâmite especificado (já atribuído na tabela para efeitos de normalização).
- Somar todos esses factores seleccionados, obtendo um valor “Total”.
- Introduzir esse valor na equação: Índice (ME) = 6 – Total, obtendo o índice da classe ME.

De notar que poderá ser necessário arredondar o valor de “Total” para o número inteiro mais baixo, ou mesmo limitar o intervalo de valores possíveis entre 0 e 6.

Para determinação das opções para a velocidade deverá ser utilizado, como referência, o seguinte:

- Moderada ou Reduzida: [0 km/h; 70 km/h].
- Alta: [70 km/h; 100 km/h].
- Muito Alta: Superior a 100 km/h.

Para determinação das opções para o volume de tráfego deverão ser utilizados, como referência, os seguintes valores:

- 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.

Para determinação das opções para a Luminância Ambiente, deverá ser utilizado, como referência, o seguinte:

- 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.

Competirá ao projectista, em situações especiais (por exemplo determinação do volume de tráfego), realizar a avaliação em alinhamento com o PDIP da responsabilidade da Autarquia [27].

5.3 Zonas de conflitos

Nas zonas de conflito, que ocorrem quando vias de circulação se intersectam ou desembocam em áreas frequentadas por pedestres, ciclistas ou outros utilizadores, deverá ser utilizada a classe CE.

São exemplo de zonas de conflito:

- 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. Para a iluminação destas zonas deverá, nomeadamente, ter-se em consideração o seguinte:

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

5.3.1 Classes CE

De acordo com a norma EN 13201:2003, se o critério da via adjacente à zona de conflito que está a ser utilizado for o da iluminância, então de acordo com a tabela 5.4 deve-se realizar a correspondência entre classes ME e CE.

Tabela 5.4: Classe da área de conflito correspondente à classe da estrada adjacente, quando a iluminância é o critério utilizado [50].

Classe da estrada adjacente	Classe da área de conflito
ME1	CE0
ME2	CE1
ME3	CE2
ME4	CE3
ME5	CE4

Os parâmetros lumínicos da classe CE estão representados na tabela 5.5.

Tabela 5.5: Parâmetros lumínicos da classe de iluminação CE da norma EN 13201:2003 [30].

Classe CE	Iluminância horizontal	
	E (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 seja usado o critério da luminância, de acordo com a CIE115 estas zonas deverão ter um índice um nível superior às estradas adjacentes, devendo ser utilizada a tabela 5.6 [27].

Tabela 5.6: Classe da área de conflito correspondente à classe da estrada adjacente, quando a luminância é o critério utilizado [27].

Classe da estrada adjacente	Classe da área de conflito
ME1	ME1
ME2	ME1
ME3	ME2
ME4	ME3
ME5	ME4
ME6	ME5

Por exemplo, se numa estrada de classe ME2 se se depara com uma zona de conflito, como por exemplo uma rotunda, esta nova zona terá de estar iluminada com os parâmetros relativos à classe ME1 [30].

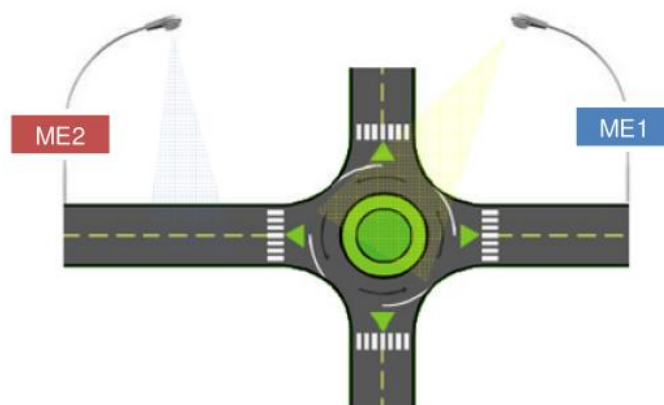


Figura 5.1: Exemplo da mudança de índice da classe de iluminação, numa área de conflito (rotunda), quando o critério usado é a luminância [30].

Pode-se porém, dar o caso do critério mais adequado, para a determinação da classe de iluminação das áreas de conflito, não ser o uso da luminância. Esta situação 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 [30].

5.4 Zonas pedonais e áreas com baixa velocidade de tráfego

Os critérios para uma boa qualidade de iluminação nas zonas pedonais, bem como das áreas residenciais, industriais e comerciais, estão indicados no relatório técnico CIE 136 – 2000.

Uma boa qualidade do projecto 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 (E_h), mas também iluminância semi-cilíndrica (E_{sc}) e a iluminância do plano vertical (E_v)[27].

5.4.1 Classes P

A tabela 5.7 apresenta os tipos de classe da via P.

Tabela 5.7: Tipos de classe da via P [27].

Classes de Via	$E_{h,avg}$ (lux)	$E_{h,min}$ (lux)	Requerimentos adicionais no caso de ser necessário reconhecimento facial		Encandeamento perturbador
			$E_{v,min}$ (lux)	$E_{sc,min}$ (lux)	
P1	15	3,0	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

Para a iluminação pública funcional, os níveis médios calculados não deverão ultrapassar 120% nem serem inferiores a 95% dos níveis de referência da tabela anterior [27].

5.4.1.1 Determinação da classe P

A determinação da classe P é feita de acordo com a tabela 5.8.

Tabela 5.8: Selecção das classes de iluminação P [27].

Selecção das Classes de Iluminação – P		
Parâmetro	Opções	Factor de Peso
Velocidade	Baixa	1
	Muito Baixa (velocidade de caminhada/marcha)	0
Volume de Tráfego	Muito Elevado	1
	Alto	0,5
	Moderado	0
	Baixo	-0,5
	Muito Baixo	-1
Composição do Trânsito	Pedestres, Ciclistas e Tráfego Motorizado	2
	Pedestres e Tráfego Motorizado	1
	Pedestres e Ciclistas	1
	Pedestres	0
	Ciclistas	0
Veículos Estacionados	Presente	0,5
	Não Presente	0
Luminância Ambiente	Alta	1
	Moderada	0
	Baixa	-1
Reconhecimento Facial	Necessário	Requerimentos adicionais
	Não necessário	Não são necessários requerimentos adicionais

Para a determinação da classe P, de acordo com a CIE 115, deve-se proceder do seguinte modo:

- Atribuir, apropriadamente, um factor de peso a cada trâmite especificado (já atribuído na tabela para efeitos de normalização).
- Somar todos esses factores seleccionados, obtendo um valor “Total”.
- Introduzir esse valor na equação: Índice (ME) = 6 – Total, obtendo o índice da classe P.

De notar que poderá ser necessário arredondar o valor de “Total” para o número inteiro mais baixo, ou mesmo limitar o intervalo de valores possíveis entre 0 e 6. Para a determinação das opções para a velocidade deverá ser utilizado como referência o seguinte:

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

Para determinação das opções para o volume de tráfego, optou-se por considerar apenas a utilização da relação com a composição de tráfego. Assim, deverá ser considerado o seguinte:

- 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;

Para determinação das opções para a Luminância Ambiente, deverão ser utilizadas como referência o seguinte:

- 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).

Caberá ao projectista, em situações especiais (por exemplo determinação do volume de tráfego), realizar a avaliação em alinhamento com o PDIP [27].

5.4.2 Classes G

No caso da Classe P, poderão existir situações em que as distâncias de visualização são pequenas, ou existem múltiplos locais para o observador e diferentes orientações das luminárias. Nestas situações, poderão ser utilizadas as classes G3 a G6, que determinam a intensidade luminosa máxima por 100 lm para diferentes ângulos de elevação.

Tabela 5.9: Máxima intensidade luminosa para a classe G [27].

Classes de Via	Máxima intensidade luminosa em cd.Klm ⁻¹			
	A 70° e acima	A 80° e acima	A 90° e acima	Outros requisitos
G3	---	100	20	---
G4	500	100	10	Intensidade luminosa acima dos 95° deverá ser inferior a 1 cd.Klm ⁻¹
G5	350	100	10	
G6	350	100	<1	Intensidade luminosa acima dos 90° deverá ser inferior a 1 cd.Klm ⁻¹

Os ângulos especificados são em qualquer direcção a partir da vertical para baixo, com a luminária instalada para seu funcionamento.

Para a iluminação pública funcional, os níveis médios calculados não deverão ultrapassar em 20% os de referência nas tabelas 5.9 e não serem inferiores a 95% [27].

5.5 Selecção de classes em diferentes períodos nocturnos

Para uma mesma via, a classe de iluminação nem sempre é idêntica para todas as horas da noite.

Em zonas onde os padrões de variação de tráfego são bem conhecidos, serão suficientes os sistemas estáticos baseados em controlo horário para regulação do fluxo. Nos restantes casos será preferível a utilização de sistemas ligados à informação em tempo-real.

No caso de sistemas baseados em informação em tempo-real, o estado normal de fluxo luminoso considerado para esse período nocturno será activado em função da informação adquirida em tempo-real.

Por este motivo caberá aos projectistas, em conjunto com as entidades responsáveis pela IP, determinar as classes para o período nocturno de acordo com o PDIP. Outros parâmetros que deverão ser considerados no PDIP serão a temperatura de cor e o IRC.

Não deverão ser utilizados mais do que três períodos nocturnos (Δt_x).

Recomenda-se que a aplicação destes sistemas não conduza a uma redução que atinja um valor mais baixo da classe ME6.

Se o decisor optar por retirar ou apagar pontos de luz, o DREEIP obviamente não se aplicará [27].

5.6 Poluição luminosa

Para vias próximas de zonas críticas, como aeroportos, hospitais, parques naturais, observatórios, áreas de protecção especial, rede natura, ou outras indicadas no PDIP, o ULOR deverá ser menor que 1%.

Caso o PDIP não especifique outro valor em zonas residenciais e vias fora dos centros urbanos, o ULOR deverá ser inferior a 5% [27].

5.7 Temperatura de cor

No caso da opção pela luz branca, não deverão ser utilizadas fontes cuja temperatura de cor ultrapasse os 4500 K +/- 10% [27].

5.8 Factor de manutenção global (FM)

Como já descrito no capítulo 3, o FM será o produto do $F_{MLL} \times F_{SL} \times F_{ML}$. A tabela 5.10 considera um exemplo de cálculo do factor de manutenção, num tempo decorrido de 3 anos, para três tecnologias de iluminação distintas.

Tabela 5.10: Factor de manutenção global para diversas tecnologias de iluminação [27].

Tipo de luminária e IP	Cálculo
Lâmpada de VSAP com luminária IP 66 (difusor de vidro em poluição baixa)	$F_m = 0,90 \times 0,89 \times 0,88 = \mathbf{0,7}$
LED com luminária IP 66 (difusor de vidro em poluição baixa)	$F_m = 0,95 \times 0,95 \times 0,88 = \mathbf{0,8}$
lodetos Metálicos com luminária IP 66 (difusor de vidro em poluição baixa)	$F_m = 0,73 \times 0,88 \times 0,88 = \mathbf{0,6}$

5.9 Eficiência energética de uma instalação

A eficiência energética de uma instalação de IP define-se como a relação entre o produto da superfície iluminada pela iluminação média em serviço da instalação e a potência total instalada, como é dado pela seguinte equação,

$$\varepsilon = \frac{S(m^2) \times E(lux)}{P(Watt)}, \quad (5.1)$$

onde ε é a eficiência energética da instalação, S a 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 o nível médio de serviço calculado, e P, a potência total das luminárias mais auxiliares intervenientes na área calculada.

A figura 5.2 mostra como se deve proceder para o cálculo da área total.

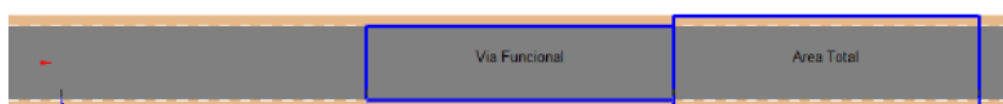


Figura 5.2: Visualização do procedimento para o cálculo da área total [27].

No caso de existir regulação de fluxo luminoso de configuração estática ou dinâmica, que permite promover uma maior eficiência energética recorrendo à diminuição do nível de luminância em períodos de menor tráfego ou actividade, o DREEIP recomenda aos projectistas a apresentação de um estudo de poupança energética em termos de energia.

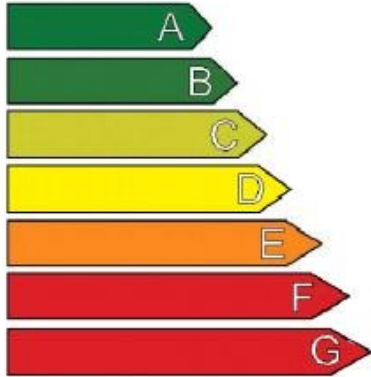
No estudo deverão ser considerados os consumos nos diferentes períodos nocturnos (Δt_x) e um funcionamento total de 12 horas por dia.

No caso de sistemas de gestão do nível de luminância dinâmicos que recorram, por exemplo, a sistemas inteligentes, a determinação da poupança deverá ser realizada com base na programação do sistema recorrendo a patamares máximos e mínimos.

Não são referidas as luminâncias, por ser difícil determinar o tipo de piso e ser mais fácil a medição do nível luminoso para comprovação.

Para o grupo de iluminação decorativa e em zonas históricas, devido ao seu carácter subjetivo, muito orientado por conceitos, como humanização dos espaços, respeito pelos ecossistemas, ambiência, entre outros factores, os valores apresentados pelo documento de referencia são valores recomendados, e para estas zonas não se deve aplicar a classificação energética [27]. O documento de referência apresenta ainda uma tabela de referência que deverá servir de guia para a determinação da eficiência energética na iluminação pública, podendo a mesma ser revista para acompanhar as evoluções tecnológicas e as melhores práticas, como mostra a tabela 5.11.

Tabela 5.11: Classificação energética das instalações de IP [27].

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 (I_E):	
Nível de Iluminação média em serviço E_m (lux):	
Uniformidade (%):	
Temperatura de Cor (K):	
Opção por visão mesópica:	
Programação da RFL:	

A tabela 5.12, apresenta a classificação funcional da eficiência energética da via, dividida em 7 categorias por ordem de eficiência energética de A a G (valor de referência de 4 100 horas de funcionamento anual, podendo no entanto ser diferente desde que devidamente fundamentado).

Tabela 5.12: Classificação funcional da eficiência energética da via [27].

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

A utilização de sistemas de telegestão, ou redutores de fluxo, em nenhuma circunstância poderão colocar em causa os requisitos mínimos inerentes a um sistema de IP para o projecto em questão.

Para um projecto ser o mais eficiente possível, é recomendável a opção por uma luminária com um elevado factor de utilização e alto rendimento, um factor de manutenção da instalação elevado, um ULOR o mais baixo possível, disposição e alturas das luminárias equilibradas com a área de estudo, eficiência das fontes de luz e auxiliares elevada e, por fim, cumprir as orientações do DREEIP [27].

5.10 Conclusão

Neste capítulo foi apresentada uma análise exhaustiva ao DREEIP e seus objectivos para a eficiência energética na IP.

O DREEIP tem como objectivo estabelecer uma série de parâmetros técnicos que deve seguir um projecto de IP, de modo a se obter uma maior eficiência energética destas instalações, garantindo a segurança e conforto óptimo dos seus utilizadores.

Por este motivo, o DREEIP é a base da eficiência energética numa instalação de IP.

As tabelas 5.13 e 5.14, apresentam uma comparação dos níveis de iluminação recomendados entre a legislação em vigor e o recomendado pelo DREEIP.

Os níveis de iluminação da legislação em vigor estão todos na unidade de iluminância, parâmetro definido no DREEIP pelas classes CE e P.

É possível realizar uma conversão entre iluminâncias e luminâncias como foi visto neste capítulo. Foram também comparadas as classes ME.

Tabela 5.13: Legislação em vigor na IP [17].

Legislação em vigor				
Iluminância e uniformidades globais recomendadas	Zonas rurais		Zonas urbanas e sedes de freguesia	Núcleos antigos delimitados
	Rede subterrânea	Rede aérea		
Centro, arruamentos e largos principais	15 lux	10 lux		20 lux
Arruamentos e largos principais			25 lux	
Periferias	10 lux	5 lux	20 lux	
Área envolvente				15 lux
Uniformidade global (min./méd.)	0,35	0,35	0,4	0,35

Tabela 5.14: Conversão da legislação em vigor para classes CE e ME do DREEIP [17][27].

Classe CE				
Iluminância e uniformidades globais recomendadas	Zonas rurais		Zonas urbanas e sedes de freguesia	Núcleos antigos delimitados
	Rede subterrânea	Rede aérea		
Centro, arruamentos e largos principais	CE3	CE4		CE2
Arruamentos e largos principais			25 lux***	
Periferias	CE4	5 lux**	CE2	
Área envolvente				CE3
Uniformidade global (min./méd.)	0,35*	0,35*	0,4	0,35*

* a classe CE obriga a uma uniformidade mínima de 0,4

** o valor mínimo de iluminância para a classe CE é 7,5 lux. Englobada na classe P4 para zonas pedonais ou de baixa velocidade

***Classe CE não apresenta valor de 20 lux. Está entre classe CE2 (20 lux) e CE3 (30 lux)

Classe ME				
Iluminância e uniformidades globais recomendadas	Zonas rurais		Zonas urbanas e sedes de freguesia	Núcleos antigos delimitados
	Rede subterrânea	Rede aérea		
Centro, arruamentos e largos principais	ME3a	ME4a		ME2
Arruamentos e largos principais			25 lux***	
Periferias	ME4a	5 lux*	ME2	
Área envolvente				ME3a
Uniformidade global (min./méd.)	0,35**	0,35**	0,4	0,35**

* como não existe classe CE, não é possível fazer comparação

** a classe ME obriga a uma uniformidade mínima de 0,4 para as classes até ME4

*** como está entre classe CE2 e CE3, fica entre classe ME2 e ME3a

Como se pode constatar, os níveis de iluminação da legislação em vigor estão bastante desatualizados com as normas europeias de iluminação pública.

A divisão em zonas com significados duvidosos, não têm em conta o volume, velocidade e composição do tráfego, entre outros parâmetros pertinentes para providenciar uma melhor classificação da via, de modo a criar no cálculo luminotécnico as condições óptimas de segurança e conforto necessárias.

A legislação em vigor recomenda ainda uma uniformidade global inferior à maioria das classes do DREEIP, podendo ser criados sombreamentos perigosos que reduzem a segurança dos seus

utilizadores.

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 do número de luminárias necessárias [30].

Em suma, o DREEIP deveria estar incluído no âmbito da legislação aplicável à IP.

No próximo capítulo realizar-se-á um estudo exaustivo das medidas para a eficiência energética aplicadas na IP que complementam o DREEIP.

Capítulo 6

Medidas de eficiência energética em redes de IP

6.1 O cadastro de iluminação pública

Para que as entidades gestoras estejam municiadas de informação sobre o estado do seu sistema de iluminação pública, é fundamental a existência de um cadastro da IP.

Com base neste cadastro será possível implementar medidas e práticas que conduzam à sua permanente actualização, caso contrário o cadastro perderá toda a sua potencialidade como ferramenta base de gestão.

Antes de qualquer medida de eficiência energética a aplicar na iluminação pública, a entidade gestora deve conhecer o estado da rede de IP, pois só com um cadastro de iluminação pública de qualidade, integrado e actualizado, será possível tomar medidas de gestão corretas e conducentes a uma efectiva eficiência energética na iluminação pública.

Foi neste sentido que o CPI – Centro Português de Iluminação, lançou o Manual de boas Praticas para Cadastro da IP, como um instrumento de consulta que possa suscitar um debate sobre a necessidade de Portugal ter a sua rede de IP cadastrada com rigor e uma uniformidade mínima de atributos, à semelhança do que já acontece com as redes de água e esgotos, e que ajude a identificar as boas práticas metodológicas que devem estar num projecto de cadastro de IP.

Actualmente, a grande maioria dos municípios e entidades gestoras da rede IP não sabem quantos pontos de luz possuem, pelo que é fundamental, por parte destas entidades, criarem um adequado cadastro da IP.

A implementação de um cadastro da IP deve obedecer, nomeadamente, aos seguintes objectivos:

- Ser uma fonte de informação credível e rigorosa.
- Dar a conhecer a infra-estrutura a todos os níveis de operacionalidade.
- Constituir-se como um suporte de dados e ferramenta de informação para diversas actividades que dependem de um cadastro rigoroso, nomeadamente:

- Planeamento e projecto.
 - Análise e diagnóstico.
 - Monitorização e avaliação de desempenho.
 - Planeamento e ordenamento do território.
- Constituir-se como uma ferramenta para a gestão integrada dos sistemas de IP.

Para atingir tais objectivos, é importante interiorizar que um cadastro de IP tem que ter não só actividades de georreferenciação, como também de inventariação, numeração, identificação de elementos da rede e respectivas características técnicas, incluindo aspectos construtivos e de instalação, estado de conservação, modo de ligação e comportamento luminotécnico e eléctrico [4].

A figura 6.1 mostra um exemplo de um cadastro de iluminação pública utilizando um sistema de informação geográfica (SIG), para o município de Tavira [51].



Figura 6.1: Cadastro da rede de IP pelo município de Tavira [51].

Ter um cadastro de IP actualizado é muito importante para se saber a depreciação luminosa e desempenho de luminárias de novas tecnologias, como LED e MH.

6.2 Auditorias energéticas na rede de iluminação pública

Depois da realização do cadastro de uma instalação de IP, a realização de uma auditoria energética, permitirá, a identificação de medidas que permitam melhorar a eficiência energética das redes de IP dos municípios.

Através de uma auditoria energética, é possível identificar os troços da rede de IP, onde ocorrem as maiores perdas de energia resultante da ineficiência das lâmpadas e luminárias. Deste modo, uma auditoria energética à rede de IP com os dados recolhidos pelo cadastro, servirá como ponto de partida para a actualização de uma instalação.

Uma auditoria energética à rede de IP deverá ser feita periodicamente, para o sistema se manter actualizado face a novas medidas de eficiência energética que possam ser implementadas [4][18].

6.3 Plano director de iluminação pública

A Iluminação Pública constitui uma infra-estrutura primária das cidades, mas sucede com frequência desenvolver-se de uma forma desordenada e heterogénea, respondendo a meras solicitações pontuais ou condicionada por disponibilidades económicas de ocasião, carecendo de uma coerência e estratégia de projecto delineada, tendo em conta a globalidade do território urbanizado, na sua diversidade e articulação.

O Plano Director de Iluminação Pública (PDIP), visa resolver esta criticidade, contribuindo para a melhor racionalização dos custos de investimento e de manutenção da IP, e para uma redução sustentada do respectivo consumo energético.

Por outro lado, a redução daqueles consumos, ao nível das redes existentes, terá obrigatoriamente de passar também por uma reconversão da tecnologia actual das fontes de luz, emergindo a utilização de novas tecnologias eficientes como a solução para um futuro sustentável [52].

O DREEIP, como já discutido no capítulo 5, pode estar integrado num PDIP, representando uma mais valia para os Municípios, dotando-os de um instrumento que aponte para soluções sustentáveis do ponto de vista de eficiência energética na iluminação, independentemente da fonte ou da tecnologia utilizada na rede de IP [27].

6.4 Medidas de economia de energia

Uma medida de economia de energia, consiste na redução de energia de um ponto de luz definida quando, por ordem de um comando, existe a variação do valor da potência de alimentação do mesmo, cujo valor final permitirá redução de energia consumida [30].

Após o cadastro de uma rede de IP, muitas vezes os municípios requerem ao concessionário da rede que desligue alguns focos luminosos, colocando nos postes de IP o autocolante de “foco desligado” [53].



Figura 6.2: Autocolante da EDP de "foco desligado"[54].

Esta opção adoptada pelas entidades gestoras com efeitos imediatos em termos de reduções de custos, consistiu em disseminar o “desligar” de pontos de luz com critérios que negligenciam a necessidade de uniformidade da iluminação, ao provocar cones de sombra perigosos para os utilizadores.

Esta opção não permite aos utilizadores interagirem com a rede de IP.

Uma vila na Alemanha está a testar um projecto-piloto de poupança energética que consiste em desligar toda a iluminação pública nas vias designadas nesse projecto. Contudo, os habitantes podem requerer ligar a IP durante 15 minutos, sempre que quiserem, por meio de mensagem de texto utilizando um telemóvel, interagindo assim com o sistema de IP.

A ideia está a ser bem aceite pelos habitantes locais [55].

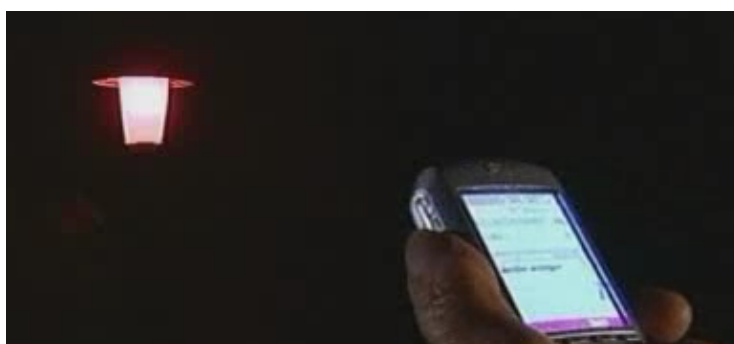


Figura 6.3: Ligação de uma luminária por mensagem de texto na vila alemã [55].

É necessário ter em conta que estas medidas não são medidas de eficiência energética, mas sim de poupança energética.

6.5 Directivas e políticas governamentais de eficiência energética para a IP

No quadro das metas europeias “20–20–20”, que visam alcançar, em 2020, 20% de redução das emissões de gases com efeito de estufa relativamente aos níveis de 1990, 20% de quota de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto e 20% de redução do consumo de energia primária relativamente à projecção do consumo para 2020, mediante um aumento da eficiência energética, foi estabelecido para Portugal, para o horizonte de 2020, um objectivo geral de redução no consumo de energia primária de 25% e um objectivo específico para a Administração Pública de redução de 30%, sector onde se encontram os consumos da IP.

No plano da utilização de energia proveniente de fontes endógenas renováveis, pretende-se que os objectivos definidos de, em 2020, 31% do consumo final bruto de energia e 10% da energia utilizada nos transportes provir de fontes renováveis, sejam cumpridos ao menor custo para a economia. Em simultâneo, pretende-se reduzir a dependência energética do país e garantir a segurança de abastecimento, através da promoção de um mix energético equilibrado.

Com o objectivo de alcançar estas metas foi criado, em 2008, o primeiro Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE) [13].

6.5.1 Estratégia nacional para a energia 2020

A Estratégia Nacional para a Energia 2020 (ENE 2020), aprovada pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010, de 15 de Abril, e que substitui a anterior Resolução do Conselho de Ministros n.º 169/2005, de 24 de Outubro, define as linhas estratégicas para o sector da Energia.

Esta estratégia assenta em cinco eixos e foca-se na competitividade, crescimento e independência energética do país, com a aposta nas energias renováveis e promoção integrada da eficiência energética, garantindo a segurança de abastecimento e a sustentabilidade económica e ambiental, correspondendo a:

- Eixo 1: Agenda para a competitividade, o crescimento e a independência energética e financeira.
- Eixo 2: Aposta nas energias renováveis (reduzir a dependência energética face ao exterior, aumentando a capacidade de produção endógena);
- Eixo 3: Promoção da Eficiência Energética (e reduzir as emissões de CO₂, diminuindo o peso dos combustíveis fósseis nas fontes primárias de energia);
- Eixo 4: Garantia da segurança de abastecimento (de energia, através da diversificação dos recursos primários).
- Eixo 5: Sustentabilidade económica e ambiental.

O eixo referente à Eficiência Energética tem como o objectivo o da redução de 20% do consumo de energia final em 2020, através da aposta em medidas comportamentais e fiscais, assim como em projectos inovadores, concretamente veículos eléctricos e redes inteligentes, produção descentralizada de base renovável e optimização dos modelos de Iluminação Pública e de gestão energética dos edifícios públicos, residenciais e de serviços [57].

Para almejar estes objectivos foi criado o Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE).

6.5.2 Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética 2008

O Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE 2008) para o período de 2008-2015, aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008 de 20 de Maio, estabelece como meta uma redução de 10% no consumo de energia final até 2015, sendo as áreas a intervir nos Transportes, Residencial e Serviços, Indústria e Estado.

Este plano é mais ambicioso e vai de encontro ao definido na Directiva n.º 2006/32/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 5 de Abril para a Eficiência Energética, onde ficou estabelecido

o objectivo geral de reduzir, em 9 anos, o consumo de energia em 9% até 2016 (por comparação com o período de 2001-2005), i.e., reduzir anualmente 1% do consumo médio de energia final.

O PNAEE 2008 identifica o sector Estado como área de intervenção, estando todo este sector agrupada no programa designado por “Eficiência Energética no Estado”. Este programa contém um conjunto de medidas dirigidas aos edifícios e frotas de transporte do Estado, à iluminação pública e à negociação centralizada de energia na administração central e local[7].

O PNAEE 2008 identifica seis medidas para alcançar os objectivos de eficiência energética na Iluminação Pública, indicados na tabela 6.1.

Tabela 6.1: Medida Iluminação Pública Eficiente (PNAE 2008) [7].

Programas e Medidas			Impactos (tep)	
Designação da medida	Código da medida	Descrição	Cenário intermédio	
			2010	2015
Iluminação pública eficiente	E8M8	Instalação de reguladores de fluxo como garante da melhoria de eficiência energética na iluminação pública.	1.764	6.174
	E8M9	Substituição de globos por equipamento com melhor capacidade de reflexão e necessidade de lâmpadas de menor potência	230	805
	E8M10	Cumprimento de requisitos mínimos de eficiência energética para novas instalações	893	3.126
	E8M11	Phase out de lâmpadas de vapor de mercúrio na iluminação pública	814	3.258
	E8M12	Substituição de luminária e balastro electrónico em instalações com mais de 10 anos	2.003	5.340
	E8M13	Sistemas de Controlo de Tráfego. Substituição das fontes luminosas nos sistemas de controlo de tráfego e peões (tecnologia LED).	60	1.507

Com estas medidas pretende-se reduzir em 2% ao ano o consumo da IP, o que corresponde a 30 GWh por ano.

As respectivas metas para 2010 e 2015, estão indicadas na tabela 6.2.

O indicador “Actual” respeita ao ano de 2008.

Tabela 6.2: Metas Medida Iluminação Pública Eficiente (PNAE 2008) [7].

Metas			
Indicadores	Actual	2010	2015
Nº de pontos de iluminação intervencionados		46.429	162.500
Nº de globos substituídos		14.286	50.000
Nº de novas instalações		57.143	200.000
Nº Lâmpadas de mercúrio instaladas	300.000	225.000	0
Nº total de pontos de iluminação		40.385	107.692
Nº de semáforos com leds	100	1.000	25.000

O potencial técnico de intervenção no sector da iluminação pública até 2015 é estimado na tabela 6.3.

Tabela 6.3: Potencial técnico de intervenção no sector da iluminação pública (PNAE 2008) [7].

Acções complementares	Aplicabilidade em % Parque
Utilização de Reguladores de Fluxo Luminoso (RFL);	20 %
Utilização de auxiliares eléctricos de funcionamento das lâmpadas, de tipo electrónico (substituição dos balastros ferromagnéticos);	30 %
Máxima compatibilização entre as lâmpadas e os auxiliares eléctricos do seu funcionamento (balastro e ignitor);	15 %
Reposição dos condensadores de compensação de factor de potência, ao fim de 30.000 horas, (essencial à redução da energia reactiva);	15 %
Utilização, em novas instalações, de condensadores para a tensão nominal de 400 Volts, minimizando a sua deterioração por ocorrência de sobretensões;	20 %
Máxima e exigente adequação fotométrica (tipologia e qualidade das características reflectoras e refractoras dos aparelhos de iluminação);	20 %
Máxima adequação luminotécnica (características geométricas da distribuição dos pontos de luz, consideração dos padrões luminotécnicos);	15 %
Respeito pelas Recomendações aplicáveis relativas aos índices luminotécnicos	100 %
Substituição definitiva das lâmpadas de vapor de mercúrio, ainda instaladas, por lâmpadas de vapor de sódio;	30 %

O PNAEE 2008 explica ainda que a medida de instalação de reguladores de fluxo como garante da melhoria de eficiência energética na iluminação pública em períodos nocturnos de menor actividade, sem risco de perda de qualquer das qualidades funcionais e de segurança dos sistemas de iluminação pública, pretende diminuir o nível de luminância, não limitando a abrangência dos dispositivos luminosos e assegurando a adequada sensação de segurança.

A medida está inserida num programa de substituição de equipamentos, implementada por Programas municipais de eficiência energética na iluminação pública, agrupando blocos de intervenção de 10 municípios, envolvendo no mínimo 2 000 pontos de luz cada, prevendo-se que, até 2015, a medida esteja implementada na globalidade dos municípios em que haja viabilidade técnico-económica.

A utilização de equipamentos de regulação de fluxo na iluminação pública nacional, regional ou municipal permitirá alcançar economias de energia na ordem dos 30% a 40%, através de uma redução da potência absorvida nos períodos de actividade reduzida.

Estima-se que o impacto desta economia resultante da instalação de reguladores de fluxo possa significar uma economia, no ano de 2015, equivalente a 6 174 tep.

Nos Sistemas de Controlo de Tráfego, o PNAE 2008 define a Substituição das fontes luminosas nos sistemas de controlo de tráfego e peões, através da implementação de uma medida de substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas de máxima eficiência baseadas na tecnologia LED. Em 2008, este tipo de lâmpadas representava apenas 1% do total dos semáforos em funcionamento.

Pretende-se implementar esta medida até 2015, em metade dos cerca de 50 mil semáforos existentes no País à data de 2005. Este objectivo permitirá um aumento de dez vezes na longevidade das lâmpadas e uma redução para um quinto do consumo energético actual destes equipamentos, resultante de reduções unitárias de consumo de 55W por lâmpada incandescente para 8W ou 12W por lâmpada LED.

O consumo estimado dos cerca de 50 mil semáforos existente no País é de 3 767 tep, cerca de 3% do consumo total em iluminação pública realizado pelo Estado.

A medida identificada (substituição das lâmpadas de 25 000 semáforos) permitirá obter uma economia energética de 1.507 tep [7].

6.5.3 Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética 2016

Como a situação política e económica do país se alterou nestes últimos 4 anos, houve necessidade de rever o PNAEE de 2008 e projectar novas acções e metas para 2016, continuando a ter em mente as metas europeias para a eficiência energética.

Neste contexto, a revisão do PNAEE para o período 2013-2016 é efetuado com os princípios da primeira directiva para a EE, Directiva n.º 2006/32/CE, mas de acordo com a Directiva n.º 2012/27/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Outubro, relativa à Eficiência Energética, que altera as Directivas n.º 2009/125/CE e 2010/30/UE e revoga as Directivas n.º 2004/8/CE e 2006/32/CE.

No PNAEE para 2016, aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013 de 10 de Abril, para além das áreas a intervencionar identificadas em 2008 (Transportes, Residencial e Serviços, Indústria e Estado) inclui também o sector da Agricultura [56].

O sector do Estado continua a ser contemplado no programa para a "Eficiência Energética no Estado", onde está incluída a IP eficiente.

As medidas para a eficiência energética na IP identificadas neste plano são [56]:

- Intervenção em projectos de IP (continuidade das medidas do PNAEE 2008): instalação de reguladores do fluxo luminoso; substituição de luminárias e balastros ineficientes ou obsoletos; substituição de lâmpadas de vapor de mercúrio; instalação de tecnologias de controlo, gestão e monitorização da IP e a substituição das fontes luminosas nos semáforos por tecnologia LED.

- Publicação de um Regulamento para a IP que irá abranger o projecto, análise custo-benefício, lançamento de concursos, monitorização e controlo deste tipo de sistemas, de forma a garantir ganhos de eficiência energética, redução de custos e um adequado nível de serviço, de forma a melhorar a sustentabilidade económica e ambiental dos municípios.
- Agregar e integrar toda a informação de IP dispersa pelas diferentes entidades públicas ou privadas, numa base de dados única, que deverá no futuro orientar a definição de políticas públicas na área de eficiência energética na IP.

Com as medidas acima descritas, o Estado, em matéria de Iluminação Pública, pensa alcançar em 2016 uma redução do consumo de energia da ordem das 20 209 tep, correspondendo, a esta data, a um resultado acumulado (desde 2008) de poupança de energia de 20%, evidenciado na tabela 6.4 [56].

Tabela 6.4: Impacto da medida «Iluminação Pública Eficiente» no PNAEE 2016 [56].

Medida Ep1m4		Energia final	Energia primária
Resultados	Energia economizada (tep)	3.952	6.203
Metas	Meta a 2016 (tep)	20.209	31.714
	Execução face a 2016	20%	
	Meta a 2020 (tep)	30.301	47.399
	Execução face a 2020		13%

6.5.4 Resultados da implementação das medidas entre 2008 e 2010

Os resultados alcançados no período 2008-2010 com o pacote de medidas do programa "Eficiência Energética no Estado", foi o de uma redução no consumo de energia de cerca de 9 902 tep, o que permitiu atingir (em termos de acumulados) 9% do objectivo previsto (meta 2016 no estado: 106 380 tep), sendo que 3,7% (3 952 tep) desses 9% correspondem a poupanças energéticas obtidas na IP com as medidas de instalação de reguladores de fluxo luminoso e substituição das lâmpadas dos semáforos por LED [56].

A tabela 6.5 mostra os resultados alcançados no período de 2008-2010.

Tabela 6.5: Resultados alcançados com o PNAEE 2008 para o período de 2008-2010 [58].

Plano Nacional Acção Eficiência Energética									
Programas e Medidas		Metas		2009		2010		Total acumulado desde 2008	
Programa	Código da medida	Indicadores	Referência	Impactos (tep)	Indicador	Impactos (tep)	Indicador	Impactos (tep)	Indicador
	E8M8	Nº de pontos de iluminação intervençionados		--	--	118	12.192	118	12.192
	E8M9	Nº de globos substituídos		--	--	229	14193	229	14193
	E8M10	Nº de novas instalações		--	--	--	--	--	--
	E8M11	Nº Lâmpadas de mercúrio instaladas	300.000	1.954	120.000	734	--	2.688	--
	E8M12	Nº total de pontos de iluminação		--	--	102	2.059	102	2.059
	E8M13	Nº de semáforos com leds	100	371	6.185	444	7.405	815	13.590

O programa de “Eficiência Energética no Estado” foi obtido essencialmente através do desempenho positivo das medidas E8M1 – Certificação Energética dos Edifícios do Estado, e das medidas relativas à Iluminação Pública Eficiente, em particular, as medidas E8M8 – Instalação de reguladores de fluxo, E8M11 – Phase-out de lâmpadas de vapor de mercúrio e E8M13 – Sistemas de controlo de tráfego (tecnologia LED nos semáforos) [56].

Tabela 6.6: Poupanças alcançadas com o programa “Eficiência Energética no Estado” [56].

Programa	Código de Medida	Energia poupada (tep)	Meta 2016 (tep)	Execução em relação à meta de 2016
		Final	Final	
Eficiência Energética no Estado	E8M1 - Certificação Energética dos Edifícios do Estado e ECO.AP	4.769	106.380	9%
	E8M2 E E8M3 - Planos de Ação de Eficiência Energética na Administração Pública - ECO.AP	1.016		
	E8M6 - Transportes mais eficientes no Estado	165		
	E8M8 A E8M13 - Iluminação Pública Eficiente	3.952		

6.5.5 Resumo das medidas do PNAEE 2016

As medidas do PNAEE 2016 podem ser resumidas nos seguintes pontos [7][56][57]:

- Eliminação das lâmpadas de vapor de mercúrio da rede de IP, até ao final de 2015 Assim sendo, a opção passa forçosamente pela substituição deste tipo de lâmpadas por outras tecnologias mais eficientes, como LED ou HID.
- Substituição de balastros ferromagnéticos por balastros electrónicos em instalações com mais de 10 anos. Do ponto de vista da eficiência energética, todos os balastros ferromagnéticos deveriam ser substituídos por electrónicos em toda a rede de IP. Não sendo possível esta solução, então a prioridade deverá ser a sua substituição nas instalações com mais de 10 anos. Ao introduzir balastros electrónicos, deve ter-se em mente futuras evoluções e necessidades dos sistemas de IP, como a integração em sistemas de telegestão. Existem muitas

soluções que apresentam balastros electrónicos com capacidade de regulação de fluxo, o que é uma mais valia para a eficiência energética das vias, até porque a instalação de reguladores de fluxo à cabeceira dos PT é incompatível com o uso de balastros electrónicos.

- Substituição de luminárias por outras mais eficientes, em instalações com mais de 10 anos. Devem ser luminárias com baixos parâmetros de ULOR e com índices de protecção elevados (maior que IP65).
- Instalação de reguladores de fluxo. Estes equipamentos devem implementar-se nas luminárias das vias que apresentem flutuações específicas de volume de tráfego. Nas vias de circulação que apresentem intervalos de tempo com volumes de tráfego bem definido, podem ser instalados reguladores do fluxo luminoso com capacidade para regular pelo menos até 3 níveis de intensidade.
- Nos semáforos, substituir as fontes de luz existentes por lâmpadas LED.

As medidas do PNAEE 2016 para a IP devem ser sempre analisadas antes da sua implementação, em termos da sua viabilidade técnico-económica.

Por exemplo, a implementação de balastros electrónicos para luminárias HID juntamente com reguladores de fluxo à cabeceira dos PT é incompatível.

A entidade responsável pela escolha da solução tem de ter um posicionamento racional na escolha da melhor solução possível, tendo sempre em consideração as restrições económicas do momento.

6.6 Actualização ou redimensionamento de uma rede de IP

Um redimensionamento de uma instalação de IP não possui o constrangimento do equipamento existente nem da sua localização, bastando apenas modificar a potência da lâmpada, em uso na luminária e aparelhagem auxiliar se necessário, por exemplo.

Já uma actualização de uma rede de IP requer um desing e características técnicas adequadas para o uso de luminárias mais recentes.

Nem sempre estas actualizações são baseadas em parâmetros luminotécnicos seguindo as mais recentes normas, mas através da experiência ganha de actualizações passadas nas redes de IP, como por exemplo, a substituição de luminárias de HPM de 400 W para luminárias de HPS de 150 W, sem que se faça qualquer cálculo luminotécnico para confirmar os adequados níveis luminosos das vias, pois estas luminárias são consideradas equivalentes.

Em casos como esses, os níveis de luz existentes antes da actualização eram superiores aos adequados, pelo que o excesso de consumo energético se manterá excessivo.

Um exemplo distinto destas situações é representado pela instalação de IP na rua Dimitrija Tucovica em Belgrado, onde as luminárias existentes com um índice de protecção IP54 com lâmpadas HPS convencionais de 400 W, foram actualizadas por novas luminárias com IP66 utilizando lâmpadas de HPS de 250 W, de melhores características técnicas e fotométricas.

O nível de luminância na via antes e depois da actualização era de 4,79 cd/m^2 e 4,42 cd/m^2 respectivamente. Contudo, a via foi identificada com a classe ME2, para a qual a luminância média deve ser de 1,5 cd/m^2 .

O cálculo luminotécnico para a via em questão, mostrou que o uso de lâmpadas de HPS de apenas 100 W poderia ser utilizado, mantendo uma luminância média de 1,52 cd/m^2 , valor praticamente igual ao requerido pela classe de via ME2.

Uma comparação económica para as vias em que se vai realizar uma actualização ou redimensionamento, baseada nos níveis de luminosidade adequados, pode ser realizada antes de se optar por uma dessas opções, tendo em vista não apenas o custo inicial do investimento, mas também o consumo energético e custos de manutenção da exploração [59].

6.7 Utilização de fontes luminosas de última geração

A utilização de fontes de luz de ultima geração pode reduzir os consumos energéticos na IP até 20% [60].

De seguida apresentam-se as últimas inovações nas fontes luminosas mais utilizadas na IP de modo a melhorar a eficiência energética das instalações.

6.7.1 Lâmpadas de HPS de última geração

Se forem utilizadas lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão, deverão ser de superiores características fotométricas e técnicas que as convencionais, com as seguintes vantagens:

- Maior eficiência luminosa até 150 lm/W .
- Maior resistência a vibrações e choques.
- Menor percentagem de falhas numa fase inicial e redução mais lenta da depreciação do fluxo luminosa, resultando numa maior duração superior a 36 000 horas.

Estas lâmpadas, apesar de serem mais caras que as convencionais, são economicamente justificadas pela sua maior duração e eficiência.

Em caso de actualização de uma rede de IP, existe uma redução do consumo até 16% e um investimento inicial até 17% mais barato quando aplicado este tipo de lâmpadas comparando com as convencionais (de eficiência que ronda os 90 lm/W), devido ao maior distanciamento entre postes em consequência da melhoria das condições de fotometria das lâmpadas e luminárias [59][41].

Recentemente, a empresa Philips criou uma lâmpada inovadora que combina o elevado índice de restituição de cor e temperatura de cor branco neutro das lâmpadas de iodetos metálicos, com a possibilidade de funcionar com a aparelhagem auxiliar necessária para acender uma lâmpada de HPS. Essa lâmpada tem o nome de MasterColor® Ceramic Metal Halide HPS-Retro White, e é na verdade uma lâmpada de iodetos metálicos optimizada para funcionar nas luminárias já existentes para HPS, simplificando a sua substituição quer a nível económico quer a nível de manutenção, bastando apenas trocar as lâmpadas sem necessidade de se alterar a aparelhagem auxiliar [61].

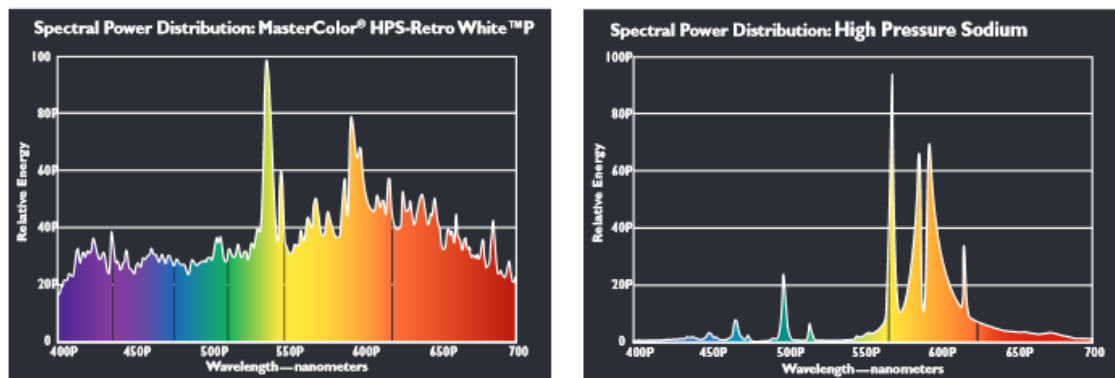


Figura 6.4: Diferença do espectro da lâmpada MasterColor HPS-Retro White (esquerda), com uma de HPS convencional [61].

Com uma duração média de vida de 20 000 horas, um CRI de 85 e uma tonalidade de cor de 4000 K, estas novas lâmpadas tornam-se apelativas para aumentar a qualidade visual da iluminação nocturna das vias públicas.

Com uma modesta eficiência luminosa de 85 lm/W, e disponível apenas para potências de 250 W e 400 W, ainda não é uma boa alternativa à substituição das lâmpadas convencionais de HPS do ponto de vista da eficiência energética [61].



Figura 6.5: Lâmpada MasterColor® Ceramic Metal Halide HPS-Retro White [61].

6.7.2 Lâmpadas de Iodetos metálicos melhoradas

No passado, uma das maiores justificações para se utilizar a luz amarela das lâmpadas de HPS, era pela sua eficiência luminosa.

Os últimos desenvolvimentos da tecnologia de iluminação para o uso de luz branca na IP, tornaram estas fontes mais eficientes que as convencionais de HPS.

Estas novas lâmpadas de iodetos metálicos de ultima geração, são caracterizadas por [62][63]:

- Elevada eficiência luminosa até 130 lm/W.

- Capacidade de regulação do fluxo luminoso.
- Elevado IRC até 90.
- Tempo de vida médio superior a 30 000 horas.
- Gamas de temperaturas de cor dos 3000 K aos 4000 K.

A utilização obrigatória de luminárias e aparelhagem especial bem como o seu elevado preço durante a fase inicial de investimento, levam a que esta solução tenha um *payback* elevado.

A figura 6.6, mostra a substituição de lâmpadas convencionais de HPS, para lâmpadas de iodetos metálicos de nova geração MASTER CosmoWhite da marca Philips.

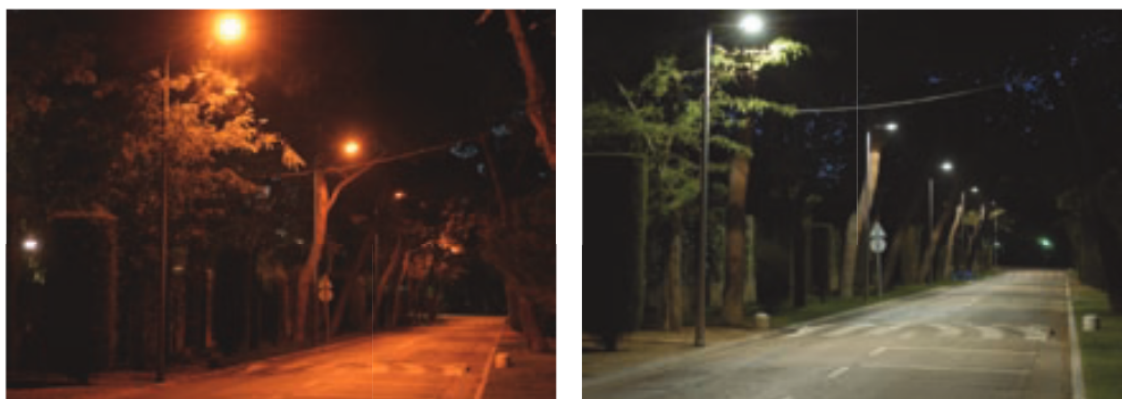


Figura 6.6: Esquerda: Lâmpadas convencionais HPS. Direita: Lâmpadas de iodetos metálicos [62].

A melhoria substancial da qualidade da nova luz para a iluminação das vias públicas é bem evidenciada, tornando as cores mais naturais e possibilitando obter um maior contraste de modo a melhorar a capacidade de acuidade visual do olho humano [62][63].

6.7.3 Tecnologia LED

O problema principal das lâmpadas de HID usadas na IP até agora, é o seu longo intervalo de ignição: é preciso esperar alguns minutos até que as lâmpadas alcancem a sua intensidade máxima, e uma vez desligadas, é preciso fazer uma pausa de vários minutos até que possam ser ligadas novamente.

Esta desvantagem já não constitui um problema utilizando a nova tecnologia LED, visto que numerosos acendimentos e apagamentos constantes, não alteram consideravelmente o seu tempo de vida médio, atingindo sempre o seu fluxo luminoso máximo instantaneamente, podendo-se regular a sua intensidade dos 0%, até aos 100% sem alterações da sua temperatura de cor. Todos estes benefícios desta tecnologia juntamente com as vantagens já enunciadas no capítulo 4, são absolutamente necessárias para os requerimentos de um sistema flexível e dinâmico de uma rede de telegestão inteligente [64].



Figura 6.7: Substituição de lâmpadas convencionais de HPS por luminárias LED [43].

A figura 6.8 apresenta a distribuição dos custos para uma instalação convencional utilizando luminárias de HID.

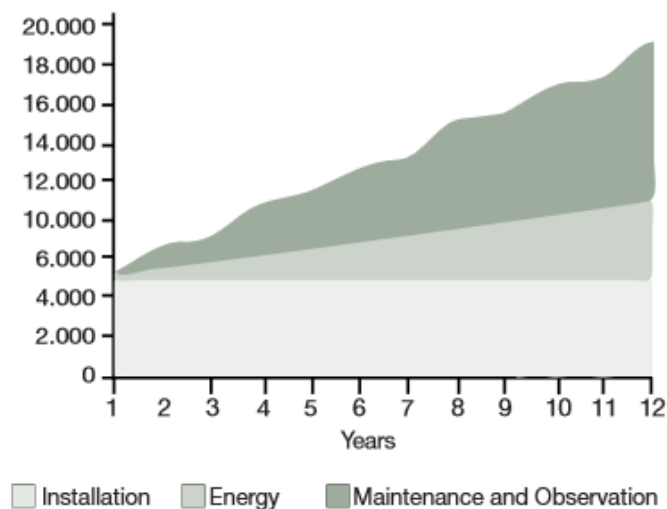


Figura 6.8: Distribuição dos custos de uma instalação convencional de HID durante a sua vida útil [65].

É possível observar que no fim da sua vida útil para uma instalação utilizando luminárias de HID, os custos com a manutenção representam cerca de 50%.

Para uma instalação a LED, o diagrama da distribuição de custos é bem diferente de uma instalação utilizando HID, como indica a figura 6.9.

O custo inicial de instalação é superior à instalação convencional, mas os custos com manutenção e energia são mais reduzidos devido à poupança que esta tecnologia reflecte.

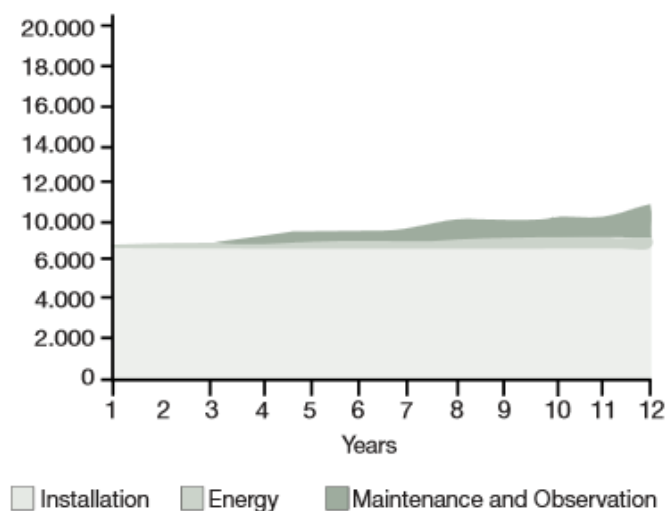


Figura 6.9: Distribuição dos custos de uma instalação de IP utilizando tecnologia LED durante a sua vida útil [65].

6.8 Uso de luminárias eficientes

A eficiência de uma luminária depende da razão entre o fluxo luminoso produzida por ela e o fluxo luminoso produzido pela sua lâmpada, bem como da sua distribuição de luz.

Por exemplo, luminárias com as mais eficientes lâmpadas do mercado de LPS, são geralmente menos eficientes do que usando HPS devido à forma e dimensão destas lâmpadas, que causam que uma porção considerável de luz emitida não seja devidamente utilizada pela luminária. Uma luminária com lâmpada de HPS possui também uma melhor distribuição de luz.

As luminárias devem ter mecanismos de abertura facilitada para reduzir o tempo de manutenção para substituir lâmpadas ou aparelhagem auxiliar, reduzindo o custo de manutenção. Como já explicada no capítulo 3, luminárias com um grau de protecção de pelo menos IP65, devido à sua influência positiva para o factor de manutenção global, contribuem para um menor consumo de electricidade, pois necessitam de utilizar lâmpadas de menor potência.

Em adição, os custos com manutenção são reduzidos devido aos seus difusores serem de melhor construção, permitindo a manutenção do fluxo luminoso por mais tempo.

O grupo Schreder lançou recentemente no mercado luminárias com auto-limpeza do seu difusor, contribuindo positivamente mais uma vez para seu factor de manutenção, aproximando-se da unidade. Este facto é uma garantia de economia energética uma vez que não é necessário aumentar a potência inicial instalada para compensar a depreciação luminosa da luminária ao longo do tempo.

As figuras 6.10 e 6.11 mostram luminárias eficientes com índice de protecção IP 66 e vidro auto-limpável, com difusores e reflectores topo de gama. A primeira é para lâmpadas de HID e a segunda para tecnologia LED. Estão equipadas com um difusor em vidro tratado auto-limpável, que mantém a superfície hidrófila. As gotas de chuva distribuem-se no vidro sob a forma de uma

película de água. Isso elimina os resíduos decompostos pelos raios UV da luz do dia. O vidro auto-limpável associado ao Sealsafe® IP 66 permite atingir um factor de manutenção próximo de 1.



Figura 6.10: Luminária de última geração FURYO para lâmpadas de HID [29].



Figura 6.11: Luminária de última geração SENSO para tecnologia LED [29].

A utilização destas medidas na escolha de luminárias eficientes pode diminuir o consumo de electricidade até 15% [29][59][60].

6.9 Uso de luminárias de elevado factor de potência

O aumento permanente dos custos da tarifa de energia eléctrica justificam a redução da potência reactiva consumida na IP, que é seguido de uma redução das perdas em todo o sistema de energia.

Para isso, é fundamental empregar balastros electrónicos nas luminárias de HID. Estes balastros não só tornam o factor de potência próximo da unidade, bem como reduzem o consumo da potência activa total das luminárias, aumentando assim a sua eficiência global (lâmpada mais balastro).

A baixa procura no mercado por estes produtos ainda os mantém com preços pouco atractivos [59].

Os principais pontos negativos do uso de balastros electrónicos em lâmpadas de HID são:

- Preço elevado.
- Dependem da temperatura de funcionamento da luminária.
- Equipamento electrónico que pode causar perturbações na rede.
- Incerteza na fiabilidade/durabilidade quando expostos à intempérie.
- Não podem ser utilizados com reguladores de fluxo à cabeceira dos PT.

A utilização destas medidas na escolha de luminárias de elevado factor de potência através de balastros electrónicos pode diminuir o consumo de electricidade até 15% [41][60].

No caso das luminárias LED, os drivers de potência para conversão da corrente alternada da rede para a corrente contínua necessária para o funcionamento, são feitos através de electrónica de potência, pelo que o seu factor de potência é próximo da unidade.

6.10 Eficiência luminosa de uma luminária

Usualmente, a eficiência luminosa de uma lâmpada é a base para se realizar uma avaliação de performance de um sistema luminoso.

Olhando apenas para a eficiência luminosa de uma lâmpada, em alguns casos, pode levar a uma conclusão ilusória.

A eficiência luminosa de uma luminária é função da eficiência luminosa da lâmpada e das perdas da aparelhagem auxiliar.

A eficiência luminosa de uma luminária providencia um método mais apropriado para avaliar as características energéticas de um sistema luminoso [66].

Uma lâmpada de HPS de maior eficiência luminosa que um LED, pode ter uma eficiência luminosa menor se for tido em conta o sistema todo, como mostra o exemplo da tabela 6.7.

Tabela 6.7: Exemplo de eficiência luminosa por lâmpada e luminária para HPS e LED [66].

	HPS	LED comercial	LED em testes
Eficiência luminosa	110 lm/W	100 lm/W	150 lm/W
Eficiência térmica	100%	90%	90%
Eficiência eléctrica	85%	90%	90%
Eficiência da luminária	75%	90%	90%
Eficiência luminosa da luminária	70,1 lm/W	72,8 lm/W	109,4 lm/W

6.11 Integração de energias renováveis na IP

No caso de um sistema automático de IP, a melhor solução é a escolha da energia solar, devido à sua longa vida, instalação fácil e modularidade, não estando afectada à inconsistência da energia eólica, sempre de difícil previsão e de maior manutenção.

A figura 6.12 mostra um diagrama de blocos geralmente utilizado para um sistema automático de IP, funcionando a energia solar.

Este sistema é composto por um painel fotovoltaico (PV) ligado a uma bateria para armazenamento de energia durante o dia, através de um conversor CC/CC para regular a carga da bateria de modo a não exceder a sua tensão de funcionamento. Este conversor é controlado por um algoritmo MPPT, de modo a obter-se sempre a máxima potência possível através do painel PV.

Durante a noite, a bateria proporciona à luminária LED, a corrente necessária para o seu funcionamento, através do seu driver de corrente contínua, providenciando o correcto valor de corrente, e realizando a regulação de fluxo, quando necessário.

Todo este sistema funciona em corrente contínua, evitando perdas de energias adicionais em inversores de potência.

É por isso que a utilização de LED para aumentar a eficiência destes sistemas é obrigatória, já que utilizando uma luminária com HID, era necessário realizar uma conversão CC/CA para a lâmpada poder funcionar, o que iria resultar em maiores perdas no sistema [67].

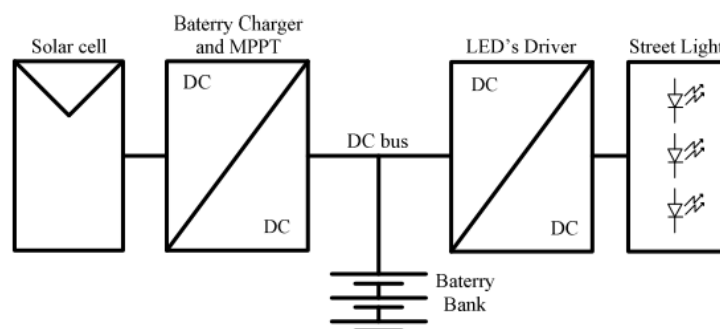


Figura 6.12: Sistema típico de IP automático utilizando energia solar [67].

A consideração da visão mesópica no cálculo luminotécnico da luminária, melhora ainda mais a eficiência do sistema todo, permitindo reduzir o seu custo, como se verá adiante neste capítulo.



Figura 6.13: Luminária LED alimentada a energia solar em Marrocos [68].

A luminária apresentada na figura 6.13, foi criada por uma empresa marroquina que afirma que cada luminária de 33 W a LED, é capaz de produzir 3 000 lúmens com uma eficiência perto dos 90 lm/W com um período de vida de 50 000 horas, e que a energia armazenada num dia, daria para alimentar a luminária para duas noites, com apenas uma descarga da bateria de 50% [68].

A figura 6.14, mostra uma auto-estrada no Chile iluminada exclusivamente por luminárias LED alimentadas autonomamente por energia solar.



Figura 6.14: Auto-estrada iluminada por um sistema autónomo a energia solar na Cidade de Calama no Chile [69].

As vantagens deste tipo de sistemas podem ser resumidas nos seguintes pontos [67][69-70]:

- A IP a energia solar é independente da rede eléctrica, pelo que os seus custos de operação são reduzidos.

- O sistema apresenta elevada eficiência, visto que todas as etapas de conversão de potência são em CC. Este tipo de conversão permite um controlo e implementação mais facilitados.
- Requerem uma manutenção muito menor do que sistemas convencionais de IP, por utilizarem tecnologia LED.
- Como as ligações eléctricas exteriores são eliminadas, os riscos de acidentes são minimizados.
- É um sistema não poluente de energia.
- Podem ser transportados para áreas remotas muito facilmente devido à pequena dimensão dos sistemas para energia solar.
- Uma boa solução para vias remotas onde a criação de uma rede eléctrica nesses locais teriam um elevado custo, tornando-se economicamente viáveis.

Este tipo de sistemas também apresenta, porém, ainda algumas desvantagens [67][69-70]:

- Investimento inicial é maior comparado com a IP convencional.
- Risco de roubo acrescido pois os equipamentos são comparativamente mais caros.
- Neve ou poeiras, combinadas com humidade podem-se acumular no PV e reduzir ou mesmo parar a produção de energia solar.
- As baterias terão que ser substituídas várias vezes durante o tempo de vida do sistema, aumentando os custos de manutenção, que por vezes, chegam a ser quase 50% do custo total.
- Pode não ser concebível em países com más condições atmosféricas ou com poucas horas de sol.
- Estado de maturidade dos painéis fotovoltaicos.

6.12 Considerações de visão mesópica em projectos de IP

Hoje em dia, a iluminação de exterior não tem que depender exclusivamente da utilização de luz amarela de pobre qualidade de cor.

Existe uma alternativa que é muito mais bem-sucedida que combina as qualidades da luz do dia, com a eficiência energética associada às lâmpadas de HPS. Esta alternativa é uma luz branca de alta qualidade utilizando um espectro electromagnético alargado, garantindo um elevado IRC.

Com a luz branca consegue obter-se um ambiente mais luminoso e natural, sendo que a grande maioria das pessoas a prefere e considera mais agradável. Para além deste aspecto, a iluminação com este tipo de luz apresenta outros benefícios, como sejam maior segurança, a sensação reforçada de protecção entre peões e o baixo consumo de energia, sendo que a sua introdução e

utilização no sistema IP seja uma escolha a ter em atenção para tornar as ruas mais seguras, sociáveis e agradáveis [62].

A eficiência luminosa está relacionada com o tipo de visão considerada, e como já foi referido no capítulo 3, os níveis de iluminação da IP situam-se na visão mesópica.

Nas práticas correntes fotométricas, a resposta do sistema visual é o sistema fotópico da CIE, que foi estabelecido em 1924.

No relatório técnico CIE 191 referente ao ano de 2010, que tem como objectivo definir e recomendar um sistema de fotometria mesópica de fácil implementação na prática, já são apresentados valores da intensidade luminosa na visão mesópica, nomeadamente onde a visão periférica prevalecer.

Este sistema de fotometria considera a diferença entre a visão mesópica e fotópica para um intervalo de luminância entre $0,05 \text{ cd/m}^2$ e $0,005 \text{ cd/m}^2$ e tem em consideração as diferentes fontes de luz através dos seus rácios entre a luminância escotópica e fotópica (S/P). No entanto, a utilização do rácio S/P permanece ainda algo subjectiva, carecendo de normalização. Os fabricantes estão, contudo, a indicar nos detalhes técnicos dos seus produtos, o rácio S/P, para o projectista o poder utilizar para determinar a luminância mesópica da lâmpada.

Existindo ainda algumas indefinições sobre as classes onde poderá ser aplicada a visão mesópica, recomenda-se a utilização de luz branca em zonas pedonais (classe P), pelas comprovadas mais-valias que introduz ao espaço e maior sensibilidade à luz (brilho) na visão periférica [3].

Os resultados obtidos num estudo feito pelo consórcio MOVE (*Mesopic Optimisation of Visual Efficiency*) de fotometria mesópica estão integrados no relatório CIE TC1-58, com o objectivo de formar a base para uma nova norma relativa à performance da visão mesópica. O modelo MOVE apresenta uma forma de cálculo da real eficiência luminotécnica num ambiente mesópico, sendo que disponibiliza um Excel para o seu cálculo [71].

Por exemplo, considerando-se uma lâmpada de HPS de 2000 K com um S/P igual a 0,61 e uma lâmpada de iodetos metálicos de 4200 K (espectro electromagnético mais alargado e com forte componente na região do azul) com um S/P de 1,66, após medição da sua luminância fotópica com um luminancímetro, obtém-se:

- $L_p \text{ (HPS)} = 0,80 \text{ cd/m}^2$
- $L_p \text{ (MH)} = 0,50 \text{ cd/m}^2$

Calculando o valor da luminância escotópica através do rácio S/P:

- $L_s \text{ (HPS)} = 0,488 \text{ cd/m}^2$
- $L_s \text{ (MH)} = 0,83 \text{ cd/m}^2$

Introduzindo estes valores para cada tipo de lâmpada, na zona do “Input” na folha de cálculo do MOVE, obtém-se os valores da luminância mesópica correspondente, ou seja:

- $L_{\text{mesopica}} \text{ (HPS)} = 0,76 \text{ cd/m}^2$

- $L_{mesopica} (MH) = 0,58 \text{ cd/m}^2$

Chega-se, assim, à conclusão de que para a lâmpada de vapor de sódio, houve uma redução de cerca de 8% nos seus valores de luminância mesópica, enquanto a de iodetos metálicos, com um S/P superior, aumentou o seu valor em cerca de 16%.

Considerando a visão mesópica na IP, é, assim, possível utilizar lâmpadas de menor potência, aumentando a eficiência energética da instalação.

No capítulo 7, este modelo será utilizado para determinar as luminâncias mesópicas dos diferentes casos de estudo, e serão comparadas com as luminâncias fotópicas obtidas durante o cálculo luminotécnico.

A tabela 6.8 mostra outro exemplo aplicado à norma EN 13201, da consideração da visão mesópica para lâmpadas de HPS e lâmpadas de MH de igual fluxo luminoso, para quatro classes de via ME.

Tabela 6.8: Diferença entre luminâncias mesópicas para lâmpadas HPS e MH de igual fluxo luminoso [59].

Classe da via	ME3	ME4	ME5	ME6
Lm HPS	1,00	0,75	0,50	0,3
Lm MH	0,74	0,52	0,32	0,18

Os resultados são claros, e indicam que é possível reduzir a luminosidade das lâmpadas de MH até 26%, se foram usados valores de luminância mesópica.

A tabela 6.9, apresenta valores típicos do rácio S/P para diferentes tipos de tecnologias de iluminação, que podem ser utilizados para o cálculo da luminância mesópica caso o fabricante não o disponha.

Tabela 6.9: Valores típicos do rácio S/P para diferentes tipos de tecnologias de iluminação [72].

Fonte luminosa	Rácio S/P
Incandescente	1,36
CFL 3500 K	1,36
CFL 5000 K	1,97
HPM	1,28
MH Branco quente	1,2
MH Branco neutro	2,4
HPS	0,65
LPS	0,25
LED 3500 K	1,39
LED 6000 K	2,18

De acordo com a tabela 6.9, os rácios S/P são maiores quanto maior for a temperatura de cor, e quanto maior for o IRC da lâmpada (espectro mais alargado), obtendo-se uma maior luminância mesópica, melhorando consideravelmente os níveis de iluminação.

Por exemplo, uma lâmpada incandescente, apesar de ter uma temperatura de cor inferior a 3000 K, possui um IRC de 100, o que faz com que o seu rácio S/P seja superior a 1, ao contrário de uma lâmpada de HPS, pois a sua temperatura de cor é inferior a 3000 K e o seu IRC entre 20 a 40.

As poupanças associadas à visão mesópica são consideráveis.

Esta vantagem já é reconhecida pelas normas britânicas de IP. No Reino Unido, os níveis de iluminação requeridos por lei em estradas secundárias e caminhos pedonais podem ser reduzidos até 30%, quando a fonte de luz tiver um IRC superior a 60 [62].

Por tudo isto, embora seja expectável o lançamento de normas pela CIE para uniformizar e agilizar a aplicabilidade destes estudos, existem países que já consideram a visão mesópica nos seus requisitos de projecto, considerando por exemplo, a redução de um índice nas classes de iluminação definidas na norma EN 13201 para fontes de luz com S/P idênticos aos dos LED, pelo que deverá ser utilizada a visão mesópica para os níveis dos parâmetros luminotécnicos definidos na norma EN 13201 [3].

6.13 Sistemas de controlo e de gestão de energia na IP

A grande maioria dos sistemas de IP é inflexível no seu funcionamento, ou seja, ou estão ligados ou desligados.

A solução de manter a iluminação pública ligada toda a noite provoca um grande desperdício de energia devido à não adaptação às reais necessidades dos utentes, pois os níveis de iluminância ou de luminância necessários nas horas de ponta já não se justificam nas horas de vazio. Por outro lado, a diminuição da duração de vida das lâmpadas e da aparelhagem auxiliar daí resultante provoca custos de manutenção mais elevados.

Muitos Municípios, para reduzir os custos com a IP, desligam a iluminação em determinados períodos da noite, fazendo com que esta prática não favoreça a segurança dos utilizadores das vias, sejam eles pessoas ou veículos.

Os sistemas de controlo para IP 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 ou actividade.

Uma boa regulação do sistema de comando da iluminação deve estar perfeitamente ajustado às condições das diversas estações do ano. Com efeito, um acendimento 15 minutos mais cedo e um desligar 15 minutos mais tarde provoca um desperdício de cerca de 5% em energia eléctrica, supondo uma duração anual de funcionamento de cerca de 4000 h anuais, levando também a uma diminuição da duração de vida das lâmpadas [3][73].

6.13.1 Interruptores crepusculares

Nos sistemas de IP é muito importante saber em que altura o nível de iluminação está suficientemente escuro para ligar os pontos luminosos. Este controlo não pode ser efectuado de forma eficaz utilizando temporizadores, uma vez que em dias de chuva ou nevoeiro intenso pode ser necessário activar o sistema de iluminação mais cedo, por razões de segurança. Além disso o horário do próprio nascer e pôr-do-sol não é constante, alterando-se todos os dias. Pelas razões apontadas, a solução que reúne maior consenso é aquela que utiliza sensores de luz ambiente, e também conhecidos como interruptores crepusculares.

A célula fotoelétrica existente no interruptor crepuscular irá reagir à mudança de luminosidade, ligando ou desligando a iluminação conforme o nível de luminosidade estipulado, permitindo, desta forma, gerir racionalmente o funcionamento dos circuitos de IP. A colocação da fotocélula poderá ser à cabeceira do PT, enviando o sinal a um conjunto de luminárias, ou então poderá ser parte integrante de cada ponto de iluminação individual.

A utilização de fotocélula independentes em cada luminária poderá trazer inconvenientes, fazendo com que o ligar e desligar dos circuitos não se efectue em sincronismo.

Existe, ainda, a solução de utilizar um sistema misto: utilização de sistemas à cabeceira dos PT 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 [3].

Actualmente a EDP Distribuição está a realizar o phase-out dos interruptores crepusculares instalados na sua área de concessão, estando a ser substituídos por relógios astronómicos para uma maior fiabilidade e sincronismo das instalações para colmatar os defeitos das fotocélulas [74][75].

6.13.2 Relógios astronómicos

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, representado pela figura 6.15.



Figura 6.15: Variação das estações no hemisfério norte durante o ano [3].

Estes equipamentos são temporizadores electrónico-digitais utilizados para o controlo automático de ligações e cortes de IP em função do pôr e do nascer-do-sol, respectivamente.



Figura 6.16: Exemplos de relógios astronómicos [3].

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 da hora para acender ou apagar os pontos luminosos, a IP ligava e desligava sempre à mesma hora programada. O que acontece com o relógio astronómico é que a acção *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, permitindo obter boas economias, reduzindo os custos com manutenção e aumentando o período de vida das lâmpadas nos casos em que a IP se liga antes do tempo.

A tabela 6.10, mostra como os horários de funcionamento para cada estação do ano do número de horas que os pontos luminosos têm que estar ligados são diferentes, pelo que a constante actualização, por via a relógios astronómicos programáveis, é fundamental para a eficiências energética e segurança da IP [3].

Tabela 6.10: Período de funcionamento das necessidades de uma rede de IP no hemisfério norte [3].

Área	Período Sazonal	Horário de Funcionamento (horas)															
		17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	
Hemisfério Norte	Primavera																
	Verão																
	Outono																
	Inverno																

O relógio astronómico tem as seguintes características de funcionamento:

- Cálculo diário, para as acções de ligar e 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 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].

O período de retorno de investimento é de apenas 180 dias, em média, o que permite aos Municípios implementarem o seu uso a larga escala [74].

No final de 2012, em Portugal, haviam sido empregados 30 586 relógios astronómicos que controlavam 177 544 redes de IP, o que representa 49% de todas as redes de IP [75].

6.13.3 Reguladores de fluxo

Os sistemas de regulação de fluxo luminoso permitem a regulação da intensidade luminosa em períodos de menor actividade. Em períodos nocturnos, 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, quer por via de balastros electrónicos reguláveis para HID, quer por drivers com regulação de fluxo para luminárias LED, ou então, de maneira centralizada, num dispositivo à cabeceira de um PT, iniciando o seu ciclo de ignição após um sinal transmitido por um sensor de luminosidade, ou por

um relógio astronómico, aumentando gradualmente a tensão até atingir o valor pré-estabelecido de funcionamento para toda uma rede de IP.

Quando esse nível de tensão não é mais necessário, o regulador baixa a tensão de alimentação das lâmpadas, como mostra a figura 6.17. As transições entre as várias condições de operação devem ser lentas, para que a alteração do nível de iluminação se torne imperceptível ao utilizador [3].



Figura 6.17: Exemplo de funcionamento de um Regulador de Fluxo Luminoso ao longo do período nocturno [3].

6.13.3.1 Reguladores de fluxo à cabeceira dos PT

Um regulador de fluxo à cabeceira dos PT, significa que esse regulador controla o fluxo luminoso de todas as luminárias de uma rede de IP aí situada, simultaneamente, havendo uma regulação centralizada.



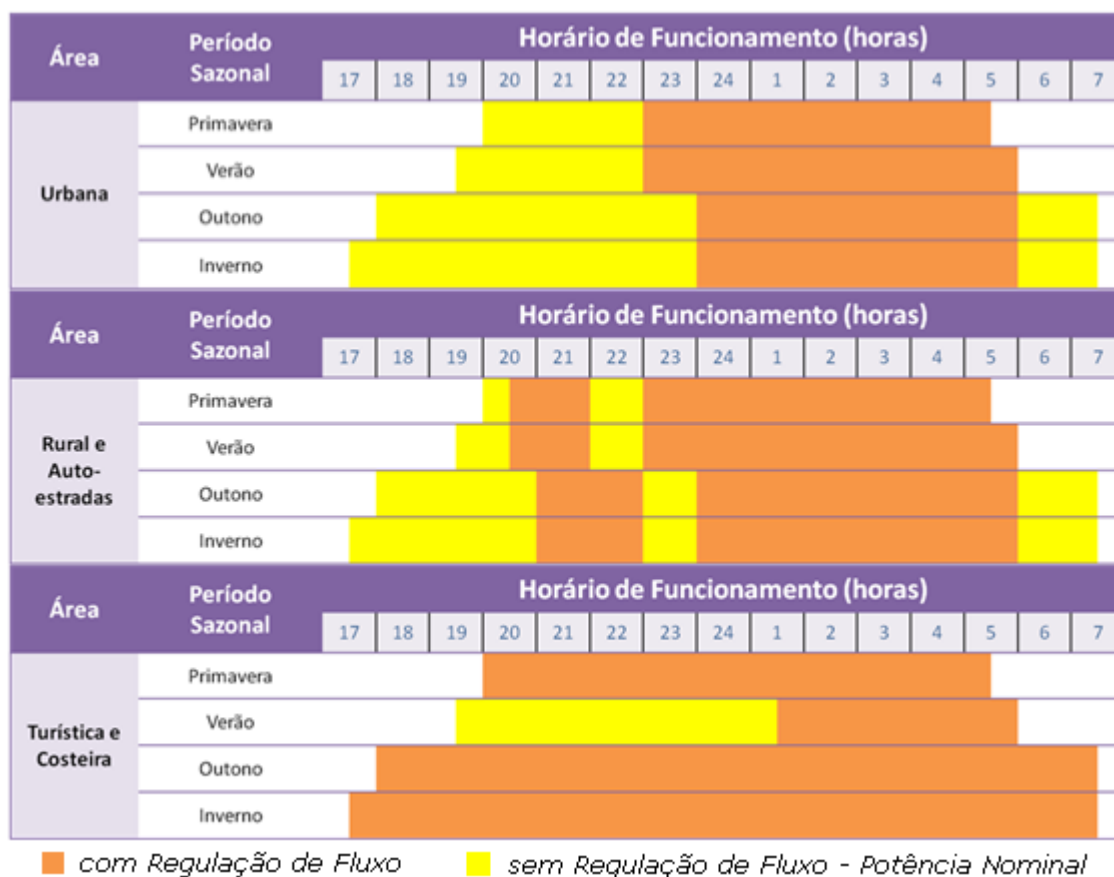
Figura 6.18: Reguladores de fluxo de várias potências a instalar à cabeceira dos PT [76].

O esquema da figura 6.17, aplica às lâmpadas uma tensão inferior (verde) à nominal de funcionamento (vermelho), pelo que a corrente é reduzida, originando assim a diminuição da potência absorvida pela rede de IP.

De maneira a funcionar correctamente 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, reduz os custos de manutenção, assegurando economias directas no consumo de 5% a 7%, ao fazer a regulação da tensão que excede o seu valor nominal.

A programação da regulação do fluxo ilustrada na figura 6.11, deverá ser feita consoante a época do ano e a área onde o sistema de iluminação está instalado [3].

Tabela 6.11: Exemplo do horário de funcionamento com e sem regulação de fluxo, para diferentes áreas, ao longo do ano [3].



Praticamente todas as lâmpadas de HID utilizadas em iluminação pública podem ser reguladas, sem que isso interfira com as suas propriedades e características, e não sendo necessário a substituição da luminária ou aparelhagem auxiliar. No entanto, consoante o tipo de lâmpada, cuja tensão de alimentação é regulada, a poupança alcançada irá ser diferente.

Na tabela 6.12 estão referenciadas as poupanças típicas atingidas, associadas a cada tipo de lâmpada.

Tabela 6.12: Poupança energética com regulação de fluxo para cada tipo de lâmpada [3].

Tipo de lâmpada	Tensão mínima	Poupança energética
HPM	200 V	26% - 30%
HPS	183 V	45% - 50%
LPS	190 V	35%
CFL	190 V	30% - 45%
MH	183 V	40%

Os 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. Adicionalmente, consegue-se com a regulação de fluxo, uma diminuição considerável da poluição luminosa.

É, contudo, preciso ter em consideração que a maioria dos sistemas de regulação de fluxo à cabeceira dos PT trabalham 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 horas de serviço, o resultado em cada lâmpada dessa regulação pode ser diferente, podendo haver grande discrepância ao nível da temperatura de cor de cada ponto de luz. Adicionalmente, para PT que controlem menos do que 50 luminárias, a utilização de reguladores de fluxo torna-se economicamente pouco atractiva.

Outra questão importante é a extensão da rede de IP. Na Tabela 6.12 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.

Os reguladores de fluxo são aparelhos electrónicos cujas comutações para a variação de tensão são efectuadas através de equipamento electromecânicos e de electrónica 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 activos no circuito.

Uma das suas maiores desvantagens é que o seu uso não é recomendado em circuitos de IP com balastros electrónicos, pois não se garante o seu funcionamento, tendo para isso que se utilizar balastros ferromagnéticos de maiores perdas, não se eliminando as perdas da aparelhagem auxiliar da luminária [3][60][73-74].

6.13.4 Sistemas de telegestão

Os sistemas de telegestão são ferramentas usadas para gerir, controlar e monitorizar redes de IP em tempo real. Estes sistemas de telecomunicações permitem gerir remota e individualmente as luminárias individuais fazendo pleno uso dos seus parâmetros operacionais.

Oferecem novas maneiras de lidar com o uso eficiente da energia para IP, pois a quantidade de luz necessária para iluminar uma área exterior, pode variar consideravelmente consoante o nível de actividade de peões e veículos, e é influenciada por uma variedade de factores tais como a hora do dia, dia da semana, condições atmosféricas, estação do ano, e eventos locais.

Na verdade, quando combinada com outros componentes específicos, esta tecnologia facilita uma precisa e selectiva variação de intensidade luminosa de cada luminária, controlando a quantidade de energia utilizada.

Com sistemas de telegestão, as cidades podem reduzir a sua factura energética até 85%, gerir a despesa com maior eficiência, melhorar a gestão da manutenção e melhorar a segurança e o bem-estar dos seus cidadãos [29][77].

No presente, a IP é geralmente operada na sua máxima potência, e controlada por fotocélulas que detectam a luminância ambiente, ou relógios astronómicos, que simplesmente ligam ou desligam as luminárias, ao anoitecer e ao amanhecer respectivamente.

No caso de redes de IP sem monitoramento, lâmpadas fundidas ou com alguma avaria podem continuar nesta situação por dias ou mesmo semanas, até que uma inspecção de rotina com elevados custos para o operador possa ser providenciada, ou que algum transeunte alerte as autoridades competentes. No entanto, a telegestão permite obter maiores poupanças energéticas por providenciar um controlo mais preciso da ligação e extinção dos pontos luminosos, e detectar quais as redes de IP que estão a operar ineficazmente.

Através de uma rede de telegestão continuamente actualizada em tempo real, uma falha na IP é automaticamente detectada e reencaminhada para o concessionário da rede, melhorando a segurança e garantindo um elevado serviço público.

O fim de vida de uma lâmpada pode também ser antecipado, procedendo-se à sua substituição. Maiores ganhos podem ser obtidos realizando-se uma regulação de fluxo, permitindo aos operadores da rede definir os níveis de luminosidade ideais para se encontrar com os objectivos de eficiência e iluminação óptima [77].

Com sistemas de telegestão, a adaptação às condições atmosféricas pode ser realizada de forma automática através de sensores presentes nas luminárias da seguinte forma [78]:

- Chuva: redução do fluxo luminoso devido ao aumento das capacidades reflectivas da estrada.
- Neve: redução ainda maior do fluxo luminoso à conta do brilho reflectido pela neve.
- Nevoeiro: redução da temperatura de cor para permitir melhores condições de visualização das vias.

O uso de LED em sistemas de telegestão é fulcral para obter o máximo potencial destes sistemas, juntamente com maiores ganhos económicos, como já foi referido anteriormente.

A maioria dos sistemas de telegestão, porém, tanto dão para as luminárias HID já existentes, como para as novas luminárias LED.

Para reduzir o investimento inicial, não é necessário a compra de sistemas LED.

Os sistemas de telegestão podem ser diferenciados em três categorias de funcionamento distintas [29][79]:

- Sistemas *stand-alone*.
- Redes autónomas com controlo distribuído.
- Redes interactivas com controlo central.

6.13.4.1 Sistemas *stand-alone*

Nos sistemas *standalone*, cada luminária comporta-se de forma independente graças à sua própria unidade de controlo. As soluções autónomas são recomendadas para iluminação inteligente básica em áreas de actividade não linear como áreas pedonais, parques, parques de estacionamento, armazéns, entre outros [29].

A Arquiled, empresa de iluminação portuguesa, desenvolveu uma luminária inteligente para iluminação pública com tecnologia LED.

Este projecto apelida-se de Arquicity, e é possível a redução do consumo de energia numa instalação de IP em 80%, sem que seja necessário mudar a infra-estrutura existente.

O Arquicity está associado a um conjunto de módulos de sensores que permitem uma optimização do desempenho de uma luminária LED [65]:

- *Sun Sensor*: célula que permite medir o estado da luminosidade ambiente, não sendo necessário haver outro sistema de controlo ou accionamento remoto, pois está preparada para ligar automaticamente.
- *Thermal Sensor*: sensor com o objectivo de proteger a tecnologia, cortando a emissão de luz quando esta atinge as temperaturas limite impostas.
- *Tractus Sensor*: módulo que faz a gestão de fluxo luminoso em função da presença a nível rodoviário e da presença humana pedestre.

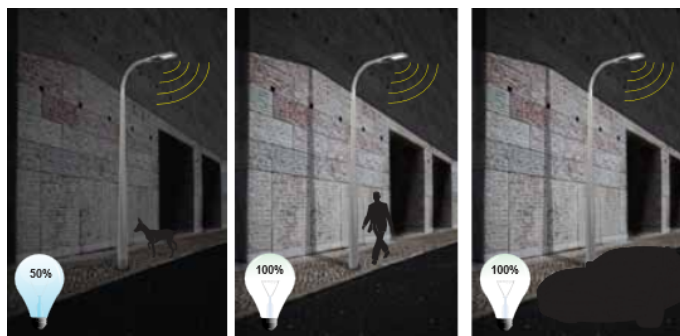


Figura 6.19: Modo de funcionamento do *Tractus Sensor* [65].

- *G Sensor*: sensor que permite desligar automaticamente a luminária se esta for derrubada ou sofrer um impacto considerável que accione o sistema.

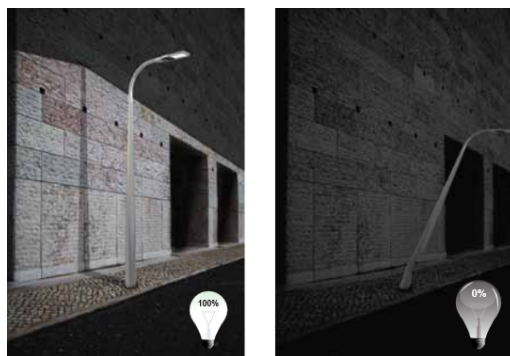


Figura 6.20: Modo de funcionamento do *G Sensor* [65].

- *Fog Sensor*: sensor que é capaz de detectar a presença de nevoeiro. Automaticamente comutará da luz principal branca, para uma luz secundária de cor âmbar, melhorando as condições de visualização para estas condições atmosféricas.

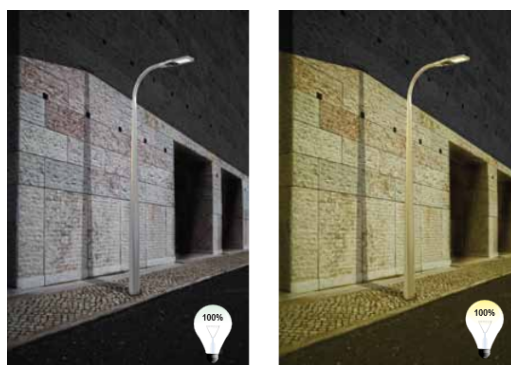


Figura 6.21: Modo de funcionamento do *Fog Sensor* [65].

Quando controlado remotamente, a luminária está preparada para comunicar através de sinais de tom, ou com qualquer outro método usando PLC (*Power Line Communications*) ou RF, podendo estes sistemas ser integrados em redes interactivas.

Por parte do grupo Schreder, o sistema de telegestão Owlet permite às suas luminárias o controlo automático por via a [29]:

- Sensores de movimento: a presença de pessoas ou veículos é detectada por sensores de movimento. Além de reduzir o consumo de energia, este recurso de luz à medida contribui para a segurança da área abrangida. Cada sensor está configurado para evitar a detecção desnecessária.

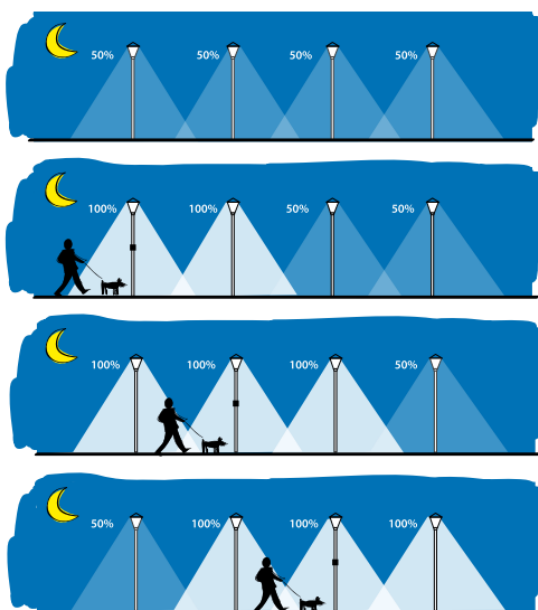


Figura 6.22: Ilustração do sistema de detecção autónomo [29].

- Fotocélula: colocada na parte superior da luminária, a fotocélula liga ou desliga a luminária dependendo do nível de luz natural. Cada ponto de luz comporta-se de forma independente.



Figura 6.23: Demonstração do sistema de fotocélula [29].

- Relógio astronómico: um relógio astronómico integrado oferece uma adaptação constante do perfil de dimming de acordo com as estações do ano garantindo que a iluminação satisfaz as reais necessidades dia a dia.
- Driver inteligente com fluxo luminoso constante (CLO – *Constant Light Output*): para cumprir com os níveis de iluminação requeridos, as instalações novas utilizam lâmpadas que emitem mais luz do que a necessária prevenindo a depreciação futura do fluxo. O CLO evita a sobre iluminação e compensa a depreciação automaticamente.

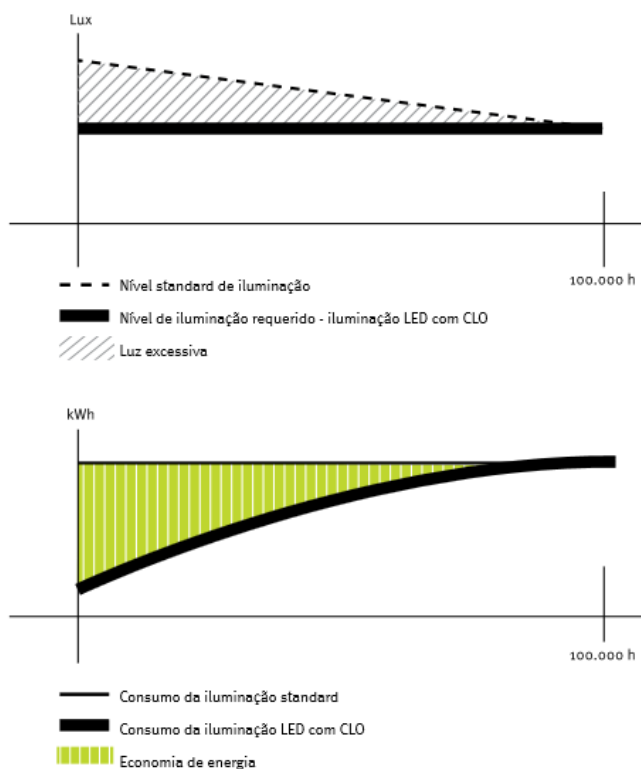


Figura 6.24: Demonstração das poupanças energéticas com a funcionalidade de fluxo luminoso constante (CLO) [29].

- Saída selectiva e dinâmica do lúmen (SDLO - *Selective Dynamic Lumen Output*): uma saída selectiva e dinâmica do fluxo luminoso permite que a intensidade luminosa seja ajustada de acordo com a densidade de tráfego.

Podem ser pré-programados perfis de *dimming* (regulação de fluxo) para reduzir a quantidade de luz nos períodos mais tranquilos e aumentar nos períodos de maior utilização. Isso é feito de acordo com as normas internacionais de iluminação.

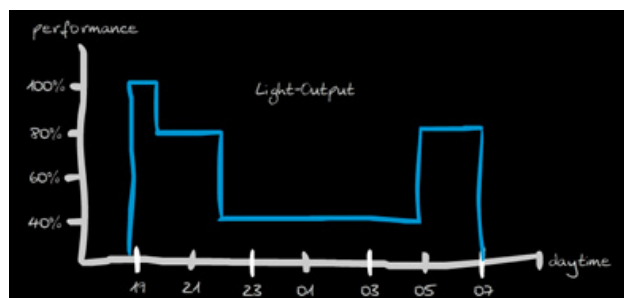


Figura 6.25: Demonstração de um perfil de regulação de fluxo [29].

O conjunto destas soluções, permitem obter uma economia de energia até 80%, comparado com luminárias de HPM [29].

6.13.4.2 Redes autónomas com controlo distribuído

Para oferecer mais flexibilidade com todas as características *stand-alone* e um leque mais amplo de possibilidades em termos de interacção, as redes autónomas com controlo distribuído incorporam um sistema autónomo de *dimming* de rede.

As luminárias comunicam entre si através de uma rede wireless disponibilizando assim perfis dinâmicos de *dimming* sem necessidade de um controlo centralizado. Graças ao funcionamento em estrela ou malha, a rede wireless encontra sempre o melhor caminho de comunicação. O sistema inclui características de auto-recuperação e de reencaminhamento. O cenário de *dimming* autónomo pode ser reforçado com recurso a detectores de movimento. Para comandar a instalação, os sensores podem ser centralizados ou descentralizados. Para garantir a segurança e conforto dos utilizadores logo que o movimento é detectado, o cenário de detecção impõe-se sobre o cenário de *dimming*. As unidades de controlo em cada luminária devem decidir o destino dos dados adquiridos pelos sensores, já que não é necessário enviar dados obtidos pelos mesmos para luminárias distantes, pois a quantidade de fluxo luminoso não depende de dados obtidos por sensores mais afastados [79].

A rede autónoma é perfeitamente adequada para praças, parques de estacionamento, parques urbanos, armazéns, campos desportivos, estradas, ruas entre outros [29].

A figura 6.26, mostra um exemplo de uma rede autónoma de controlo distribuído, onde as luminárias e sensores comunicam entre si.

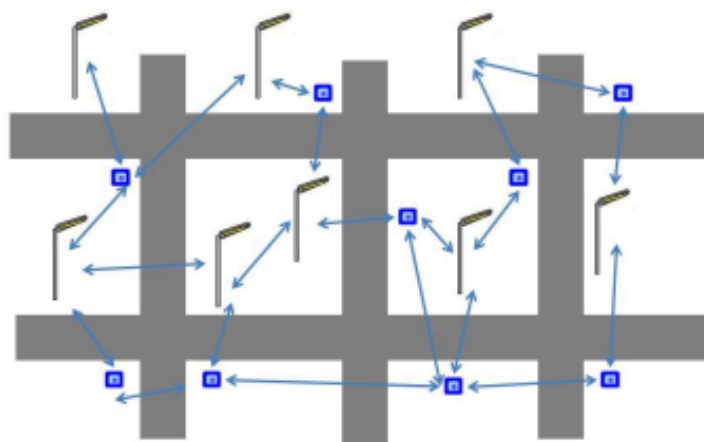


Figura 6.26: Exemplo de rede autónoma de controlo distribuído [79].

O perfil de *dimming* pode facilmente ser alterado conectando via wireless, uma luminária a um PC portátil sem recurso a qualquer outra ferramenta. A nova configuração será implantada para todas as luminárias na rede [29].

Uma das vantagens deste sistema, é que as luminárias podem cooperar entre elas para iluminar um caminho utilizado por veículos ou pedestres.

Este tipo de controlo inteligente troca informação da detecção de objectos a movimentarem-se, e liga as luminárias na vizinhança do objecto, sabendo sempre a sua posição e garantindo um caminho iluminado, como mostra a figura 6.27 [64].

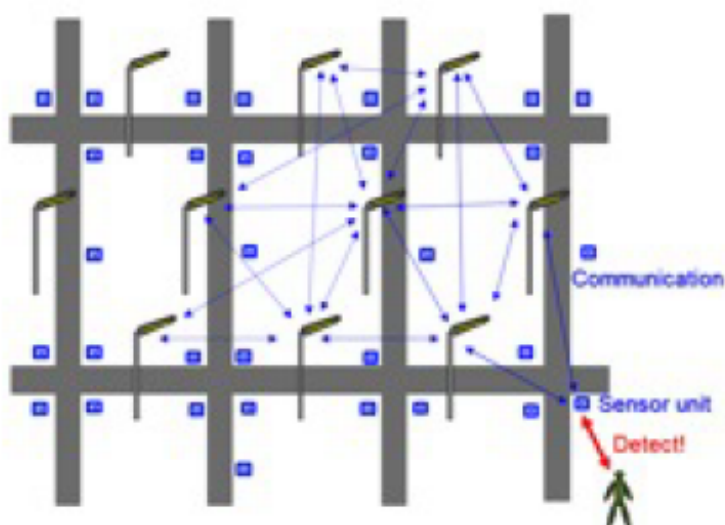


Figura 6.27: Rede autónoma de controlo distribuído com detecção de presença [79].

O sistema apresentado na figura 6.27, pode obter economias de energia até 85% comparativamente com a instalação com lâmpadas de 600 W de HPS [29][79].

6.13.4.3 Redes interactivas com controlo central

Numa rede interactiva de controlo central, o computador central recebe informação de todos os sensores e envia comandos para a rede inteligente de IP, com um interface web para gerir individualmente cada luminária a partir de qualquer lugar do mundo [29][79].

A figura 6.28 mostra uma rede interactiva com controlo central.

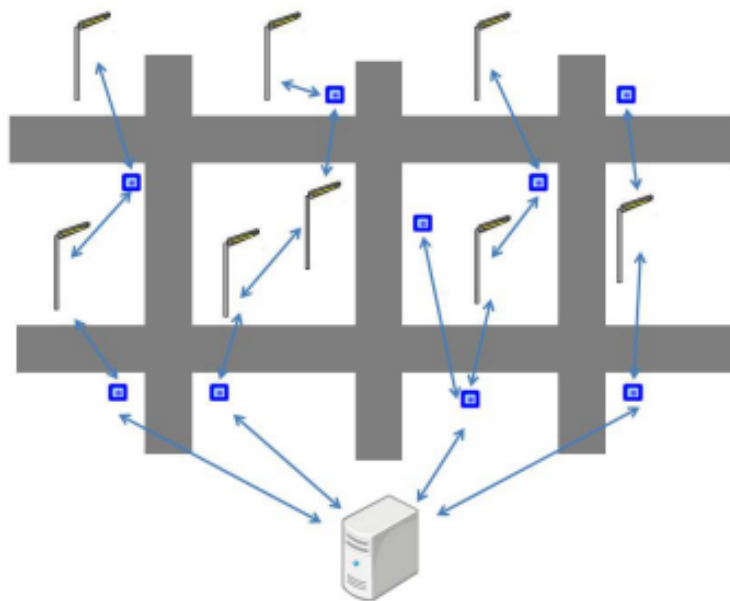


Figura 6.28: Rede interactiva com controlo central Owlet [79].

Cada um dos pontos luminosos tem sensores, equipamentos de comunicação e uma unidade de controlo próprio. A unidade de controlo de cada luminária controla o fluxo de luminosidade por comandos enviados pelo computador central, envia dados obtidos pelos seus sensores de volta para o computador central, e retransmite dados que são enviados por outras luminárias, sensores e pelo computador central a outras luminárias [79].

No passado, para alcançar os níveis de iluminação necessários, não havia escolha sobre a potência das fontes de luz utilizadas, uma vez que estas eram impostas pelos fabricantes. Sem controlo remoto, um gestor de uma rede de iluminação teria, por exemplo, que usar uma lâmpada de 100 W para atingir determinado nível de iluminação, respeitando a gama de potência do fabricante, mesmo que para isso 85 W fossem suficientes. Com controlo remoto, é possível variar a intensidade luminosa, precisamente para que ela corresponda ao nível exigido, sem desperdiçar energia. Este método dá pelo nome de Potência Virtual de Saída (VPO - *Virtual Power Output*), e foi implementado pelo grupo Schreder [29].

Cada luminária não tem muita informação armazenada ou muito poder de processamento, pois é a unidade de controlo central que possui toda a informação para controlar o fluxo luminoso de todas as luminárias.

Atrás de um computador ou dispositivo móvel, é possível gerir toda a instalação de iluminação através de um simples browser web [79][29].

A figura 6.29 mostra outro exemplo do esquema de uma rede interactiva de telegestão.



Figura 6.29: Exemplo de uma rede interactiva de telegestão [29].

Um dos problemas do controlo central prende-se com a robustez do sistema, pois se uma unidade de controlo central controlar todas as luminárias da IP, se este falhar, todo o sistema falha e as luminárias apagam-se [79].

Resumindo, um sistema de telegestão interactivo deve realizar as seguintes tarefas [3][29][77]:

- Monitorizar e configurar o estado de todos os parâmetros da luminária, nomeadamente os parâmetros de configuração dos sensores e o seu estado de actuação.
- 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 actual 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.
- * Configurar o sistema de regulação de fluxo.

6.14 Exemplos de eficiência energética

6.14.1 Em Portugal

6.14.1.1 Exemplos de cadastros da IP

No âmbito do projecto de poupança energética promovido pela Câmara Municipal de Águeda, foi efetuado o cadastro da IP do concelho. O objectivo do projecto, considerando o cadastro existente, era a gestão racional do serviço de iluminação pública, optimizando os gastos, as zonas com excesso de iluminação bem como as zonas com défice de iluminação.

A figura 6.33, mostra o cadastro da rede de IP do município de Águeda, sendo os pontos a amarelo os focos luminosos cadastrados [53].

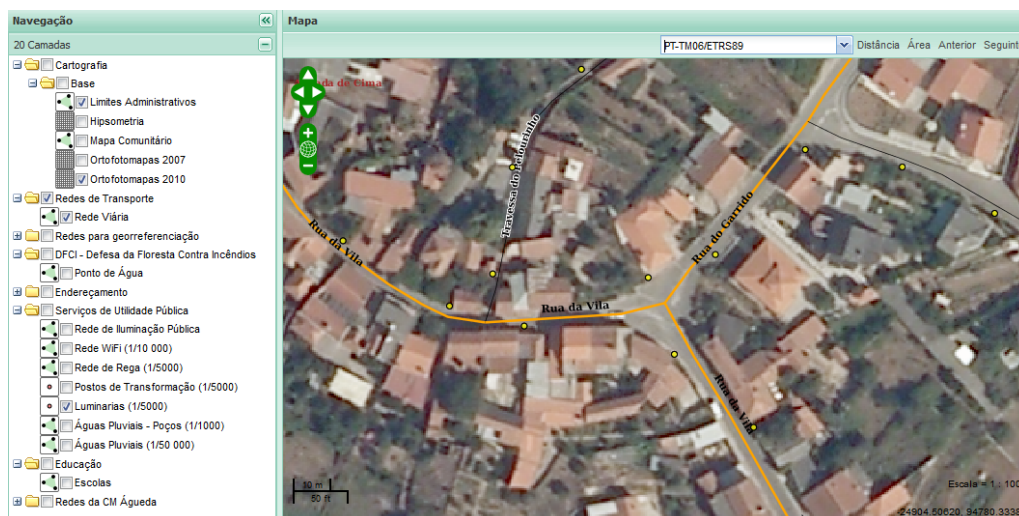


Figura 6.30: Cadastro da rede de IP pelo município de Águeda [53].

Após análise das luminárias sobre a rede viária e edificado, foi tomada a decisão de desligar luminárias em zonas com excesso de luz, assegurando sempre a iluminação necessária para cruzamentos ou entradas de habitações, de forma a que a redução não prejudique os cidadãos. Para tal, notificou-se a EDP relativamente aos pontos de luz a desligar, através de mapas descritivos de cada zona. A EDP, por sua vez, dirige-se ao local e desliga as luminárias propostas, inserindo no respectivo poste um autocolante informativo com o título “foco desligado” [53].

A figura 6.31 mostra a amarelo a rede e pontos de iluminação pública que o cadastro apurou, até à data de Fevereiro de 2011.

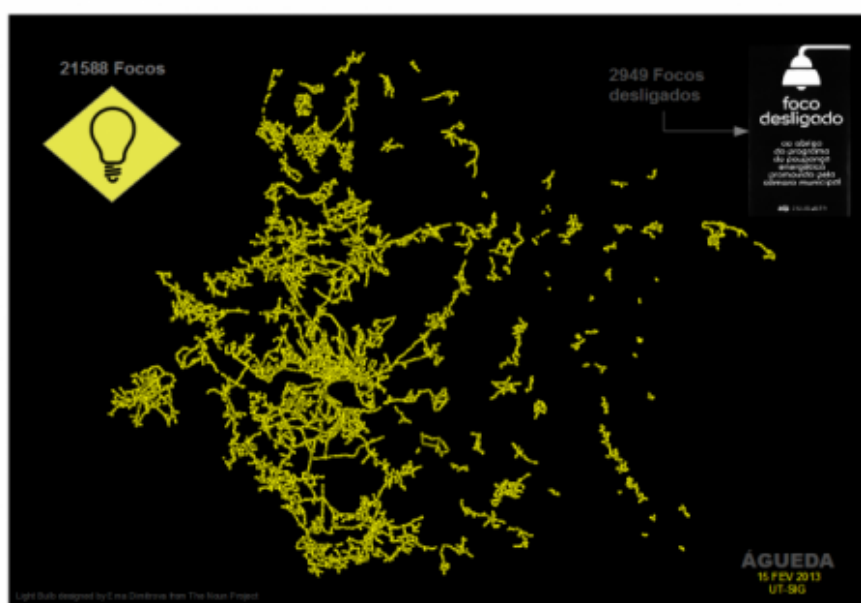


Figura 6.31: Cadastro da rede de IP pelo município de Águeda [53].

6.14.1.2 Cidade de Évora

Évora, a Cidade Património Mundial da Humanidade é a primeira metrópole portuguesa a receber uma rede inteligente de energia.

Uma rede que, ao potenciar a eficiência energética, a microprodução e a mobilidade eléctrica, vai constituir um exemplo de sustentabilidade para todo o País.

Este projecto é apelidado de InovCity, e foi seleccionado como o caso de estudo único para as redes inteligentes, pela Comissão Europeia e Eurelectric.

No pacote de medidas para a melhoria da eficiência da IP no seguimento do projecto InovCity, estão [80]:

- Substituição de luminárias tradicionais por luminárias de tecnologia LED, obtendo-se uma redução de 40% a 50% no consumo de electricidade.

- Regulação da iluminação em função das necessidades e condições naturais de luminosidade, evitando assim consumos desnecessários.
- Diminuição da intensidade luminosa, nas horas mortas (entre as 2:00 e as 5:00) mas mantendo as condições mínimas de segurança.
- Adopção de sistemas de controlo dinâmicos, que fazem a gestão do fluxo luminoso em função da presença rodoviária ou humana, estado da luminosidade ambiente e condições ambientais.

As informações recolhidas pelos sistemas mostraram que houve uma redução no consumo de energia na IP em 68% por mês, depois de implementadas estas medidas [75].

6.14.1.3 Cidade de Coimbra

Coimbra será a primeira cidade no mundo com iluminação pública totalmente LED, no âmbito do projecto europeu Transparens.

A cidade alcançará até 2015 uma iluminação 100% LED, que lhe permitirá "uma poupança energética da ordem dos 70%", com a instalação de cerca de 35 mil luminárias LED.

O projecto-piloto relacionado com "iluminação pública eficiente no município de Coimbra" será acompanhado por uma equipa de investigadores do Instituto de Sistemas e Robótica (ISR) da UC.

Orçada em 2,1 milhões de euros, o projecto é financiado pelo Programa Energia Inteligente Europa e reúne 20 parceiros europeus [81].

6.14.1.4 Cidade do Porto

A cidade do Porto tem um objectivo duplo em relação à iluminação da cidade: restaurar a identidade da cidade e, ao mesmo tempo, pôr em prática soluções energéticas mais eficientes. Os projectos de iluminação recentes reflectem isso mesmo e constituem uma lufada de ar fresco para a cidade do Porto. A Avenida Marechal Gomes da Costa é iluminada por 160 luminárias Hestia da marca Schreder. A Hestia foi escolhida devido ao facto de oferecer uma poupança energética substancial e uma estética única.

Instaladas na mesma posição que as luminárias antigas, equipadas com lâmpadas de vapor de sódio de 150 W, a Hestia, equipada com lâmpadas Cosmopolis de 90 W, oferece uma poupança de mais de 30 toneladas de CO₂ equivalente e 5 000 euros por ano, com elevados níveis de luminosidade e uma melhor uniformidade geral [29].

6.14.1.5 Cidade de Guimarães

A nova instalação de iluminação do Largo do Toural com luminárias Prado e Prado Mini equipadas com lâmpadas CDO-TT de 150 e 250 W substitui uma solução antiga e em mau estado de conservação com lâmpadas de sódio de 250 W, passando a potencia total da instalação de 300 000 W para 13 068 W. Para além de reduzir a quantidade de luminárias e a potência instalada, a

nova iluminação utiliza o sistema de telegestão Owlet que configura uma economia suplementar de cerca de 30%.

No global, potência instalada mais telegestão Owlet, o município economiza 65% em relação à instalação anterior.

A iluminação do Monte Latito divide-se em dois tipos: a iluminação cénica, assegurada por 104 projectores Focal equipados com lâmpadas de 70 W em substituição de antigos 48 projectores de 400 W e a iluminação dos percursos assegurada por 51 projectores Neos equipados com 16 LED de alta potência em substituição dos inicialmente previstos 42 projectores de 70 W mais 9 projectores de 35 W, resultando numa redução de consumo de 37%.

Todas as luminárias são da marca Schreder.

Apenas nas instalações do Largo do Toural e do Monte Latito o Município de Guimarães obtém uma substancial economia global de 12 611 €/ano [29].

6.14.1.6 Vila de Arraiolos

Em Arraiolos, e pela primeira vez em Portugal, um sistema de iluminação LED foi combinado com um moderno sistema de telegestão.

Dominada por um castelo com 700 anos de história e identificada mundialmente pela fama da sua tapeçaria, a histórica vila de Arraiolos dá um passo em frente neste início de século ao optar por uma iluminação eficiente, sustentável, inovadora e inteligente.

Com efeito, da colaboração entre a Schröder e os responsáveis pela intervenção nasceu um sistema de iluminação de elevada performance completamente sustentado em tecnologia de ponta. Para as zonas pedonais e viárias foi desenhada uma nova luminária, a Rivara, equipada com 36 LED em branco quente que proporciona uma excelente restituição cromática e grande conforto visual.

A luminária Rivara está associada a um sistema de telegestão de energia por portadora de corrente que permite a programação dos regimes de funcionamento da instalação através da regulação do fluxo luminoso de cada luminária, este sistema possibilita significativas reduções da factura energética do Município de Arraiolos.

Na iluminação decorativa e monumental, foram utilizados LED em branco neutro de forma a contrastar com a iluminação geral.



Figura 6.32: Utilização de LED na aldeia de Arraiolos [29].

Esta opção configura uma significativa redução, quer no consumo energético quer nas emissões de CO₂ eq, na ordem dos 30%. Os regimes de funcionamento do sistema podem ser programados em variados níveis de intensidade luminosa e, os intervalos podem ser adaptados diariamente em função da duração da noite [29].

6.14.1.7 Cidade de Lisboa

Com as suas ruelas estreitas e dezenas de pequenos restaurantes onde ecoa o fado, o Bairro Alto é o coração da capital portuguesa. Porque o Bairro Alto ganha vida à noite, foi necessária uma iluminação que aliasse criação de ambiente e eficácia luminosa. O município confiou à Schröder a substituição dos blocos ópticos dos antigos candeeiros – numa 1ª fase 421 – equipados com lâmpadas de mercúrio de 125 W pelos reflectores miniaturizados miniR® com lâmpadas Cosmopolis de 60 W e balastros electrónicos.

Para além do ganho substancial em nível de iluminação e em uniformidade, esta operação permitiu também reduzir em mais de 50% o consumo energético e, consequentemente, os custos [29].

- Antiga instalação: $L_{med} = 5,90$ lux
- Nova instalação: $L_{med} = 34,00$ lux

6.14.1.8 Alto Alentejo

Em Outubro de 2009, a AREANATEjo, em parceria com a CIMAA –Comunidade Intermunicipal do Alto Alentejo e com a EDP Distribuição, iniciou o projecto ILUPub, tendo por objectivo a melhoria da eficiência energética na iluminação pública dos 15 Municípios do Alto Alentejo.

Os trabalhos iniciais incidiram na caracterização da rede de iluminação pública (postos de transformação e pontos de luz) dos aglomerados urbanos da área de intervenção.

Recorrendo à utilização do software ngMobile para dispositivos móveis (PDA) foram caracterizados pontos de luz e postos de transformação (tendo já sido caracterizados mais de 20 000 pontos de luz e cerca de 250 postos de transformação).

Foram contabilizados os consumos de energia da iluminação pública dos 15 Municípios do Norte Alentejo. Foram analisadas cerca de 900 instalações, responsáveis pelo consumo anual de aproximadamente 25,5 GWh de energia, com um encargo superior a 2 600 000 euros.

O projecto inclui a instalação de sistemas de regulação do fluxo luminoso, luminárias mais eficientes (LED), sistemas de controlo, monitorização e optimização (telegestão), tendo em vista a melhoria da eficiência energética da iluminação pública dos Municípios do Alto Alentejo.

Até final de 2013, o ILUPub potenciou a instalação de equipamentos que, num investimento global de praticamente 2 milhões de euros, permitiriam reduzir os consumos de energia em cerca de 10% (2 450 000 kWh).

O conjunto de medidas de implementação presentes no Projecto ILUPub permitirá uma redução anual dos custos com energia superior a 251 000 euros, permitindo obter um período de retorno inferior a 2 anos (financiamento de 80% pelo INALENTEJO/QREN) [82].

6.14.1.9 Nó da Angeja da A29

O troço final da A29, que liga Estarreja a Angeja, no município de Albergaria-a-Velha, é a primeira auto-estrada da Europa iluminada a LED. Com esta aposta na eficiência energética, "no nó da Angeja, em cada ano, será reduzido o consumo em cerca de 100 MWh e as emissões de CO₂ são reduzidas em mais de 40 toneladas"[83].

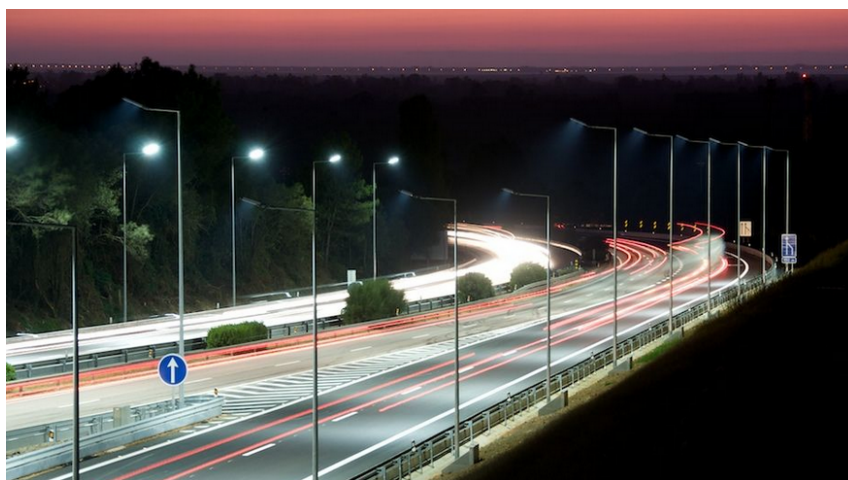


Figura 6.33: Nó da Angeja da A29 iluminada a LED [84].

6.14.2 No estrangeiro

6.14.2.1 Holanda

Um recente estudo de três anos elaborado pelo departamento público de transportes da Holanda, efectuou testes à redução do nível de iluminação em estradas, durante as horas de tráfego reduzido e com boas condições climatéricas, 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 [3].

6.14.2.2 Bélgica

A cidade de Huy procedeu à substituição de uma antiga instalação de iluminação que incluía 92 luminárias com lâmpadas HPS de 400 W e 250 W por luminárias Saphir 2 com lâmpada de HPS de 150W.

Ainda que o número de pontos de luz seja modesto, as economias de energia não são indiferentes.

De facto, o consumo diminui mais de 50% cumprindo os níveis de iluminação necessários ($L_{med} = 1,05 \text{ cd/m}^2$).

Poupam-se 7 650 euros por ano, o que significa 76 000 kWh ou ainda mais de 30 toneladas de CO₂ (395 g CO₂/ kWh) economizados [29].

6.14.2.3 Alemanha

À semelhança de outras grandes cidades europeias, Berlim atribui grande importância a uma utilização racional da energia. A Cidade procedeu recentemente à substituição de várias instalações de iluminação a mercúrio de 250 W com mais ou menos 40 anos, por luminárias Furyo equipadas com lâmpadas Cosmopolis de 90 W.

Actualmente, já foram instaladas mais de 1000 luminárias. Para além das 406 toneladas de CO₂ (600 gr CO₂/ kWh) economizadas, a economia de energia (676 500 kWh/ano) gerada pela instalação de luminárias de alto rendimento permite igualmente economizar mais de 100 000 euros por ano [29].

6.14.2.4 Noruega

Quando saiu uma regulação europeia que obrigava que toda a IP usasse balastros electrónicos ao invés de balastros electromagnéticos em 2007, a capital da Noruega, Oslo, decidiu implementar

esta medida. Mais de 10 000 balastros electrónicos foram instalados, integrados numa rede inteligente de telegestão, que permitiu a sua regulação de fluxo para serem obtidos os melhores níveis de iluminação.

Este sistema permitia identificar remotamente as lâmpadas avariadas, e em muitos casos, prever as falhas para estas serem substituídas sem que os utilizadores da IP dessem conta. Esta medida reduziu os custos as equipas de manutenção e tornou-as mais eficientes.

A cidade ao longo de 6 anos, conseguiu obter uma poupança de 62% no consumo de energia para a IP.

Cerca de um terço das poupanças económicas, foram resultado de redes de IP interligadas que conseguiu reduzir os custos de manutenção.

Em combinação com tecnologia LED, lâmpadas optimizadas de HID e balastros electrónicos, é possível obter grandes económicas de energia [78].

6.14.2.5 França

A região da Bretanha em França, implementou desde 2005, um projecto-piloto para redução dos consumos na IP. A região dispôs a 44 redes de IP sistemas avançados de telegestão de controlo centralizado, equipando balastros electrónicos nas suas luminárias.

A unidade central de controlo tinha um relógio astronómico integrado que automaticamente ligava e desligava as luzes ao anoitecer e amanhecer, e diminuía o fluxo luminoso de todas as luminárias até 60% entre as 23 horas e as 5 horas. O consumo de electricidade foi reduzido em 46%, o que resultou numa redução dos custos com a IP em 30%.

As poupanças projectadas estimam-se em 80 000 dólares por ano [77].

6.15 Exemplos de ineficiência energética em Portugal

A iluminação de espaços verdes é das que tem apresentado maiores lacunas de eficiência, sendo que a maioria das luminárias utilizadas, emitem luz em todas as direcções, utilizam difusores opacos para menor proveito da luminosidade das lâmpadas, encontrando-se muitos deles sem manutenção, como mostra a figura 6.34.



Figura 6.34: Exemplos de luminárias para iluminação de espaços verdes em Portugal [41].

A figura 6.35, mostra que os difusores que emitem em todas as direcções, além de contribuírem para a poluição luminosa, contribuem também para um aumento do desperdício de energia, devido ao fluxo luminoso acima do hemisfério superior.

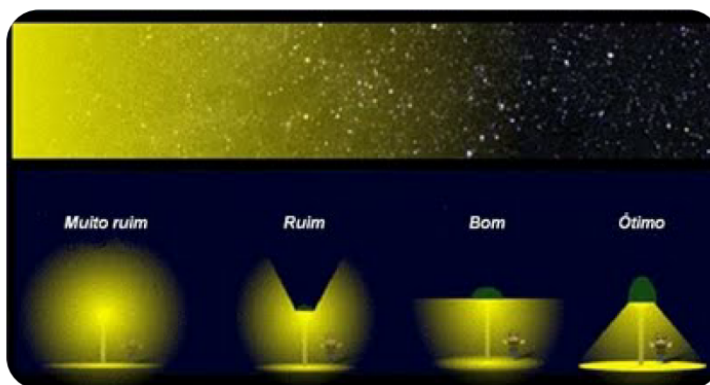


Figura 6.35: Distribuição de luz e poluição luminosa [21].

Na iluminação das vias públicas com tráfego motorizado, também são encontrados muitos casos de luminárias ineficientes ainda em funcionamento, já bastante antigas e ultrapassadas, emitindo uma percentagem bastante significativa de luz para a atmosfera, causando grande poluição luminosa, carecendo de difusores para protecção adequada contra a poluição e corpos estranhos, resultando numa maior depreciação do fluxo luminoso que advém da luminária ao longo do tempo. Exemplos de luminárias ineficientes são apresentadas figura 6.36.



Figura 6.36: Exemplos de luminárias ineficientes utilizadas na IP em Portugal [41].

Em particular, além do uso de luminárias antigas e pouco eficientes, as principais ineficiências energéticas na IP em Portugal são [2][4]:

- IP ligada de dia, ou com horário de ligação desajustado às necessidades ambientes.



Figura 6.37: Exemplo IP ligada de dia, ou com horário de ligação desajustado às necessidades ambientes.

- Utilização de iluminação excessiva.



Figura 6.38: Exemplo do uso excessivo de iluminação [2].

- Luminárias obstruídas por objectos estranhos.



Figura 6.39: Exemplo de luminárias obstruídas por objectos estranhos [2].

- Emprego de luminárias sobrepostas.



Figura 6.40: Emprego de luminárias sobrepostas [2].

- Difusores danificados, impedindo a boa distribuição espacial do fluxo luminoso obtido.



Figura 6.41: Exemplo de difusor danificado [2].

- Luminárias vandalizadas.



Figura 6.42: Exemplo de luminária vandalizada [2].

- Iluminação intrusiva.

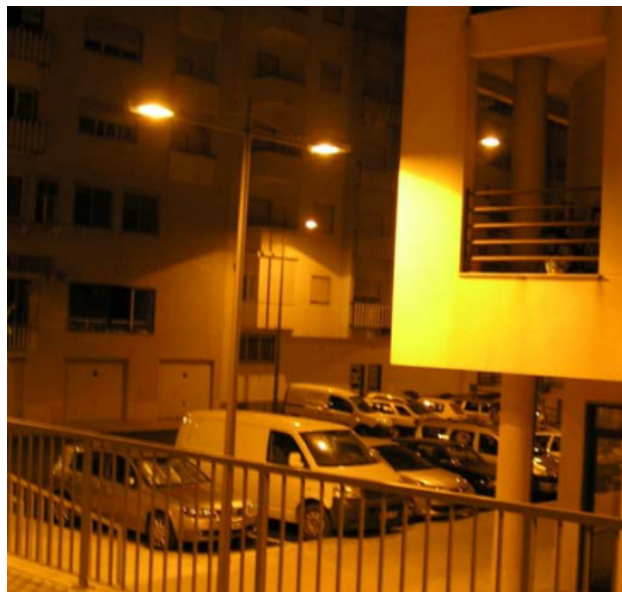


Figura 6.43: Exemplo de iluminação intrusiva [2].

- Uso desadequado de luminárias para o tipo de via.



Figura 6.44: Exemplo de uso desadequado de luminárias para o tipo de via [2].

- Obstrução do fluxo luminoso por copas de árvores.



Figura 6.45: Exemplo de obstrução do fluxo luminoso por copas de árvores [4].

- Sobreposição de redes diferentes de IP.



Figura 6.46: Exemplo de sobreposição de redes diferentes de IP.

6.16 Conclusão

Neste capítulo estudaram-se medidas de poupança e eficiência energética que podem ser aplicadas nas redes de IP.

Quando utilizados no seu máximo potencial, as poupanças de energia estimadas utilizando sistemas de telegestão avançados são elevadas, podendo ser de até 85% utilizando tecnologia LED [29]. Enquanto que o investimento inicial em redes de telegestão é significativo, as poupanças em energia e em manutenção são substanciais.

Combinado com os potenciais de aumento de performance, e baseado nos casos de estudo existentes, as redes de IP com tecnologia LED, sujeitas a regulação de fluxo dinâmico, são recomendadas como sendo a melhor prática para novas instalações de iluminação pública [29][77].

No próximo capítulo, realizar-se-á uma análise técnico-económica a várias soluções tecnológicas para iluminação das vias públicas, que validam esta análise.

Capítulo 7

Projecto de IP com o novo documento de referência

7.1 Introdução

Este estudo, proposto pelo grupo Schröder, é um projecto de IP que tem por objectivo analisar a viabilidade técnico-económica, da substituição das 191 luminárias existentes de vapor de sódio de alta pressão por luminárias com tecnologia LED, na variante de Rabo de Peixe, na ilha Açoriana de São Miguel.

Para o nível de iluminação se adequar à função do espaço e necessidades da via, foi feita a classificação segundo os pressupostos indicados no DREEIP, baseada na norma europeia EN 13201 para a IP.

Foi realizada uma análise tecno-económica aprofundada à proposta da Schröder, comparando-a com a solução existente.

Foram ainda realizados outros estudos para verificar a viabilidade tecno-económica de projectos luminotécnicos para a mesma variante, utilizando lâmpadas de HPS de menor potência para a mesma luminária existente, utilizando uma nova luminária de alta eficiência fotométrica, e lâmpadas de MH para a luminária existente.

Em suma, os casos de estudo neste capítulo são:

- Solução existente: Luminárias com lâmpadas HPS de 250 W.
- Solução proposta: Luminárias LED 73 W.
- Proposta de estudo 1: Luminária existente com lâmpada HPS redimensionada.
- Proposta de estudo 2: Luminária de alta eficiência fotométrica de nova geração.
- Proposta de estudo 3: Luminária existente com lâmpada de MH.

7.2 Classificação da via

Para estabelecer as condições adequadas de iluminação, foi utilizado o DREEIP, já estudo no capítulo 5, que utiliza o método simplificado preconizado na CIE 115:2010, reduzindo o número de parâmetros necessários e obviando às interpretações diversificadas a que a aplicação directa da norma EN13201 poderia conduzir.

A figura 7.1 mostra a variante de Rabo de Peixe onde se efectuou o estudo luminotécnico.

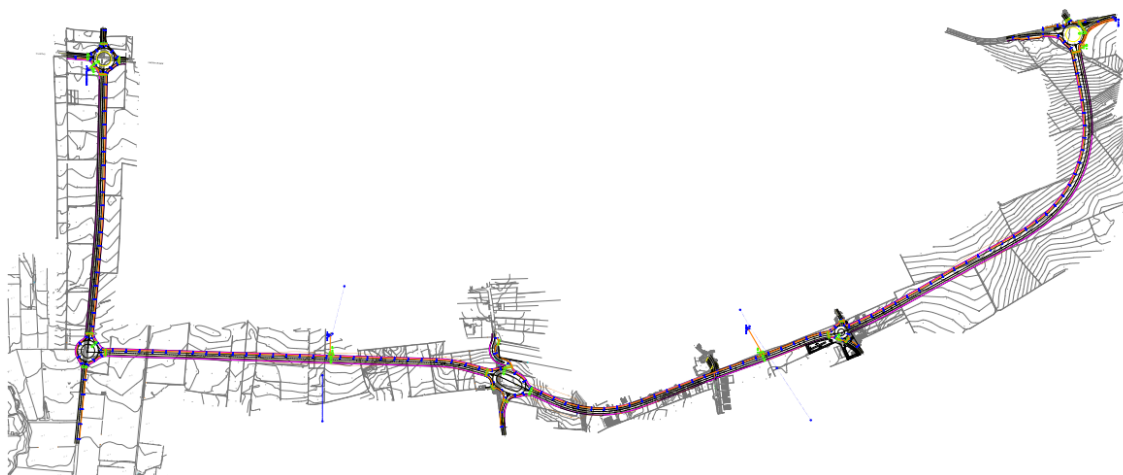


Figura 7.1: Variante de Rabo de Peixe onde se efectuou o estudo.

O primeiro passo é definir que tipo de classe é a variante, podendo ser da classe ME (velocidade rápida ou moderada), CE (área de conflito) ou S (espaço público mormente pedonal).

Classificou-se a via como pertencendo à classe ME, de velocidade rápida ou moderada, correspondendo a um tráfego misto, ou seja, comporta tráfego motorizado a baixa e média velocidade, bem como a existência de ciclistas e pedestres nessas áreas. Possui apenas requisitos de luminância, e compreende as seguintes classes definidas na norma EN13201-2:2003:

- ME2 a ME5.

Para se determinar a que classe ME pertence, de acordo com a CIE 115, procedeu-se do seguinte modo:

- Atribuiu-se, um factor de peso apropriado, a cada trâmite especificado.
- Somaram-se todos os factores seleccionados, obtendo-se um valor “Total”.
- Introduziu-se esse valor na equação: Índice (ME) = 6 – Total, obtendo-se o índice da classe ME.

De notar que poderá ser necessário arredondar o valor de “Total” para o número inteiro mais baixo, ou mesmo limitar o intervalo de valores possíveis entre [0 - 6].

A determinação da classe ME será feita de acordo com a tabela 7.1.

Tabela 7.1: Método para determinação da classe ME [27].

Variante Rabo de Peixe			
Seleção de classes de iluminação - ME			
Parâmetro	Opções	Factor de peso	Seleção
Velocidade	Muito alta	1	
	Alta	0,5	0,5
	Moderada ou reduzida	0	
Volume de tráfego	Muito elevado	1	
	Alto	0,5	
	Moderado	0	0
	Baixo	-0,5	
	Muito Baixo	-1	
Composição do trânsito	Elevada percentagem de não motorizados	2	
	Misturado	1	1
	Apenas Motorizado	0	
Separação de faixas	Não	1	1
	Sim	0	
Densidade de cruzamentos	Alta	1	
	Moderada	0	0
Veículos estacionados	Presente	1	
	Não Presente	0	0
Luminância Ambiente	Alta	1	
	Moderada	0	
	Baixa	-1	-1
Controlo de Transito	Fraco	0,5	
	Moderado ou Bom	0	0
Total			1,5
ME = 6 - Total =			4,5

Arredondando, por defeito, o resultado obtido, verifica-se que a variante enquadrasse na classe ME4.

Tabela 7.2: Classes de via ME [27].

Classe da via	Luminância da superfície da via em condições secas			Deslumbramento Perturbador	Iluminação Envolvente
	Luminância média L_m (cd/m ²)	Uniformidade Global U_0	Uniformidade longitudinal U_1	Aumento limiar TI (%)	Relação Entorno SR
ME1	2,00	0,40	0,70	10	0,50
ME2	1,50	0,40	0,70	10	0,50
ME3	a	0,40	0,70	15	0,50
	b		0,60		
ME4	a	0,40	0,60	15	0,50
	b		0,50		
ME5	0,50	0,35	0,40	15	0,50
ME6	0,30	0,35	0,40	15	0,50

É possível agora optar pela classe ME4a ou ME4b conforme os parâmetros:

- a – É permitido um aumento de 5% no valor do TI quando forem usadas fontes de iluminação com baixa luminância (lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão e fluorescentes tubulares, ou então fontes de luz com luminância idêntica ou inferior).
- b – Significa que este critério apenas poderá ser aplicado em locais onde não existam zonas de tráfego com os seus próprios requisitos adjacentes às faixas de rodagem. É um valor não óptimo (com uma uniformidade longitudinal mais baixa) normalizado. Para este caso de estudo foi escolhida a classe ME4a.

Esta classe deverá garantir os seguintes parâmetros luminotécnicos:

- Luminância média (L_m): 0,75 cd/m²
- Uniformidade global (U_0): 40
- Uniformidade longitudinal (U_1): 60
- Aumento limiar (TI): 15
- Relação entorno (SR): 0,50

A figura 7.2 mostra o troço de via a efectuar o cálculo luminotécnico para as várias propostas.



Figura 7.2: Troço de via onde se efectuou o cálculo luminotécnico para as várias propostas.

E a figura 7.3 mostra as características da via e como estão dispostos os postes de iluminação.

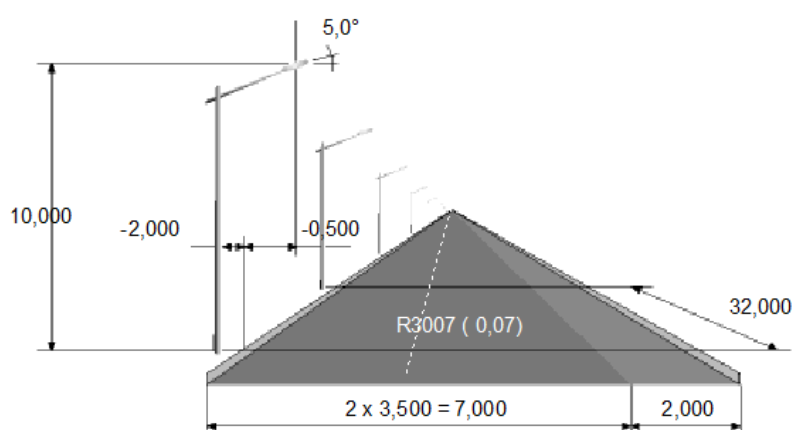


Figura 7.3: Características da via e disposição dos postes de iluminação.

O tipo de estrada da via em estudo é do tipo M, contendo duas faixas de rodagem de 3,5 metros de largura, e com dois passeios de 2 metros de largura.

A altura dos postes é de 10 metros, com um espaçamento em disposição unilateral de 32 metros.

O braço da luminária é de 1,5 metros, e a luminária está recuada 0,5 metros em relação à berma da estrada, com uma inclinação de 5°.

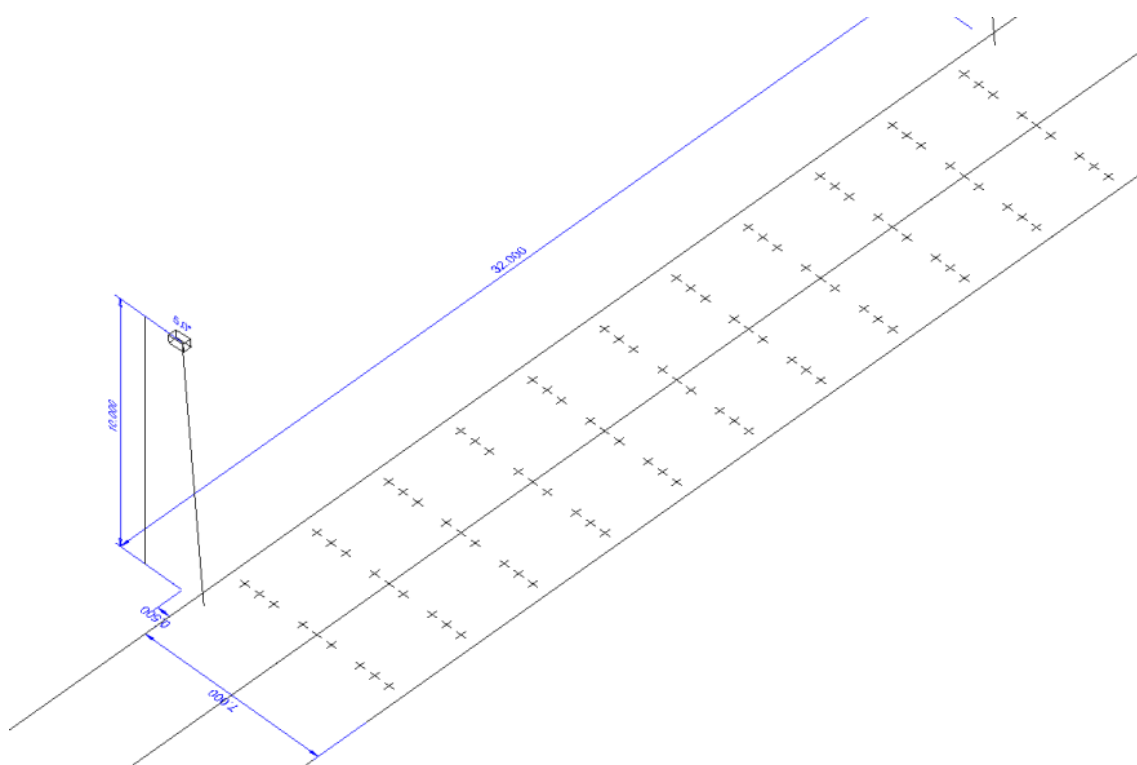


Figura 7.4: Vista 3D da posição das luminárias e área de cálculo luminotécnico.

Para qualquer dos casos de estudo, a posição das luminárias, incluindo a inclinação, é a mesma que a original, pois esta está de acordo com as padrões europeus.

Tabela 7.3: Espaçamento e altura dos postes de iluminação para o tipo de estrada. Os valores a negrito correspondem aos valores normalizados pela EDP [30].

Estradas					Postes			
Tipo de Estrada	Faixas de Rodagem	Bermas / passeios	Total	Espaçamento	Altura útil		SHR	
					Rede Aérea BT	Rede Subterrânea	Rede Aérea BT	Rede Subterrânea
R	4 x 3,75	2 x 2,5	20 (m)	[35 - 80] 40 (m)	10 (m)	12 (m)	4	3,3
M	2 x 3,5	2 x 1,5	10 (m)	[25 - 50] 35 (m)	8 (m)	10 (m)	4,5	3,5
L	2 x 3	2 x 1	8 (m)	[15 - 50] 24 (m)	6 (m)	8 (m)	4	3

7.3 Cálculo luminotécnico

O cálculo luminotécnico foi realizado com o auxílio da ferramenta computacional Ulysse.

Este software calcula, automaticamente, as melhores soluções de fotometria a aplicar numa via para uma dada luminária, tendo em consideração as classes da via do DREEIP e posições dos postes de iluminação no cálculo pré-definidas.

Como já referenciado no capítulo 3, as superfícies com diferentes propriedades de reflexão terão a mesma iluminância, mas luminâncias diferentes. Como a classe ME4a requer o critério da luminância, utilizar-se-á o parâmetro R3007 para classificar o tipo de material da via, pois é o seu pior índice de reflexão que o software Ulysse proporciona. Deste modo, o cálculo será realizado sempre para o caso mais pessimista, garantindo uma margem de segurança adequada, dependendo das verdadeiras condições da via.

Foi escolhido um factor de manutenção global (FM) de 0,9 para todos os casos de estudo irem de encontro com a metodologia adoptada pela Schröder, pelo que não se calculará de acordo com o DREEIP.

7.3.1 Solução existente: Luminárias com lâmpadas HPS de 250 W

Esta variante de projecto de iluminação para Rabo de Peixe é composta por 191 luminárias da marca Sapphire 2 fabricadas pela Schröder, utilizando lâmpadas de 250 W de vapor de sódio de alta pressão, operadas por balastro electromagnético.



Figura 7.5: Luminária existente Sapphire 2 [29].

Esta luminária possui um bloco óptico com estanquicidade IP 66, com difusor em vidro temperado, de fotometria inovadora de alta performance. O posicionamento da lâmpada é ajustável o que permite afinar a regulação da fotometria.

A lâmpada utilizada de HPS, fabricada pela Philips, tem as seguintes características [36]:

- Nome: SON-T 250W/220 E40 1SL.

- Potência: 250 W.
- Tempo de vida médio: 30 000 horas.
- IRC: 25.
- Temperatura de cor: 2000 K.
- Lúmens: 28 000 lm.
- Eficiência luminosa: 110 lm/W.
- S/P : 0,60.

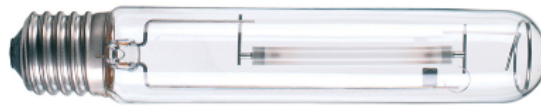


Figura 7.6: Lâmpada de HPS SON-T de 250 W [36].

O cálculo luminotécnico obteve 12 soluções possíveis, devido às múltiplas combinações do posicionamento da lâmpada dentro da luminária.

Dos resultados obtidos, a luminância média variava entres os $2,05 \text{ cd/m}^2$ aos $2,94 \text{ cd/m}^2$. A tabela 7.4 apresenta os resultados luminotécnicos para a maior luminância média de $2,94 \text{ cd/m}^2$.

Tabela 7.4: Resultados luminotécnicos obtidos para a solução existente para a luminância média máxima.

	Medidos		Recomendados
Luminância média (Lm)	$2,94 \text{ cd/m}^2$	✘	$0,75 \text{ cd/m}^2$
Uniformidade global (U_0)	47,60%	✔	40%
Uniformidade longitudinal (U_1):	87,90%	✔	60%
Aumento limiar (TI)	8,6%	✔	15%
Relação entorno (SR)	0,6	✔	0,5

Todos os parâmetros luminotécnicos estão dentro do recomendado excepto o da luminância média, que excede em $2,19 \text{ cd/m}^2$ o recomendado para a classe da via e, como “iluminar demais, não é sinónimo de iluminar bem”, recomenda-se a redução da potência instalada desta rede de IP.

A luminância média está tão alta, que ultrapassa mesmo a classe ME de luminância média mais alta, a classe ME1, por $0,94 \text{ cd/m}^2$.

A uniformidade global está dentro dos valores óptimos, superando apenas em 7,60% o recomendado. Por outro lado, a uniformidade longitudinal apresenta um excelente valor, superando em 27,60% o recomendado.

O aumento limiar não ultrapassa o limite de 15%, sendo mesmo menor ao recomendado, resultando numa hipótese de encandeamento mais reduzida.

A relação entorno supera em 0,1 unidades, o recomendado, mas como é uma diferença mínima, não trás problemas de maior para garantir a segurança e conforto dos parâmetros aplicados na instalação.

A figura 7.7 apresenta as curvas *isolux* e cores falsas resultadas do cálculo luminotécnico da vi, para a solução utilizando a luminância média máxima.

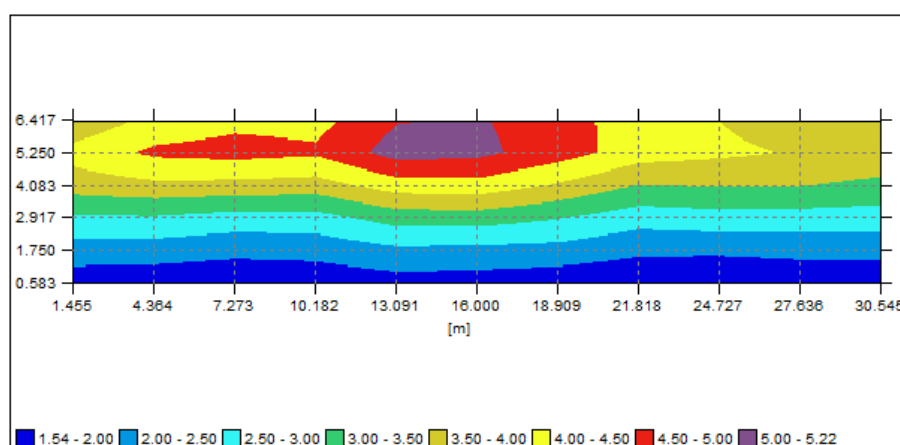


Figura 7.7: Curvas *isolux* e cores falsas para a solução existente para a solução com luminância média máxima.

Da figura 7.7, é possível entender que a uniformidade global é baixa, já que as cores falsas evidenciam a pouca uniformidade da via, levando, a se obter, valores de luminâncias muito desfasados ao longo da via, de até $3,68 \text{ cd/m}^2$ de diferença, entre a luminância mínima e máxima.

Para os resultados luminotécnicos obtidos utilizando a solução de menor luminância média, a fotometria aplicada na via é bastante diferente.

A tabela 7.5 apresenta os resultados luminotécnicos obtidos para a menor luminância média obtida pelo programa, após modificação do posicionamento da lâmpada.

Tabela 7.5: Resultados luminotécnicos obtidos para a solução existente para a luminância média mínima.

	Medidos		Recomendados
Luminância média (Lm)	2,05 cd/m^2	✖	0,75 cd/m^2
Uniformidade global (U_0)	72,4%	✓	40%
Uniformidade longitudinal (U_1):	86,5%	✓	60%
Aumento limiar (TI)	9,2%	✓	15%
Relação entorno (SR)	0,7	✓	0,5

Verifica-se que, a luminância média, apesar de ter sofrido uma redução para os $2,05 \text{ cd/m}^2$, continua um exagero, relativamente ao recomendado, ultrapassando a classe ME1, por $0,05 \text{ cd/m}^2$.

A uniformidade global obteve uma melhoria substancial de 24,8%, para os 72,4%, o que representa um bom resultado.

A uniformidade longitudinal baixou apenas ligeiramente para os 86,5%, apresentando na mesma, um excelente resultado.

Os parâmetros do aumento limiar e relação entorno pouco se alteraram, pelo que ainda se mantêm em valores óptimos.

A figura 7.8 apresenta as curvas *isolux* e cores falsas, resultadas do cálculo luminotécnico da via para a solução utilizando a luminância média mínima.

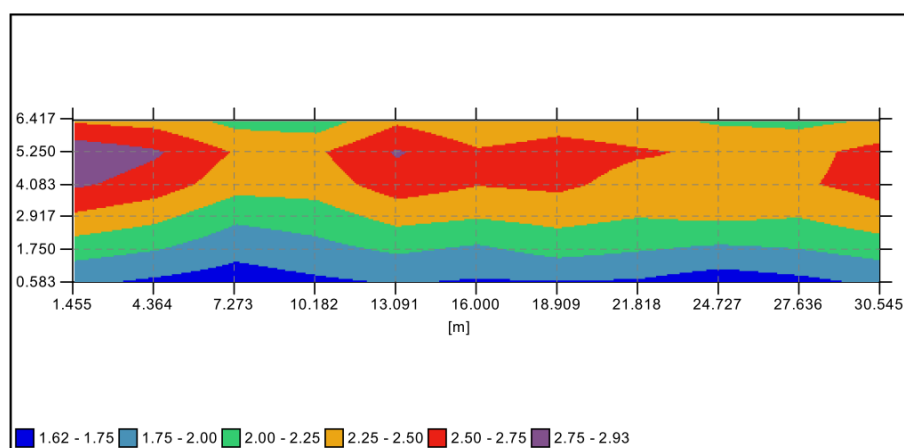


Figura 7.8: Curvas *isolux* e cores falsas para a solução existente para a solução com luminância média mínima.

É possível perceber que a uniformidade global é boa, já que as cores falsas realçam a boa uniformidade da via, levando a se obter valores de luminâncias pouco desfasadas ao longo da via, de até $1,31 \text{ cd/m}^2$, entre a luminância mínima e máxima, uma diferença de $2,37 \text{ cd/m}^2$ em relação ao uso da lâmpada com o posicionamento para a luminância média máxima.

7.3.2 Solução proposta: Luminárias LED 73 W

Na solução proposta pela Schröder, estudou-se a actualização das 191 luminárias de HPS por luminárias LED Teceo 1 de 73 W, cada uma com 32 LED individuais.



Figura 7.9: Luminária LED Teceo 1 fabricada pela Schröder [29].

A luminária Teceo 1 apresenta performances fotométricas otimizadas, com um custo mínimo para o concessionário da instalação. É ideal para iluminação de ruas residenciais, estradas urbanas, ciclo-vias e parques de estacionamento. As suas principais características são [29-30]:

- Nome: Teceo 1.
- Estanquicidade bloco óptico: IP 66.
- Potência: 73 W.
- LED por bloco: 32 LED.
- Tempo de vida médio: 100 000 horas.
- IRC: >70.
- Temperatura de Cor: Branco Neutro 4250 K.
- Lúmens: 7 780 lm.
- Eficiência luminosa: 106,6 lm/W.
- S/P : 2,04.

Para esta luminária, o programa apenas encontrou uma solução possível, porque para a óptica utilizada, a “5102-performance”, apenas existe um tipo de posicionamento da matriz de LED.

A solução é apresentada na tabela 7.6.

Tabela 7.6: Resultados luminotécnicos obtidos para a solução LED.

	Medidos		Recomendados
Luminância média (Lm)	0,78 cd/m^2	✓	0,75 cd/m^2
Uniformidade global (U_o)	58,10%	✓	40%
Uniformidade longitudinal (U_l):	85,70%	✓	60%
Aumento limiar (TI)	6,1%	✓	15%
Relação entorno (SR)	0,7	✓	0,5

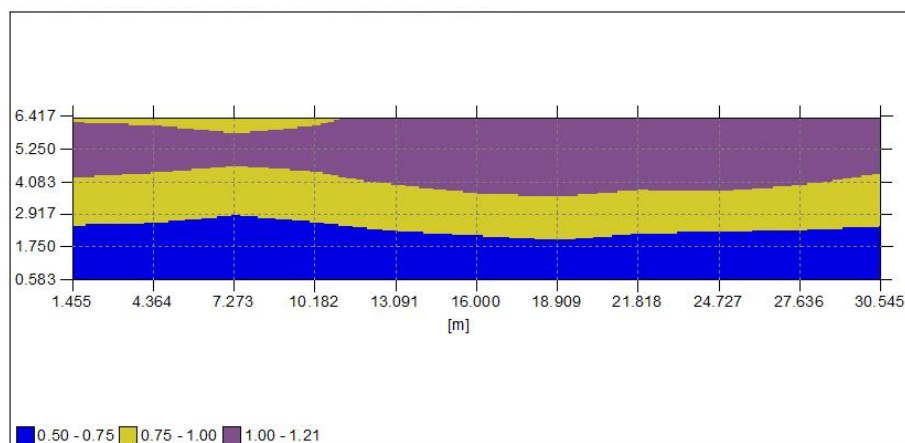
A luminância média é bastante próxima do recomendado, ao contrário da solução existente para HPS.

Também se verifica que a uniformidade global aumentou em relação à solução existente, mas pelo contrário, a uniformidade longitudinal é mais baixa, mas por uma diferença mínima. Constata-se também que o aumento limiar não ultrapassa o limite de 15%, sendo mesmo menor ao recomendado, resultando numa hipótese de encandeamento mais reduzida.

A relação entorno supera em 0,2 o recomendado, mas como é uma diferença mínima, não trás problemas de maior para garantir a segurança e conforto dos parâmetros aplicados na via da instalação.

Conclui-se que para esta solução luminotécnica, todos os parâmetros são adequados para a classe da via.

A figura 7.10 apresenta as curvas *isolux* e cores falsas resultadas do cálculo luminotécnico da via, para a solução LED.

Figura 7.10: Curvas *isolux* e cores falsas para a solução LED.

Da análise à figura 7.10, é possível perceber que a uniformidade global é razoável, já que as cores falsas evidenciam uma uniformidade substancial da via, levando a se obter valores de luminâncias não muito desfasados ao longo da via, de até $0,71 \text{ cd}/\text{m}^2$ de diferença.

Apesar de neste caso a diferença entre a luminância mínima e máxima ser apenas de $0,71 \text{ cd/m}^2$, é preciso ter em conta que a luminância média é de apenas $0,78 \text{ cd/m}^2$, daí se obter uma uniformidade global de apenas 58,10%.

7.3.3 Proposta de estudo 1: Luminária existente com lâmpada HPS redimensionada

Foi proposto neste caso de estudo, um redimensionamento à instalação de IP, utilizando a mesma luminária da solução existente, a Sapphire 2, de modo a aproximar os parâmetros luminotécnicos às necessidades reais da via de classe ME4a.

Para tal, foram testadas as lâmpadas de HPS de potências inferiores à solução original, de 250 W. A gama de potências inferiores disponíveis são de 150 W, 100 W e 70 W.

Após efectuado o cálculo luminotécnico, o programa Ulysse devolveu 18 possíveis soluções, 12 para lâmpada de 150 W e 6 para lâmpada de 100 W.

As luminâncias médias variam entre os $0,78 \text{ cd/m}^2$ e os $0,93 \text{ cd/m}^2$, para as lâmpadas de 100 W, e entre os $1,06 \text{ cd/m}^2$ e os $1,55 \text{ cd/m}^2$, para as lâmpadas de 150 W.

Como a mínima luminância média obtida para as lâmpadas de 150 W supera em $0,31 \text{ cd/m}^2$ a luminância média recomendada, esta gama de potência será descartada, pelo que se realizou o estudo com a lâmpada de 100 W, com um posicionamento na luminária de modo a se obter a mínima luminância média de $0,78 \text{ cd/m}^2$, porque é a luminância média mais próxima do recomendado pela classe ME4a. Não se obtiveram soluções para a lâmpada de 70 W.

A lâmpada de HPS de 100 W fabricada pela Philips tem as seguintes características [36]:

- Nome: SON-T 100W E E40 1SL.
- Potencia: 100 W.
- Tempo de vida média: 28 000 horas.
- IRC: 25.
- Temperatura de Cor: 2000 K.
- Lúmens: 9000 lm.
- Eficiência luminosa: 90 lm/W.
- S/P : 0,60.

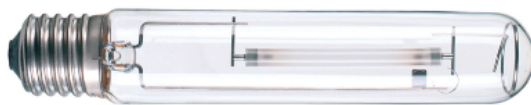


Figura 7.11: Lâmpada de HPS SON-T de 100 W [36].

A tabela 7.7 apresenta os resultados luminotécnicos obtidos para as configurações mencionadas.

Tabela 7.7: Resultados luminotécnicos obtidos redimensionando a potência da lâmpada para 100 W.

	Medidos		Recomendados
Luminância média (Lm)	0,78 cd/m^2	✓	0,75 cd/m^2
Uniformidade global (U_0)	62,6%	✓	40%
Uniformidade longitudinal (U_1):	89,0%	✓	60%
Aumento limiar (TI)	8,1%	✓	15%
Relação entorno (SR)	0,6	✓	0,5

Pela análise da tabela 7.7, verifica-se que a luminância média é bastante próxima do recomendado, ao contrário da lâmpada de 250 W para a solução existente.

A uniformidade global apresenta valores acima do razoável, excedendo em 22,6% o recomendado, e a uniformidade longitudinal, de 89%, é considerada muito boa.

Constata-se também que o aumento limiar não ultrapassa o limite de 15%, sendo mesmo menor ao recomendado, resultando numa hipótese de encandeamento mais reduzida. A relação entorno supera em 0,1 o recomendado, mas como é uma diferença mínima, não trás problemas de maior para garantir a segurança e conforto dos parâmetros aplicados na via da instalação.

Conclui-se, que para esta solução luminotécnica, todos os parâmetros são adequados para a classe da via.

A figura 7.12 apresenta as curvas *isolux* e cores falsas resultadas do cálculo luminotécnico da via, para a presente solução.

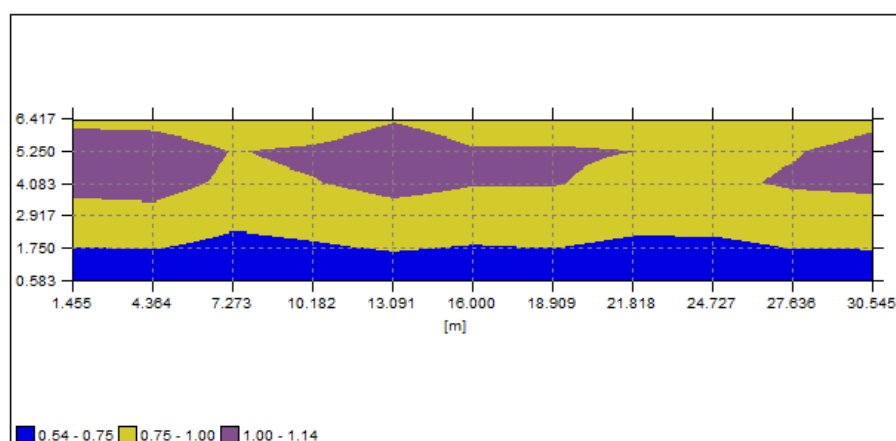


Figura 7.12: Curvas *isolux* e cores falsas para a solução com lâmpada HPS de 100 W.

Através da análise da figura 7.12, é possível perceber que a uniformidade global é boa, já que as cores falsas evidenciam uma boa uniformidade da via, levando a se obter valores de luminâncias não muito desfasados ao longo da via, de até $0,6 \text{ cd/m}^2$ de diferença entre a luminância mínima e máxima.

7.3.4 Proposta de estudo 2: Luminária de alta eficiência fotométrica de nova geração

Com o propósito de se averiguar se era possível utilizar uma lâmpada de HPS de potência inferior a 100 W, rentabilizando ainda mais a instalação de IP, foi estudada uma luminária de maior eficiência fotométrica de nova geração.

Foi escolhida a luminária de ultima geração Furyo, com estanquicidade do bloco óptico IP66 melhorada, de vidro auto-limpável, e com novos reflectores que apresentam um coeficiente de reflexão de 95%.

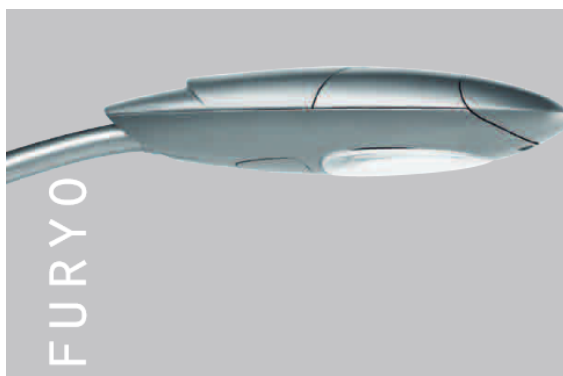


Figura 7.13: Luminária HID Furyo de alta eficiência fotométrica fabricada pela Schröder [29].

A gama de potência inferior, a uma lâmpada de 100 W de HPS, é de 70 W.

Para o melhor posicionamento da lâmpada dentro da luminária, de modo a se obter a máxima luminância média, apenas se obteve um valor de $0,64 \text{ cd/m}^2$, pelo que não foi possível determinar uma solução no cálculo luminotécnico, que se adequasse aos parâmetros requeridos pela classe da via.

Não obstante a estes resultados, realizou-se um estudo comparativo entre a performance luminosa das duas luminárias utilizadas, entre a Sapphire 2 e a Furyo, para a lâmpada de SON-T 100 W de HPS.

Recorrendo ao programa de cálculo luminotécnico, foram obtidos valores de luminância, para a luminária Furyo, entre os $0,49 \text{ cd/m}^2$ e os $1,22 \text{ cd/m}^2$, com uniformidades globais entre os 32,5% e os 86,5%, e para a Sapphire 2, valores entre os $0,65 \text{ cd/m}^2$ e os $1,01 \text{ cd/m}^2$, com uniformidades globais entre os 38,6% e os 77,2%.

A luminária de nova geração Furyo, teve um aumento de 20,7%, para o valor da maior luminância média, e um aumento de 12% da máxima uniformidade global, em comparação com a luminária Sapphire 2.

Comprovam-se assim, as vantagens luminotécnicas do uso de luminárias de alta eficiência de última geração, que, apesar do insucesso na tentativa de utilizar uma lâmpada de menor potência à lâmpada de 100 W, para fazer face às recomendações da classe ME4a, um aumento de pelo menos 20,7% na luminância média, pode, noutros casos, fazer a diferença, permitindo utilizar uma lâmpada de menor potência, rentabilizando-se assim, a instalação da IP, diminuindo-se os consumos energéticos.

7.3.5 Proposta de estudo 3: Luminária existente com lâmpada de MH

Foram analisadas, as características fotométricas da luminária existente Sapphire 2, utilizando uma lâmpada de iodetos metálicos, para este caso de estudo.

A lâmpada de nova geração de iodetos metálicos MASTER CosmoWhite, é tida como a lâmpada mais eficiente que emite luz branca do mercado.

Da gama de potências de 60 W e 140 W disponíveis para esta lâmpada, apenas para a potência de 140 W se conseguiu obter resultados que cumprissem os requisitos da classe ME4a.

A luminância média máxima da lâmpada de 60 W ficou-se nos $0,71 \text{ cd/m}^2$, $0,04 \text{ cd/m}^2$ aquém do valor recomendado para a classe da via.

As principais características da lâmpada de MH de 140 W MASTER CosmoWhite são [36]:

- Nome: MASTER CosmoWhite CPO-TW 140W/840 PGZ12 1CT.
- Potência: 140 W.
- Tempo de vida média: 15 000 horas.
- CRI: 80.
- Cor: 4355 K.
- Lúmen: 16 100 lm.

- Eficiência luminosa: 115 lm/W.
- S/P : 1,65.



Figura 7.14: Lâmpada de iodetos metálicos CPO-TW 140W [36].

Através do cálculo luminotécnico, foram obtidas 9 possíveis soluções, através do ajuste do posicionamento da lâmpada no interior da luminária.

Das 9 soluções, a luminância média variava entre os $0,96 \text{ cd/m}^2$ e os $1,43 \text{ cd/m}^2$.

Utilizou-se a solução que mais se aproxima dos $0,75 \text{ cd/m}^2$ recomendados para a classe ME4a, ou seja, a posição da lâmpada cuja fotometria cria uma luminância de $0,96 \text{ cd/m}^2$.

A tabela 7.8 apresenta os resultados luminotécnicos obtidos para a configuração mencionada.

Tabela 7.8: Resultados luminotécnicos obtidos para a lâmpada de 140 W de MH.

	Medidos		Recomendados
Luminância média (Lm)	$0,96 \text{ cd/m}^2$	✗	$0,75 \text{ cd/m}^2$
Uniformidade global (U_0)	83,6%	✓	40%
Uniformidade longitudinal (U_1):	91,4%	✓	60%
Aumento limiar (TI)	9,0%	✓	15%
Relação entorno (SR)	0,8	✓	0,5

Todos os parâmetros luminotécnicos estão dentro do recomendado excepto o da luminância média, que excede em $0,21 \text{ cd/m}^2$ o recomendado para a classe da via.

O sistema está sobredimensionado, sendo que a sua luminância média está próximo dos parâmetros da classe acima desta, a classe ME3, cuja luminância média recomendada é de 1 cd/m^2 .

A uniformidade global está 43,6% acima do valor recomendado, pelo que este parâmetro apresenta muito bons resultados.

Do mesmo modo, a uniformidade longitudinal apresenta um acréscimo de 31,4% face ao recomendado.

O aumento limiar não ultrapassa o limite de 15%, sendo mesmo menor ao recomendado, resultando numa hipótese de encandeamento mais reduzida. A relação entorno supera em 0,3 o recomendado, mas como é uma diferença mínima, não trás problemas de maior para garantir a segurança e conforto dos parâmetros a aplicar na via da instalação.

A figura 7.15 apresenta as curvas *isolux* e cores falsas resultadas do cálculo.

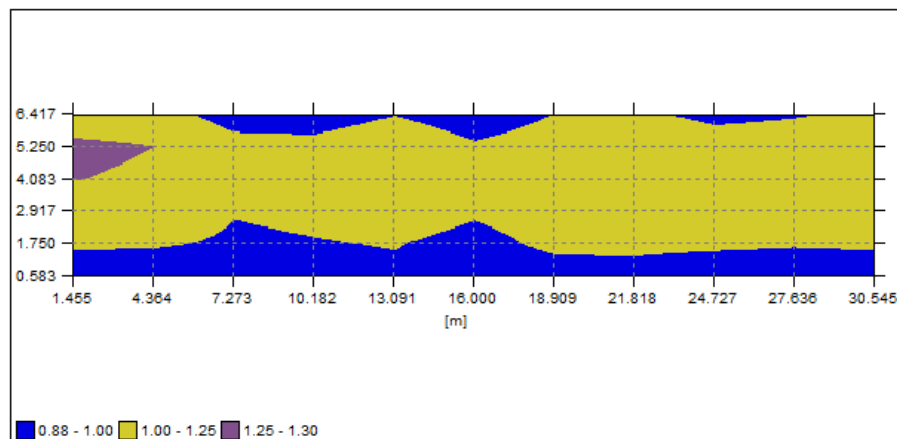


Figura 7.15: Curvas *isolux* e cores falsas para a solução com lâmpada MH de 140 W.

Da análise às curvas *isolux* e cores falsas obtidas pelo programa, indicadas na figura 7.15, é possível comprovar a excelente uniformidade, tanto global como longitudinal, pois apenas existem duas cores predominantes ao longo de toda a via.

Este é o caso de estudo que apresenta os melhores resultados de uniformidade global e longitudinal.

7.3.6 Áreas de conflito

As cinco rotundas incluídas na variante deste caso de estudo, pertencem à classe CE, utilizada para identificar áreas de conflito.

Apenas será efectuado o estudo de uma rotunda, utilizando a solução existente de HPS, e a solução proposta a LED.

A figura 7.16 mostra a rotunda onde se efectuou o estudo.

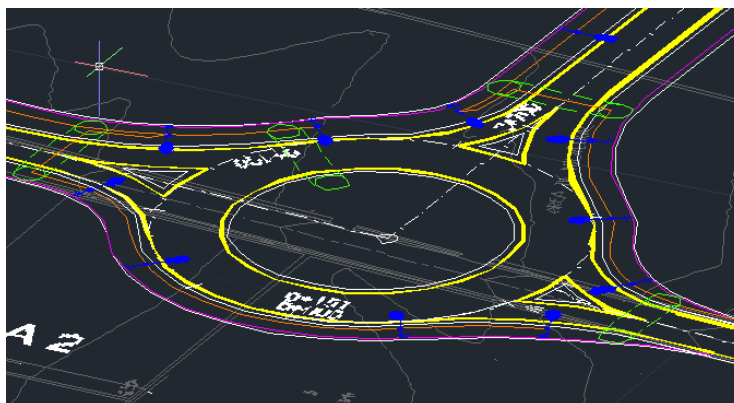


Figura 7.16: Área de conflito proposta onde se realizou o estudo.

A figura 7.17, mostra a vista 3D da área de cálculo da zona de conflito, e a disposição das luminárias no programa Ulysse.

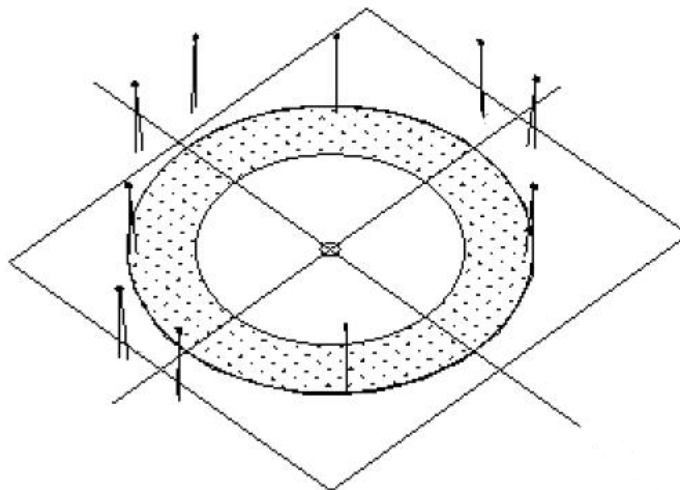


Figura 7.17: Vista 3D da área de calculo e disposição das luminárias no programa Ulysse.

Segundo a tabela 7.9, para a determinação da classe da área de conflito correspondente à classe da estrada adjacente, quando a iluminância é o critério utilizado seguindo a norma EN 13201:2003, a classe ME4a corresponde à área de conflito com a classe CE3 [30][50].

Tabela 7.9: Classe da área de conflito correspondente à classe da estrada adjacente, quando a iluminância é o critério utilizado [50].

Classe da estrada adjacente	Classe da área de conflito
ME1	CE0
ME2	CE1
ME3	CE2
ME4	CE3
ME5	CE4

Esta classe requer os seguintes parâmetros lumínicos:

- Iluminância média: 15 lux.
- Uniformidade global: 40

7.3.6.1 Solução existente: Luminárias com lâmpadas HPS de 250 W

Para o caso de estudo utilizando as luminárias existentes, Shappire 2 com lâmpada de 250 W SON-T, obteve-se o seguinte resultado:

- Iluminância média: 80 lux
- Uniformidade global: 38

Analisando os resultados, percebe-se que os parâmetros obtidos não estão coerentes com os valores luminotécnicos recomendados.

A iluminância média encontra-se bastante elevada, excedendo em 65 lux os valores recomendados para a classe CE3. Na realidade, esta iluminância ultrapassa até a classe CE0, cujo valor recomendado são 50 lux, encontrando-se o sistema sobredimensionado, permitindo um grande desperdício de energia consumida.

A uniformidade global está 2 pontos percentuais abaixo do recomendado.

A figura 7.18 ilustra as curvas *isolux* e cores falsas para a área de cálculo utilizada.

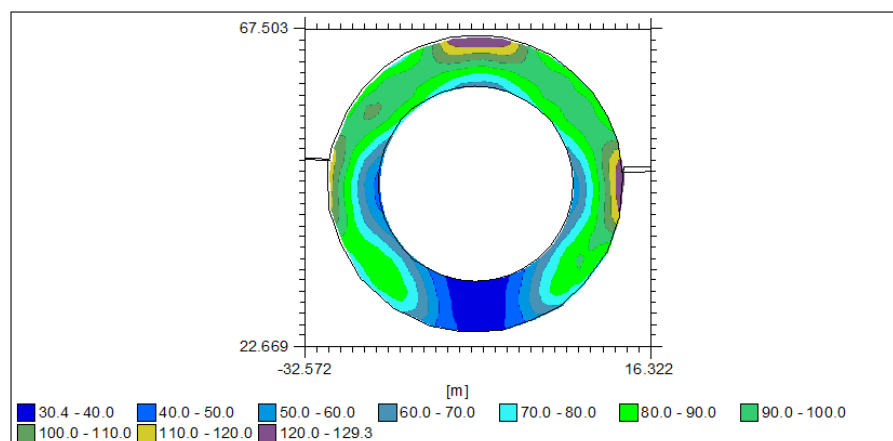


Figura 7.18: Curvas *isolux* e cores falsas para a área de cálculo da zona de conflito utilizando a solução existente.

Conclui-se que para esta disposição de luminárias, e potência das lâmpadas, esta solução não se adequa aos parâmetros solicitados pela classe CE3.

7.3.6.2 Solução proposta: Luminárias LED 73 W

Para o caso de estudo utilizando as luminárias LED Teceo 1, obteve-se o seguinte resultado:

- Iluminância média: 21,1 lux
- Uniformidade global: 40,8

Verifica-se que existe um pequeno excesso na iluminância média de apenas 5,1 lux ao que é recomendado, e que a uniformidade global está praticamente igual aos valores óptimos.

A solução a LED torna-se assim mais adequada aos requisitos para esta área de conflito, existindo um menor desperdício de energia, ao contrário das luminárias originais de HPS.

A figura 7.19 ilustra as curvas *isolux* e cores falsas para a área de cálculo utilizada.

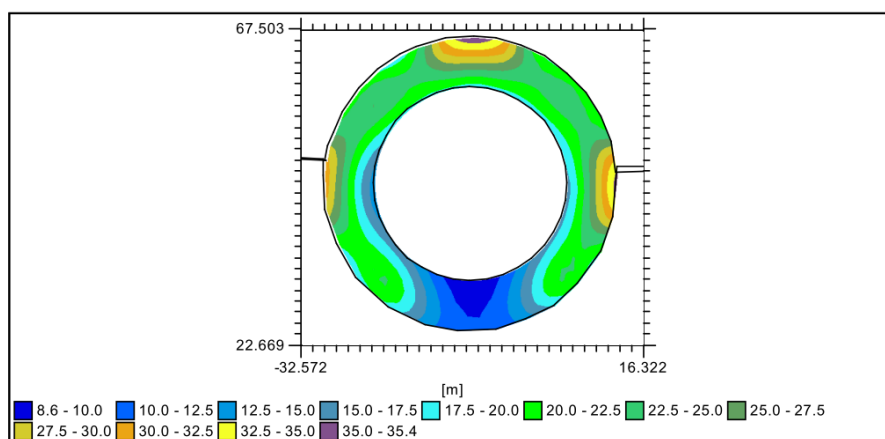


Figura 7.19: Curvas *isolux* e cores falsas para a área de cálculo da zona de conflito utilizando a solução a LED.

7.3.7 Considerações da visão mesópica

Como já referido no capítulo anterior, as normas para o cálculo luminotécnico encontram-se na visão fotópica, não havendo ajuste para a visão onde se situa a IP, que é a visão mesópica.

Foi realizado o ajuste do cálculo luminotécnico dos casos de estudo apresentados para a visão mesópica, utilizando o modelo MOVE (Mesopic Optimisation of Visual Efficiency) integrado no relatório CIE TC1-58 [30][71].

Feito o estudo luminotécnico, as luminâncias médias para a visão fotópica (LP) para os várias casos de estudo foram:

- $L_{PSON-T250W} = 2,94 \text{ cd/m}^2$
- $L_{PLED73W} = 0,78 \text{ cd/m}^2$
- $L_{PSON-T100W} = 0,78 \text{ cd/m}^2$
- $L_{PCPO-TW140W} = 0,96 \text{ cd/m}^2$

A indicação do fabricante ou das tabelas pré-definidas para os rácios entre a visão escotópica e fotópica (S/P) são:

- $S/P_{SON-T250W} = 0,6$
- $S/P_{LED73W} = 2,04$
- $S/P_{SON-T100W} = 0,6$
- $S/P_{CPO-TW140W} = 1,65$

Com o rácio S/P, obtiveram-se os seguintes valores para as luminâncias médias para a visão escotópica (L_S):

- $L_{SSON-T250W} = 1,764 \text{ cd/m}^2$
- $L_{SLED73W} = 1,59 \text{ cd/m}^2$
- $L_{SSON-T100W} = 0,468 \text{ cd/m}^2$
- $L_{SCPO-TW140W} = 1,58 \text{ cd/m}^2$

Introduzindo estes valores, para cada tipo de lâmpada, na zona do “Input” na folha de cálculo do MOVE, obtiveram-se os valores da luminância mesópica ($L_{mesopica}$) correspondentes, apresentados na tabela 7.10.

Tabela 7.10: Cálculo de ajuste com o modelo MOVE para a lâmpada SON-T 250 W [71].

Input	
Photopic luminance	2,94
Scotopic luminance	1,764
S/P-ratio	0,600
Output	
Mesopic luminance	2,9009
Factor m	0,9212

Após o ajuste, obtiveram-se as seguintes luminâncias médias para a visão mesópica:

- $L_{mesopicaSON-T250W} = 2,9 \text{ cd/m}^2$.
- $L_{mesopicaLED73W} = 0,88 \text{ cd/m}^2$.
- $L_{mesopicaSON-T100W} = 0,74 \text{ cd/m}^2$.
- $L_{mesopicaCPO-TW140W} = 1,03 \text{ cd/m}^2$.

Conclui-se que para as lâmpadas de vapor de sódio de 250 W e 100 W, houve uma redução de cerca de 1,3% e 5% respectivamente nos seus valores de luminância, enquanto que para as de iodetos metálicos e LED, com um S/P superior à unidade, tiveram o seu valor aumentado em cerca de 7,2% e 12,8% respectivamente.

Verifica-se que, com a nova luminância mesópica, a lâmpada de SON-T de 100 W já não apresenta os parâmetros óptimos para a classe ME4a da via, podendo ainda assim ser utilizada, porque respeita a tolerância inferior de 5%.

Como a luminância mesópica da luminária LED de 73 W aumentou 12,8%, foi realizado um novo estudo luminotécnico, para se determinar, para a mesma luminária, se podia ser utilizado um valor de potência inferior, para a sua luminância mesópica estar em conformidade com os parâmetros da classe ME4a.

Verificou-se que, para a mesma luminária, mas com uma potência de 53 W utilizando 48 LED, a sua luminância fotópica era:

- $L_{PLED53W} = 0,69 \text{ cd/m}^2$.

Com um rácio S/P de:

- $S/P_{LED53W} = 2,04$.

Resultou numa luminância mesópica de:

- $L_{mesopicaLED53W} = 0,78 \text{ cd/m}^2$.

Tabela 7.11: Determinação da luminância mesópica para uma potência LED inferior.

Input	
Photopic luminance	0,69
Scotopic luminance	1,4076
S/P-ratio	2,040
Output	
Mesopic luminance	0,7823
Factor m	0,7314

Deste modo, a nova luminância mesópica está de acordo com a luminância a respeitar da classe ME4a, possibilitando uma maior economia de consumo com a redução da potência instalada por luminária em 20 W. O mesmo aconteceu para a lâmpada de iodetos metálicos de 60 W CPO-TW, para a qual não se conseguiu obter um valor de luminância média que se ajustasse à classe ME4a.

A luminância média fotópica obtida com o programa foi de:

- $L_{PCPO-TW60W} = 0,71 \text{ cd/m}^2$.

Com o mesmo rácio S/P da lâmpada de MH de 140 W de:

- $S/P_{CPO-TW60W} = 1,65$.

Sendo a sua luminância média escotópica igual a:

- $L_{SCPO-TW60W} = 1,17 \text{ cd/m}^2$.

Levando a um resultado de luminância média mesópica obtida pelo modelo MOVE de:

- $L_{mesopicaCPO-TW60W} = 0,77 \text{ cd/m}^2$.

O aumento de 8,4% na luminância mesópica face à luminância fotópica leva a que já se pudesse considerar esta lâmpada para os requisitos da via, levando a um aumento da eficiência energética, pois a potência instalada seria menor, não comprometendo os níveis de segurança e conforto da IP.

Com a consideração da visão mesópica, comprovou-se que podem ser utilizadas luminâncias inferiores para fontes de luz de espectro electromagnético alargado.

7.4 Análise económica

Os estudos económicos de racionalização energética podem, em geral, reduzir-se conceptualmente ao seguinte modelo: fazer investimentos (capital usado de forma pontual) e obter ganhos na forma de poupanças (ganhos distribuídos ao longo do tempo).

As poupanças energéticas vêm reflectidas na factura de energia e são processos contínuos. Por uma questão de simplicidade, é habitual exprimir-se os seus valores em resultados anuais, o que permite organizar diagramas de fluxos de caixa para os vários factores.

Com estes dados, é possível aplicar vários métodos para a avaliação económica da viabilidade dos investimentos em racionalização energética, tais como:

- Valor Actual Líquido (VAL).
- Taxa interna de rentabilidade (TIR).
- Período de recuperação do investimento (PRI).
- Diagramas de fluxo financeiro.

7.4.1 Valor actual líquido (VAL)

O VAL transporta todos os fluxos de caixa anuais para uma data presente.

Para o cálculo do VAL entram todos os investimentos, todas as rendas componentes de exploração (seja pagas ou recebidas) e ainda a componente de desinvestimento (os valores residuais).

A expressão geral será,

$$VAL = \sum_{k=0}^n \frac{FC_k}{(1+i)^k}, \quad (7.1)$$

em que FC_k é o fluxo de caixa no instante k , n é a vida útil do projecto e i a taxa de juro equivalente à remuneração do capital obtida.

Esta taxa de juro i pode ser interpretada como a exigência de remuneração do capital por parte do investidor, ou seja, é o custo de oportunidade. Isto é, só investirá num determinado projecto se

a remuneração do capital for superior a i ou, dito de outra forma, se o projecto gerar remunerações do investimento que superem uma remuneração traduzida por uma taxa i .

Nos investimentos do Estado, pode usar-se como indicador o valor da taxa de actualização definida pelo Banco de Portugal.

Na falta de uma indicação do investidor, pode adoptar-se como custo de oportunidade uma taxa de 10%. No instante $k = 0$, por exemplo, FC_0 corresponde ao investimento inicial e deve ser considerado com sinal negativo, assim como todas as componentes de custo FC durante o período de vida, enquanto que as componentes de benefício devem ter sinal positivo.

Como todos os fluxos são considerados, o VAL pode ter valor negativo, positivo ou nulo. Se o valor for positivo ($VAL > 0$) o projecto será economicamente viável, porque permite cobrir o investimento, gerar a remuneração exigida pelo investidor (o custo de oportunidade) e ainda excedentes financeiros.

O caso em que $VAL = 0$ é um caso limite, em que o investidor ainda recebe a remuneração exigida. Quando $VAL < 0$, o projecto é economicamente inviável [85].

7.4.2 Taxa interna de rentabilidade (TIR)

A TIR, calcula uma taxa de juro equivalente à remuneração do capital obtida. Não é mais do que a taxa de rentabilidade que, no final dos n anos, iguala o VAL a zero.

Para se obter a TIR, é necessário resolver a equação 7.2, em ordem a i ,

$$0 = \sum_{k=0}^n \frac{-Investimento_k}{(1+i)^k} + \sum_{k=0}^n \frac{FC_k}{(1+i)^k} + \sum_{k=0}^n \frac{ValorResidual}{(1+i)^n}. \quad (7.2)$$

Para um projecto 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.

A distância entre a TIR e o custo de oportunidade é um indicador da robustez da solução face ao risco, isto é, de alguma segurança face à incerteza nos seus factores.

Um projecto é tanto mais interessante e viável, quanto mais elevada for a TIR [85].

7.4.3 Período de recuperação do investimento (PRI)

O PRI calcula o número de anos necessários para que o capital inicial seja recuperado a partir dos fluxos financeiros líquidos gerados. Dito de outra forma, indica quantos anos demora o projecto a pagar-se e a começar a dar lucro para além da remuneração do custo de oportunidade. Um processo exacto de calcular este número será reduzir os fluxos de caixa a uma renda equivalente e, depois, verificar qual o n que conduz a que, à taxa do custo de oportunidade, a renda equilibre o investimento.

Como critério de risco, são, em princípio, mais atraentes os projectos que recuperam o capital mais rapidamente.

O índice PRI deve ser usado fundamentalmente como índice de risco, e não como comparador de projectos, principalmente quando as alternativas têm tempos de vida diferentes. Pode ocorrer que um projecto com melhor TIR (ou seja, melhor remuneração de capital) que a de outro ainda assim tenha um PRI maior, por causa das durações diferentes.

Se as alternativas têm o mesmo tempo de vida, o uso dos três critérios, VAL, TIR e PRI, conduz às mesmas conclusões [85].

7.4.4 Diagrama de fluxo financeiro

Um diagrama de fluxo financeiro tem por objectivo simbolizar graficamente os movimentos de capital, positivos e negativos.

Num diagrama destes, a linha horizontal corresponde a uma escala de tempo da esquerda para a direita e as setas verticais, orientadas para baixo, correspondem a desembolso enquanto que, para cima, correspondem a encaixe ou recebimento [85].

7.4.5 Considerações iniciais

Para o estudo económico, indo de encontro à metodologia seguida pela Schröder, considerou-se um preço de energia de acordo com o tarifário de 2014, da EDP Comercial BTN para a tarifa tri-horária, com uma potência contractada de 27,6 kVA.

No entanto, não foram considerados os custos relativos à potência contratada.

Considerou-se um regime de funcionamento de 11 horas por dia, durante 25 anos para as 191 luminárias, equivalendo a um funcionamento anual de 4015 horas.

Foi escolhida uma duração do projecto de 25 anos, pois é o prazo de fim de vida da luminária LED Teceo 1, como indicado pelo fabricante.

Os preços das luminárias, lâmpadas e custo de manutenção foram indicados pela Schröder. Todos os preços indicados encontram-se sem IVA.

O cálculo da energia consumida por ano é realizado do seguinte modo,

$$E_{consumida} = P_{luminaria} \times t_{funcionamento} \times n_{luminarias}, \quad (7.3)$$

onde $E_{consumida}$ é a energia consumida por ano em kWh, $P_{luminaria}$ é a potência total da luminária, incluindo a potencia da lâmpada mais perdas na aparelhagem auxiliar, $t_{funcionamento}$ é o tempo de funcionamento anual de 4015 horas, e $n_{luminarias}$ o número total das luminárias, equivalente a 191 luminárias.

As acções de manutenção, são apenas para a substituição de lâmpadas ou luminárias no fim do seu tempo de vida médio.

O seu custo foi calculado através do produto das 191 luminárias, pelos custos de manutenção mais custos das lâmpadas ou luminárias substituídas.

Para calcular o período de tempo até à próxima acção de manutenção, dividiu-se o tempo de vida médio das lâmpadas ou luminárias LED, pelas horas anuais de funcionamento do sistema (4015 horas), ou seja, $Periodo\ de\ manutencao_{anos} = Tempo\ de\ vida\ medio\ lampada / 4015\ horas$.

Como o investimento em IP, é um investimento do Estado, usou-se o valor da taxa de actualização definida pelo Banco de Portugal.

Com a actual crise financeira, esta taxa tem apresentado grandes flutuações por curtos períodos de tempo, pelo que se fez a média das taxas de actualização de 2011 até à data. A taxa de actualização obtida foi de 0,993%, pelo que se utilizará a taxa arredondada de 1% [86].

Não se inclui nesta análise, a proposta de estudo 2, utilizando luminárias de alta eficiência fotométrica de nova geração, porque a potência consumida é a mesma da proposta de estudo 1, para a luminária existente com lâmpada HPS redimensionada.

De seguida, apresentam-se os resultados dos indicadores económicos apresentados para cada caso de estudo.

7.4.6 Solução existente: Luminárias com lâmpadas HPS de 250 W

A solução existente consiste em 191 luminárias Sapphire 2, com lâmpada de vapor de sódio de alta pressão de 250 W. As perdas na luminária são de 20 W.

Para esta análise económica considerou-se o seguinte:

- Potência da lâmpada: 250 W.
- Potência da luminária mais lâmpada: 270 W.
- Custo luminária: 316,47 €.
- Custo lâmpada: 12,5 €.
- Duração média de vida da lâmpada: 30 000 horas.
- Número de anos até próxima manutenção: 7,47 anos.
- Custo substituição da lâmpada: 40 €.
- Regime de funcionamento: 100% da potência instalada.

Calcularam-se três acções de manutenção, com vista à substituição das lâmpadas no seu fim de vida médio, de acordo com a indicação do fabricante.

Após o cálculo dos indicadores económicos, apresentam-se os resultados na tabela 7.12.

Tabela 7.12: Indicadores económicos para a solução existente.

Investimento (€)	Energia consumida por ano (kWh)	Custo energia por ano (€)	Custos manutenção (€)
62.833,27 €	207 053,55 kWh	24.178,21 €	70.192,50 €

A figura 7.20, mostra a evolução dos custos de investimento (a cor azul), custos com energia consumida (a cor verde), e custos de manutenção (a cor vermelha), por ano, ao longo do tempo de vida do projecto.

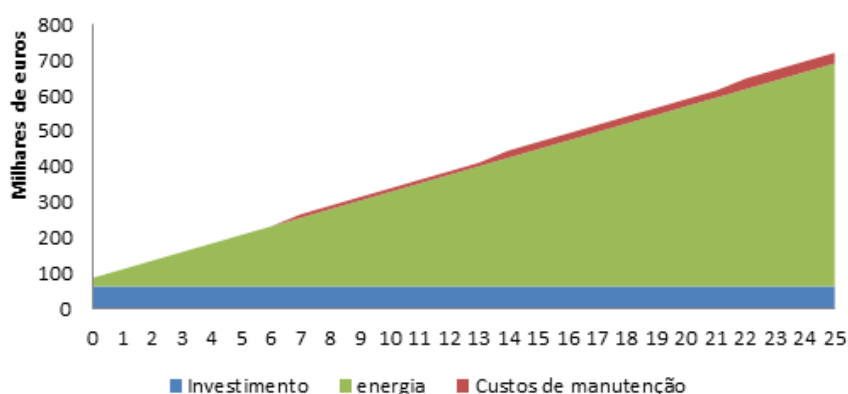


Figura 7.20: Evolução de custos, por ano, para solução existente.

Os custos com o consumo de energia representam uma elevada percentagem dos custos totais, enquanto que os custos com a manutenção e investimento são menores, para o fim de vida do projecto.

7.4.7 Solução proposta: Luminárias LED 73 W

7.4.7.1 Sem sistema de telegestão

Para este caso de estudo, efectuou-se a actualização da rede de IP, substituindo-se as 191 luminárias existentes, por luminárias LED Teceo 1 de 73 W cada.

Para esta análise considerou-se:

- Potência da luminária: 73 W.
- Custo da luminária: 400 €.
- Duração média de vida da lâmpada: 100 000 horas.
- Número de anos até próxima manutenção: 24,9 anos.
- Substituição completa da luminária após fim de vida.
- Custo da luminária substituída: 400 €.
- Custo substituição da luminária: 40 €.
- Regime de funcionamento: 100

Considerou-se uma acção de manutenção, com vista à substituição das lâmpadas no seu fim de vida médio, de acordo com a indicação do fabricante.

A figura 7.21, apresenta um excerto do fluxo de caixa para o tempo de vida do projecto.

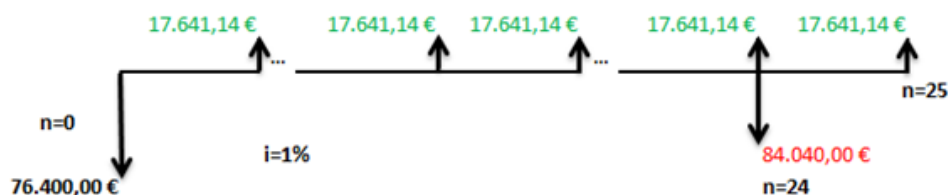


Figura 7.21: Excerto do fluxo de caixa para solução LED sem telegestão.

O investimento inicial de 76 400 euros está representado a negrito no ano zero, e os custos com a manutenção das 191 luminárias, no 24º ano, estão representados a vermelho, indicando um custo total de 84 040 euros.

A economia de energia obtida pelas luminárias LED, representa um encaixe de 17 641,14 euros ao ano, exemplificado pelas setas para cima.

Os resultados após o cálculo dos indicadores económicos, apresentam-se na tabela 7.13.

Tabela 7.13: Cálculo dos indicadores económicos para luminárias LED sem telegestão.

Investimento (€)	76 400,00 €
Energia consumida por ano (kWh)	55 981,15 kWh
Custo energia por ano (€)	6 537,07 €
Custos de manutenção (€)	84 040,00 €
VAL	245 926,44 €
TIR	21,56%
PRI	5,39 anos
Poupança económica anual (€)	17 641,14 €
Poupança Energética anual (%)	72,96 %

A figura 7.22, mostra a evolução dos custos de investimento (a cor azul), custos com energia consumida (a cor verde), e custos de manutenção (a cor vermelha), por ano, ao longo do tempo de vida do projecto.

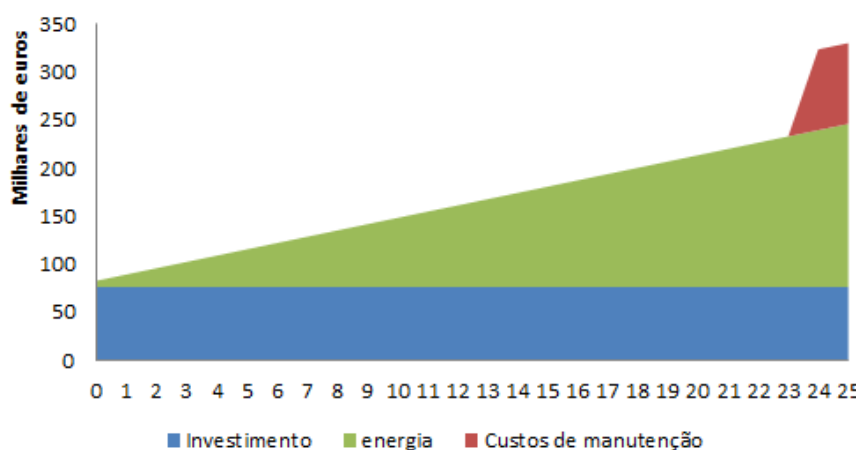


Figura 7.22: Evolução de custos, por ano, para solução LED sem telegestão.

Os custos com o consumo de energia representam cerca de um terço dos custos totais, e os custos com a manutenção são semelhantes aos custos de investimento. Como os custos de manutenção das luminárias LED ainda estão pouco quantificados, utilizou-se o mesmo preço do investimento, por luminária substituída, mais a mão-de-obra.

7.4.7.2 Alternativa com sistema de telegestão

Foi proposto pela Schröder a implementação de um sistema de telegestão centralizado, para se obter o controlo total sobre a instalação.

Para tal, cada luminária precisa de estar equipada com o controlador Owlet LuCo NX, e um único controlador de segmento para Owlet SeCo, para toda a rede de IP.

Para esta análise considerou-se:

- Potência da luminária: 73 W.
- Custo luminária: 400 €.
- Custo Owlet LuCo: 120 €.
- Custo Owlet SeCo: 1372 €.
- Duração média de vida da lâmpada: 100 000 horas.
- Número de anos até próxima manutenção: 24,9 anos.
- Substituição completa da luminária após fim de vida.
- Custo da luminária substituída: 400 €.
- Custo substituição da luminária: 40 €.

Com o sistema de telegestão, é possível obter cenários de regulação do fluxo luminoso. O regime de funcionamento proposto para o estudo foi:

- Regime de funcionamento a 100%, das 19h até 22h, e das 5h até às 6h.
- Regime de funcionamento a 75%, das 22h até às 24h.
- Regime de funcionamento a 50%, das 24h até às 5h.

Operando na mesma num total de 11 horas por dia durante 25 anos.

Não foi tido em conta o prolongamento do tempo de vida média em resultado da regulação de fluxo, o que na prática traria uma mais-valia ao sistema de telegestão, atrasando as acções de manutenção. Considerou-se uma acção de manutenção, com vista à substituição das lâmpadas no seu fim de vida médio, de acordo com a indicação do fabricante.

A figura 7.23, apresenta um excerto do fluxo de caixa para o tempo de vida do projecto.

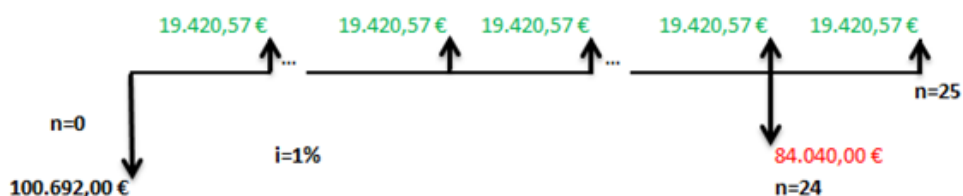


Figura 7.23: Excerto do fluxo de caixa para solução LED com telegestão.

O investimento inicial de 100 692 euros está representado a negrito no ano zero, e os custos com a manutenção das 191 luminárias, no 24º ano, estão representados a vermelho, indicando um custo total de 84 040 euros.

A economia de energia obtida pelas luminárias LED, representa um encaixe de 19 420,57 euros ao ano, exemplificado pelas setas para cima.

Após o cálculo dos indicadores económicos, apresentam-se os resultados na tabela 7.14.

Tabela 7.14: Cálculo dos indicadores económicos para luminárias LED com telegestão.

Investimento (€)	100 692,00 €
Energia consumida por ano (kWh)	40 713,56 kWh
Custo energia por ano (€)	4 757,63 €
Custos de manutenção (€)	84 040,00 €
VAL	260 823,26 €
TIR	17,6 %
PRI	6,36 anos
Poupança económica anual (€)	19 420,57 €
Poupança Energética anual (%)	80,32 %

A figura 7.24, mostra a evolução dos custos de investimento (a cor azul), custos com energia consumida (a cor verde), e custos de manutenção (a cor vermelha), por ano, ao longo do tempo de vida do projecto.

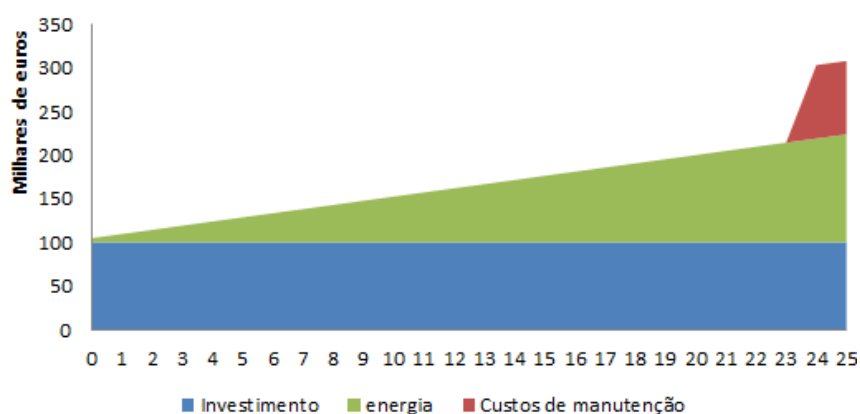


Figura 7.24: Evolução de custos, por ano, para solução LED com telegestão.

A evolução dos custos é idêntica à solução LED sem telegestão.

Os custos com o consumo de energia representam um terço dos custos totais, e os custos com a manutenção são semelhantes aos custos de investimento.

7.4.8 Proposta de estudo 1: Luminária existente com lâmpada HPS redimensionada

Para a análise económica do redimensionamento das 191 luminárias Sapphire 2 para a utilização de lâmpadas de 100 W, considerou-se o seguinte:

- Potência da lâmpada: 100 W.
- Potência da luminária mais lâmpada: 116 W.
- Custo luminária: 316,47 €.
- Custo lâmpada: 12,5 €.
- Duração média de vida da lâmpada: 28 000 horas.
- Número de anos até próxima manutenção: 6,97 anos.
- Custo substituição lâmpada: 40 €.
- Regime de funcionamento a 100%.

Consideraram-se três acções de manutenção, com vista à substituição das lâmpadas no seu fim de vida médio, de acordo com a indicação do fabricante.

A figura 7.25, apresenta um excerto do fluxo de caixa para o tempo de vida do projecto.



Figura 7.25: Excerto do fluxo de caixa para as luminárias existentes com lâmpada HPS redimensionada.

O investimento inicial de 48 562,51 euros está representado a negrito no ano zero, e os custos com a manutenção das 191 luminárias, no 6º ano e 13º ano, estão representados a vermelho, indicando um custo total de 9 581,32 euros.

A economia de energia obtida pela lâmpada de 100 W representa um encaixe de 11 999,55 euros ao ano, exemplificado pelas setas para cima.

Na tabela 7.15, apresentam-se os resultados após o cálculo dos indicadores económicos.

Tabela 7.15: Cálculo dos indicadores económicos para as luminárias existentes com lâmpada HPS redimensionada.

Investimento (€)	48 562,51 €
Energia consumida por ano (kWh)	88 956,34 kWh
Custo energia por ano (€)	10 387,67 €
Custos de manutenção (€)	9 581,32 €
VAL	229 772,91 €
TIR	25,49%
PRI	3,94 anos
Poupança económica anual (€)	11 999,55 €
Poupança Energética anual (%)	57,04%

A figura 7.26, mostra a evolução dos custos de investimento (a cor azul), custos com energia consumida (a cor verde), e custos de manutenção (a cor vermelha), por ano, ao longo do tempo de vida do projecto.

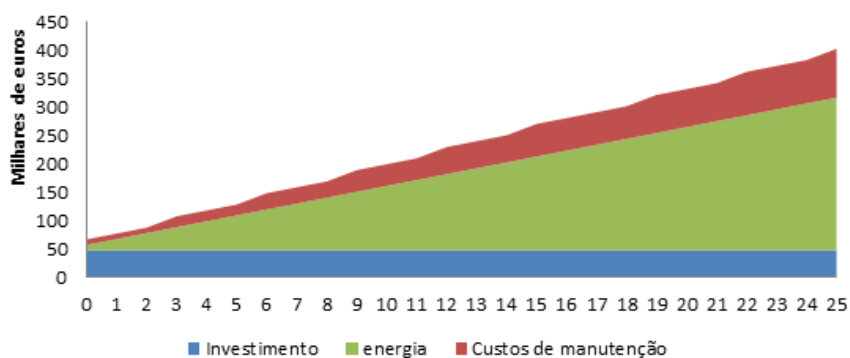


Figura 7.26: Evolução de custos, por ano, para as luminárias existentes com lâmpada HPS redimensionada.

Os custos com a energia representam uma maior fatia comparando com a tecnologia LED.

No fim de vida, os custos com a manutenção, são um pouco maiores equiparados aos custos do investimento.

7.4.9 Proposta de estudo 3: Luminária existente com lâmpada de MH

Para a análise da actualização das 191 luminárias de HPS para tecnologia de MH, considerou-se:

- Potência da lâmpada: 140 W .
- Potência da luminária mais lâmpada: 153 W .
- Custo luminária: 316,47 €.
- Custo lâmpada: 12,5 €.
- Duração média de vida da lâmpada: 15 000 horas .
- Número de anos até próxima manutenção: 3,74 anos .
- Custo substituição lâmpada: 40 €.
- Regime de funcionamento a 100%.

Consideraram-se seis acções de manutenção, com vista à substituição das lâmpadas no seu fim de vida médio, de acordo com a indicação do fabricante.

A figura 7.27, apresenta um excerto do fluxo de caixa para o tempo de vida do projecto.



Figura 7.27: Excerto do fluxo de caixa para as luminárias existentes com lâmpada de MH.

O investimento inicial de 50 739,15 euros está representado a negrito no ano zero, e os custos com a manutenção das 191 luminárias, no 6º ano e 22º ano, estão representados a vermelho, indicando um custo total de 16 464,20 euros.

A economia de energia obtida pela lâmpada de 140 W de MH representa um encaixe 10 477,22 euros ao ano, exemplificado pelas setas para cima.

Na tabela 7.16, apresentam-se os resultados após o cálculo dos indicadores económicos.

Tabela 7.16: Cálculo dos indicadores económicos para as luminárias existentes com lâmpada de MH.

Investimento (€)	50 739,15 €
Energia consumida por ano (kWh)	117 330,35 kWh
Custo energia por ano (€)	13 700,98 €
Custos de manutenção (€)	16 464,2 €
VAL	92 593,79 €
TIR	11 %
PRI	8,16 anos
Poupança económica anual (€)	10 477,22 €
Poupança Energética anual (%)	43,33 %

A figura 7.28, mostra a evolução dos custos de investimento (a cor azul), custos com energia consumida (a cor verde), e custos de manutenção (a cor vermelha), por ano, ao longo do tempo de vida do projecto.

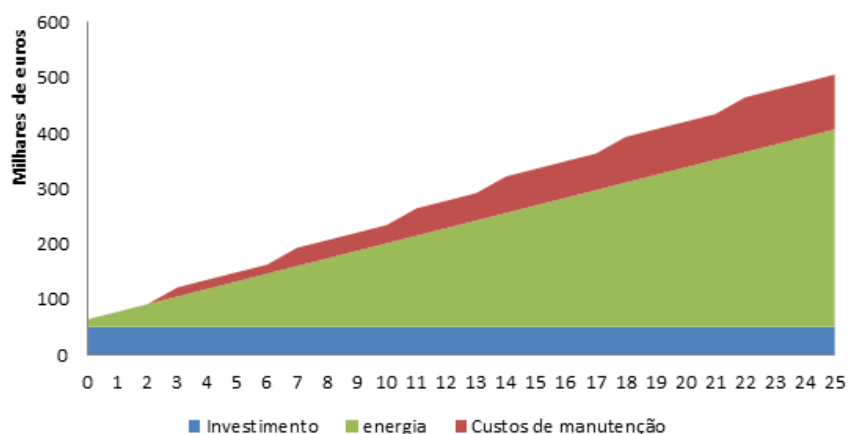


Figura 7.28: Evolução de custos, por ano, para as luminárias existentes com lâmpada de MH.

Como a lâmpada de 140 W é a de maior potência no estudo para a optimização da solução existente, os gastos com a energia serão os maiores, representando uma parte maioritária da evolução dos custos.

Os custos com a manutenção também são os mais elevados face à menor duração da vida média da lâmpada utilizada, sendo maiores que os custos de investimento.

7.4.10 Análise comparativa

Foi realizada uma análise comparativa aos principais parâmetros económicos obtidos nos estudos efectuados.

Comparou-se, para as diferentes propostas, os custos com o investimento inicial, energia consumida por ano, custos de manutenção, valores do VAL, TIR e PRI, e a poupança energética conseguida.

7.4.10.1 Investimento inicial

A figura 7.29, apresenta os custos de investimento inicial.

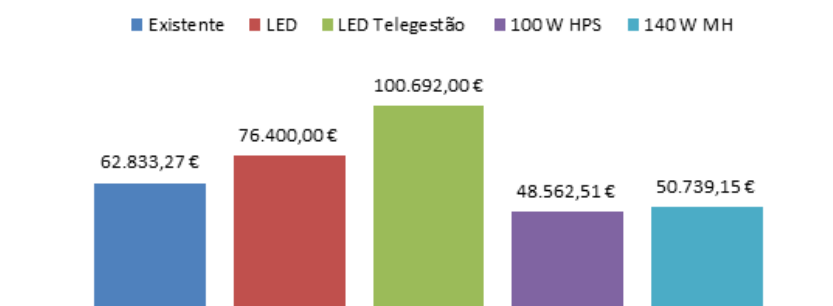


Figura 7.29: Custos com investimento inicial.

Verifica-se que as soluções a LED são as mais caras, sendo as mais baratas, com custos equiparados, as propostas para as lâmpadas de 100 W de HPS e 140 W de MH.

7.4.10.2 Energia consumida por ano

A figura 7.30, apresenta a energia consumida por ano.

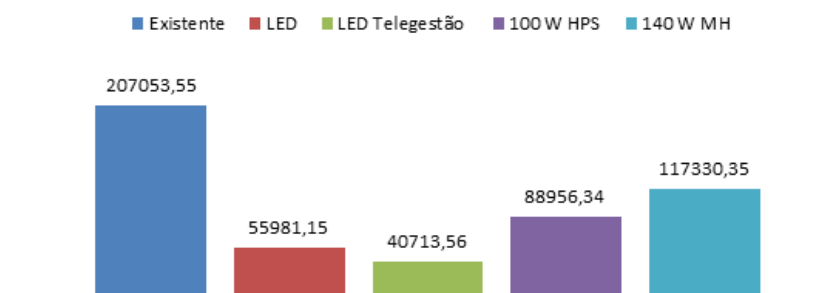


Figura 7.30: Energia consumida por ano, em kWh, para todos os casos de estudo.

A solução existente, apresenta o maior consumo de energia, devido ao seu sobredimensionamento, sendo quase o dobro do segundo pior consumo, representado pelas lâmpadas de MH de 140 W.

Os menores consumos vão para as luminárias a LED, em particular, utilizando o sistema de telegestão. O uso do sistema de telegestão, permitiu uma poupança extra de 7,36% de energia.

7.4.10.3 Custos de manutenção

Neste indicador económico, foram apenas tidos em conta os custos para uma acção de manutenção, como mostra a figura 7.31.

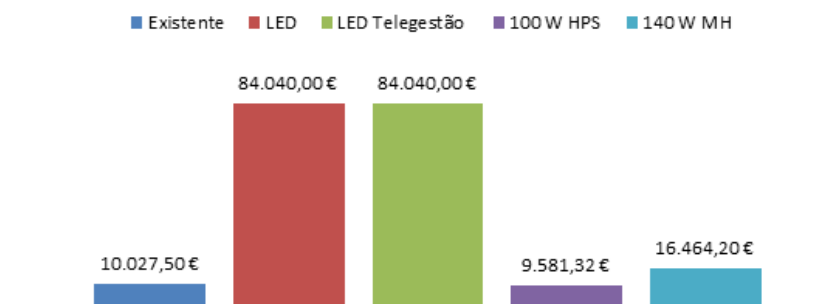


Figura 7.31: Custos de manutenção para todos os casos de estudo.

Os menores custos de manutenção são para a tecnologia de HPS.

Esta tecnologia, já bastante amadurecida, possui lâmpadas de baixo custo, pelo que o custo de substituição de lâmpadas em fim de vida, seja reduzido.

O mesmo não se pode dizer para a tecnologia LED, com custos de manutenção ainda muito elevados. Apesar das luminárias LED terem um tempo de vida médio bastante elevado, a totalidade dos custos das acções de manutenção para as outras lâmpadas deste estudo, revelou-se ser de menores custos, excepto para a lâmpada de MH de 140 W.

No caso de estudo da tecnologia LED utilizando um sistema de telegestão, não se considerou o prolongamento de vida das luminárias.

7.4.10.4 VAL, TIR e PRI

Os próximos parâmetros são bastante importantes, como já referido, para a determinação da viabilidade de um projecto.

A figura 7.32, indica o VAL obtido para todos os casos de estudo.

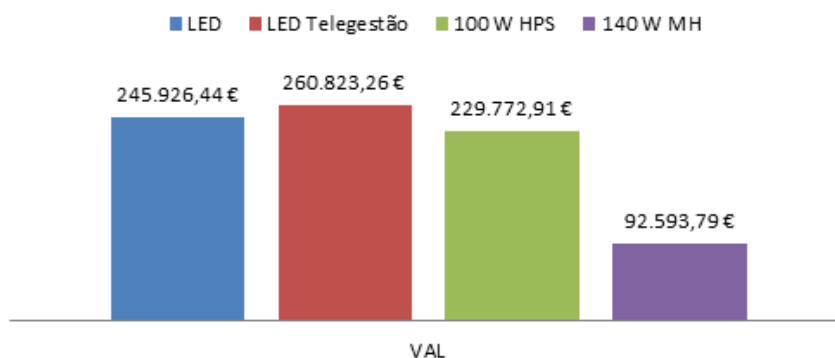


Figura 7.32: VAL de todos os casos de estudo.

O projecto que trouxe maior retorno de investimento, foi o da proposta utilizando as luminárias LED, com o sistema de telegestão Owlet.

Depois foi o sistema LED sem telegestão, seguido pelo redimensionamento para a lâmpada de 100 W.

As luminárias com lâmpada de MH de 140 W, foram as que obtiveram piores retornos de investimento, face ao elevado custo das suas lâmpadas, e periodicidade das acções de manutenção.

A figura 7.33, apresenta os resultados obtidos pela TIR.

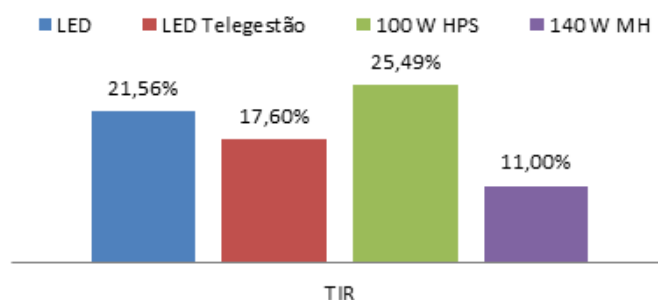


Figura 7.33: TIR de todos os casos de estudo.

Todos os projectos obtiveram uma TIR bem maior que a taxa de actualização, no mínimo superior a 1%, indicando que todos os projectos são economicamente viáveis e interessantes.

A figura 7.34, apresenta os resultados obtidos do PRI.

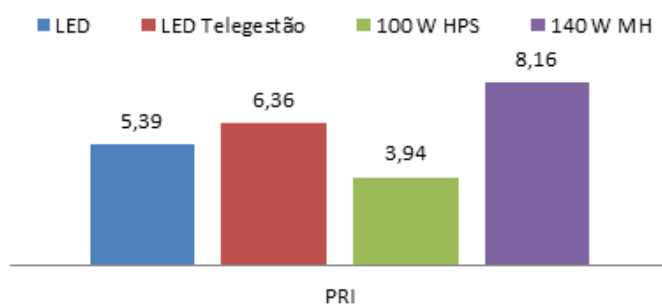


Figura 7.34: PRI de todos os casos de estudo, em anos.

Os períodos de recuperação de investimento (PRI), indicam que o menor tempo que um projecto demora a pagar-se, até se começar a obter lucro, é para a solução onde se redimensionam as luminárias para 100 W de HPS.

Em contrapartida, o maior tempo de retorno de investimento, vai para o caso de estudo onde se faz a substituição para lâmpadas de MH de 140 W.

O sistema a LED com telegestão, apresenta uma diferença de apenas 0,97 anos, dando a hipótese ao concessionário da rede de IP de optar por este sistema de forma segura e confiante, face às vantagens que apresentam.

7.4.10.5 Poupança Energética

A figura 7.35, faz um resumo da poupança energética obtida pelas soluções apresentadas.

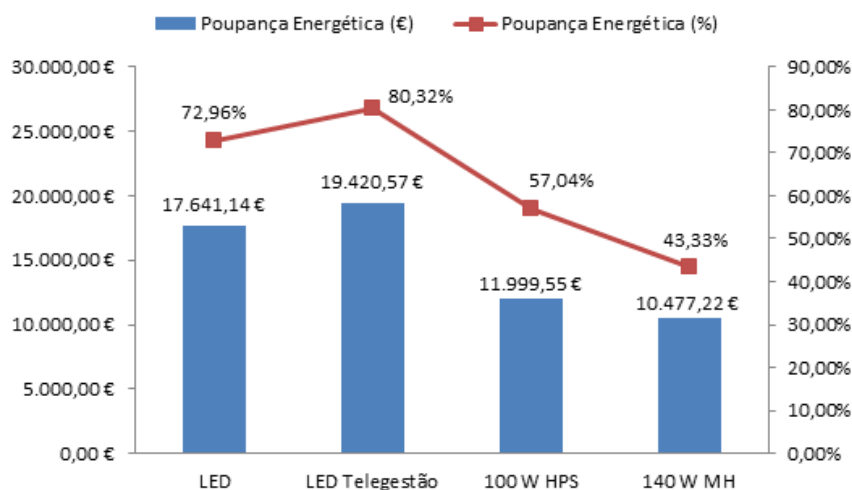


Figura 7.35: Poupança energética obtida para os casos de estudo.

Com uma poupança energética de 80,32%, face à solução existente, o sistema LED utilizando telegestão, foi o caso de estudo que permite maiores economias no consumo energético.

As luminárias utilizando lâmpadas de MH de 140 W, foram as que resultaram numa menor poupança, de apenas 43,33%.

7.5 Eficiência da instalação

A eficiência energética de uma instalação de IP define-se como a relação entre o produto da superfície iluminada pela iluminação média em serviço da instalação e a potência total instalada, como mostra a equação 7.6,

$$\varepsilon = \frac{S(m^2) \times E(lux)}{P(watt)}, \quad (7.4)$$

onde ε é a eficiência energética da instalação, S a 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 o nível médio de serviço calculado, e P, a potência total das luminárias mais a dos equipamentos auxiliares intervenientes na área calculada.

A figura 7.36 demonstra como se deve proceder ao cálculo da área total.

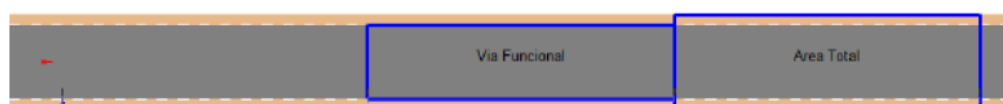


Figura 7.36: Visualização do procedimento para o cálculo da área total [27].

A tabela 7.17, apresenta a classificação funcional da eficiência energética da via, dividida em 7 categorias por ordem de eficiência energética de A a G.

Tabela 7.17: Classificação funcional da eficiência energética da via [27].

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

Para o cálculo da eficiência da instalação, é necessário utilizar a potência do conjunto luminoso total, ou seja, a potência da lâmpada mais a potência da aparelhagem auxiliar.

Para a luminária LED, na sua potência mencionada, já estão incluídas as perdas da sua aparelhagem auxiliar.

O cálculo da eficiência energética da IP, segundo o DREEIP, não tem em conta os parâmetros lumínicos recomendados por normas ou legislação a aplicar nas vias.

Por este motivo, soluções sobredimensionadas, poderão obter uma eficiência energética alta.

7.5.1 Solução existente: Luminárias com lâmpadas HPS de 250 W

Para a solução actualmente existente, considerou-se:

- $S: (3,5 \times 2 + 2 \times 2) \times 32 \text{ m}^2$.
- $E(\text{med}): 45,4 \text{ lux}$.
- $P_{\text{lâmpada}}: 250 \text{ W}$.
- $P_{\text{perdasap.auxiliar}}: 20 \text{ W}$.
- $P_{\text{total}}: 270 \text{ W}$.

A classificação energética é calculada do seguinte modo:

$$\epsilon = \frac{(3,5 \times 2 + 2 \times 2) \times 32 \times 45,4}{270} = 59,2 \quad (7.5)$$

Com este resultado, a instalação com luminárias de HPS de 250 W obteve a classificação energética A.

A tabela 7.18, apresenta um exemplo de etiqueta da classificação energética das instalações de IP para a solução existente.

Tabela 7.18: Classificação energética das instalações de IP para a solução existente.

Classificação Energética das Instalações de Iluminação Pública	
Mais Eficiente Menos Eficiente	✓
Instalação:	Açores
Localidade/Rua:	Rabo de Peixe
Horário de funcionamento (horas/ano):	4015
Consumo de energia anual (kWh/ano):	207 053,55
Emissões de CO ₂ anual (kgCO ₂ /ano):	142 774
Eficiência energética (I _e):	59,2
Nível de Iluminação média em serviço E _m (lux):	45,4
Uniformidade (%):	47,6
Temperatura de Cor (K):	2000
Opção por visão mesópica:	Não
Programação da RFL:	n/a

7.5.2 Solução proposta: Luminárias LED 73 W sem telegestão

Para a proposta a LED, sem sistema de telegestão, considerou-se:

- S: $(3,5 \times 2 + 2 \times 2) \times 32 \text{ m}^2$.
- E(med): 12,1 lux.
- P: 73 W.

A classificação energética é calculada pela seguinte equação:

$$\varepsilon = \frac{(3,5 \times 2 + 2 \times 2) \times 32 \times 12,1}{73} = 59,2 \quad (7.6)$$

Para este resultado, a instalação com luminárias LED de 73 W obteve a classificação energética A.

7.5.3 Proposta de estudo 1: Luminária existente com lâmpada HPS redimensionada

Para o redimensionamento das luminárias para lâmpadas de 100 W de HPS, considerou-se:

- S: $((3,5 \times 2 + 2 \times 2) \times 32 \text{ m}^2$.
- E(med): 12,6 lux.
- $P_{\text{lâmpada}}$: 100 W.
- $P_{\text{perdas aux.}}$: 16 W.
- P_{total} : 116 W.

A classificação energética é calculada pela seguinte equação:

$$\varepsilon = \frac{(3,5 \times 2 + 2 \times 2) \times 32 \times 12,6}{116} = 59,2 \quad (7.7)$$

Para este resultado, a instalação com luminárias de HPS de 100 W obteve a classificação energética B.

7.5.4 Proposta de estudo 2: Luminária de alta eficiência fotométrica de nova geração

Para a actualização do sistema de IP, utilizando a luminária Furyo 3, com lâmpada de 100 W de HPS, considerou-se:

- S: $((3,5 \times 2 + 2 \times 2) \times 32 \text{ m}^2$.
- E(med): 17,3 lux.

- $P_{lâmpada}$: 100 W.
- $P_{perdasap.auxiliar}$: 16 W.
- P_{total} : 116 W.

A classificação energética é calculada pela seguinte equação:

$$\varepsilon = \frac{(3,5 \times 2 + 2 \times 2) \times 32 \times 17,3}{116} = 59,2 \quad (7.8)$$

Para este resultado, a instalação com luminárias Furyo 3 de 100 W obteve a classificação energética A.

7.5.5 Proposta de estudo 3: Luminária existente com lâmpada de MH

Para as luminárias utilizando lâmpadas de MH, considerou-se:

- S: $((3,5 \times 2 + 2 \times 2) \times 32 \text{ m}^2$.
- E(med): 16,9 lux.
- $P_{lâmpada}$: 150 W.
- $P_{perdasap.auxiliar}$: 13 W.
- P_{total} : 153 W.

A classificação energética é calculada pela seguinte equação:

$$\varepsilon = \frac{(3,5 \times 2 + 2 \times 2) \times 32 \times 16,9}{153} = 59,2 \quad (7.9)$$

Para este resultado, a instalação com luminárias de MH de 140 W obteve a classificação energética B.

7.6 Conclusão

Neste capítulo, foi feita uma análise tecno-económica a várias soluções tecnológicas para iluminação das vias públicas.

Com as conclusões tiradas do capítulo 6, sobre as medidas de eficiência na IP, confirmou-se com os resultados obtidos neste estudo, que as redes de IP com luminárias LED, utilizando sistemas de telegestão, permitem obter as maiores economias de energia.

Paralelamente, as soluções a LED, revelaram-se a longo prazo, serem as mais económicas, reflectindo os custos com o investimento, energia consumida, e acções de manutenção.

Deste modo, as luminárias LED apresentam-se como uma solução competitiva face aos sistemas convencionais de HID.

Os estudos efectuados, considerando a visão mesópica nos parâmetros lumínicos das luminárias, verificaram que, as economias obtidas são consideráveis para as lâmpadas de espectro alargado, como os estudos com luminárias LED e lâmpadas de MH comprovaram.

No próximo capítulo, apresentam-se as conclusões dos estudos apresentados na dissertação, e as possíveis investigações futuras para melhorar a eficiência energética na IP.

Capítulo 8

Conclusões e perspectivas de trabalhos futuros

8.1 Conclusões

A IP em Portugal, data de pelo menos, do ano de 1780, quando se utilizavam lampiões de azeite para iluminar as ruas [8]. Há 136 anos, a IP a electricidade, fez a sua primeira ténua aparição, existindo um crescimento exponencial, a partir da década de 30 do século passado, da IP, até à actualidade [9].

A iluminação eléctrica consome cerca de 20% de toda a electricidade a nível mundial, e assume um papel primordial na sociedade. Estima-se que a IP seja responsável por 0,95% do total de energia consumida [1].

A nível nacional, em 2012, foram consumidos cerca de 47 000 GWh de energia.

Desse valor consumido, a IP é responsável por cerca de 3% do consumo eléctrico, e mais de 50% desta energia consumida não resulta em luz útil. Os custos da energia para a IP constituem, por vezes, mais de 70% nas despesas dos Municípios com energia [2].

Actualmente, a grande maioria dos municípios e entidades gestoras da rede de IP, não sabem quantos pontos de luz possuem, quanto consomem, nem qual a tecnologia de iluminação que utilizam. Estimam-se 3 milhões a 4 milhões de pontos de luz em Portugal.

A crise económica que abraçou o país a partir de 2008 mostrou que as opções políticas energéticas utilizadas na IP não são mais sustentáveis face aos custos operacionais inerentes, tendo piorando a situação financeira dos municípios com a extinção da tarifa de IP e da isenção de taxa de potência contratada, desde 1 de Janeiro de 2013.

Tal situação, levou os municípios a repensar as suas políticas energéticas, apostando em medidas de economia e eficiência energética.

Se até ao ano de 2009, a IP crescia a um ritmo médio de 4% a 5% ao ano, desde então o consumo estagnou, e em 2012 verificou-se uma descida de 7% no consumo, contrariando a tendência de crescimento da IP, fruto de medidas de poupança e eficiência energética.

Face à insustentabilidade da IP, foi criado o PNAEE, instrumento do Estado português, que identificou seis medidas para ajudar os municípios a alcançar os objectivos de eficiência energética na IP, pretendendo-se reduzir em 2% ao ano o consumo da IP, correspondendo a 30 GWh por ano, até 2016.

Com uma execução de apenas 3,7%, face ao previsto para 2016, correspondendo principalmente a poupanças energéticas obtidas com as medidas de instalação de reguladores de fluxo luminoso e substituição das lâmpadas dos semáforos por LED [56], as medidas de eficiências energética anunciadas pelos sucessivos PNAEE, teimam em se fazer sentir na IP.

A IP, actualmente emprega dois tipos de tecnologias de lâmpadas para a iluminação dos espaços - as tecnologias obsoletas e as tecnologias do presente de HID, incluindo as lâmpadas de HPM, HPS e MH bem como, a tecnologia emergente a LED. Uma das medidas do PNAEE, é o phase-out de todas as lâmpadas de vapor de mercúrio, que fazem parte da tecnologia obsoleta e ineficiente utilizada na IP, até 2015.

Apesar dos actuais desafios que as luminárias LED terão que ultrapassar, tornar-se-ão na fonte luminosa primária da IP num futuro próximo.

O tempo médio de vida dos LED, a sua eficiência luminosa, e melhoria substancial da qualidade da luz que ilumina os objectos, são os grandes trunfos desta tecnologia.

As tecnologias do presente encontram-se já bastante consolidadas, pelo que se aproximam do valor máximo teórico da sua eficiência luminosa, enquanto que as tecnologias emergentes, como os LED, encontram-se de momento ainda em constante evolução, já se sobrepondo à eficiência luminosa das luminárias convencionais de HID.

No capítulo 5, realizou-se uma análise ao DREEIP, que apesar de não estar incluído no âmbito da legislação aplicável à IP, constitui uma importante fonte de consulta aquando do estudo das medidas que podem ser tidas em consideração para o estudo de um projecto de IP, nomeadamente no que se refere aos requisitos de eficiência energética e aos parâmetros relevantes a ter em conta, servindo como base para o melhoramento da eficiência energética, condições de segurança e conforto para os utilizadores dos espaços públicos.

As comparações efectuadas nesta dissertação, entre os parâmetros lumínicos recomendados pela legislação em vigor, segundo a Portaria n.º 454/2001, e os recomendados pelo DREEIP, mostraram que a legislação em vigor se encontra bastante desactualizada, afectando negativamente a segurança e conforto dos níveis luminoso aplicados nas vias públicas, recomendando valores que podem sobredimensionar as instalações. Deste modo, é necessária uma revisão da legislação em vigor aplicada na IP, recomendando-se a inclusão do DREEIP nesta.

Como ferramenta de complemento ao DREEIP, a realização de um cadastro de iluminação pública de qualidade, ajuda a entidade gestora a conhecer o estado da rede de IP, pois só com um cadastro de iluminação pública de qualidade, integrado e actualizado, será possível tomar medidas de gestão corretas e conducentes a uma efectiva eficiência energética na iluminação pública.

As medidas de eficiência energética analisadas no capítulo 6, mostraram que podem ser obtidas economias de energia até 85%, quando implementados sistemas avançados de telegestão, aliados à tecnologia LED.

A telegestão permite obter as maiores economias de energia, por providenciar um controlo mais preciso da ligação e extinção dos pontos luminosos, detectar quais as redes de IP que estão a operar ineficazmente, bem como detecta uma falha na IP, sendo automaticamente pronunciada pelo sistema.

O fim de vida de uma lâmpada pode também ser antecipado, procedendo-se à sua substituição, evitando custos de manutenção desnecessários com rondas nocturnas pelas equipas de manutenção, à procura de falhas na rede de IP.

Maiores ganhos podem ser obtidos realizando-se uma regulação de fluxo, permitindo aos operadores da rede definir os níveis de luminosidade ideais considerando os objectivos de eficiência e iluminação óptima [77].

Abordou-se ainda a integração de energias renováveis na IP, contribuindo assim para uma maior sustentabilidade destes sistemas, quando a expansão da rede de electricidade em zonas remotas não é economicamente viável.

O estudo efectuada à rede de IP existente em Rabo de Peixe, nos Açores, mostrou que a instalação existente se encontrava bastante sobredimensionada, segundo os parâmetros lumínicos que recomenda o DREEIP, para as características da variante em questão.

Se, no momento inicial de construção dessa rede, tivesse sido utilizado o DREEIP, os parâmetros lumínicos determinados pela classe ME4a, permitiriam uma economia de energia bastante considerável, resultando numa diminuição de potência consumida em 150 W por lâmpada, além da redução dos custos de investimento.

Com a análise luminotécnica efectuada para o caso de estudo utilizando luminárias de maior eficiência fotométrica de nova geração, comprovaram-se as suas capacidades para reduzir os consumos energéticos, permitindo o uso de lâmpadas de menor potência, devido a se ter obtido um aumento da luminância média de 20,7% para lâmpadas de HPS de 100 W.

Nas análises técnico-económicas efectuadas para os diversos casos de estudo, a solução a LED, com sistema de telegestão, foi a solução encontrada que permite um maior retorno de investimento, e maiores economias de energia, chegando a atingir 80,32%, face à instalação existente de HPS.

Apesar de ter sido a proposta de estudo com o maior investimento inicial, a grande duração das luminárias LED, de quase 25 anos, aliada à capacidade de regulação de fluxo, fez com que os custos de manutenção e de consumo de energia até ao fim de vida do projecto fossem os menores, permitindo assim uma maior economia de energia.

A proposta de estudo que consistia no redimensionamento das luminárias existentes, substituindo as lâmpadas de 250 W por lâmpadas de 100 W, de modo aos níveis lumínicos da instalação se situarem em conformidade com o recomendado pelo DREEIP, revelou-se ser a solução com o menor investimento inicial e menor custo de manutenção durante o tempo de vida do projecto. Esta foi também a solução com o menor período de recuperação de investimento, com um retorno de investimento 15 000 euros abaixo da solução utilizando luminárias LED sem telegestão, revelando-se assim uma boa solução para os municípios que não pretendem fazer um grande investimento inicial, por exemplo, por falta de recursos monetários próprios, mas que necessitam de implementar uma economia de energia substancial.

Como é óbvio, esta solução, utilizando a mesma tecnologia do sistema de IP existente, só foi viável economicamente por esta se encontrar bastante sobredimensionada.

Os piores indicadores económicos foram para a proposta utilizando luminárias com lâmpadas de MH.

Estas lâmpadas além de serem mais caras que as convencionais, possuem tempos de vida médios mais curtos para médias e grandes potências.

Um dos próximos grandes passos na eficiência energética na IP, será o da consideração da visão mesópica nos parâmetros lumínicos do cálculo luminotécnico.

Esta vantagem, já é reconhecida pelas normas britânicas de IP [62], sendo expectável o lançamento de normas pela CIE, de modo a uniformizar esta área de investigação da luminotecnica ainda recente [3].

Considerando a visão mesópica nos casos de estudo efectuados, obteve-se um aumento de 12,8% na luminância média com a utilização de luminárias de tecnologia LED, de espectro electromagnético alargado.

Tal aumento possibilitou uma maior economia de consumo, com a redução da potência instalada por luminária em 20 W.

Uma lacuna detectada no DREEIP para os casos de estudo analisados, é que a determinação da eficiência de uma instalação, pode receber a máxima classificação energética, tipo A, por o cálculo não ter tido em conta os parâmetros lumínicos recomendados pelas classes de via, a aplicar nas redes de IP. Por este motivo, soluções sobredimensionadas como a solução existente, poderão obter uma eficiência energética alta, o que não reflecte a realidade do ponto de vista da eficiência energética.

A eficácia de um sistema de IP está relacionada com a eficiência energética, mas não pode ser utilizada para determinar a energia consumida.

Um sistema menos eficiente, pode, de facto, consumir menos energia se for operado por menos horas, pelo que a escolha de uma correcta política energética, é fundamental para reduzir o consumo de energia.

8.2 Perspectivas de trabalhos futuros

Apresentam-se alguns tópicos susceptíveis de estudo aprofundado para melhorar a eficiência energética das redes de IP:

- Estudos práticos da viabilidade económica de redes de IP integradas com energias renováveis.
- Impacto na qualidade da rede eléctrica de novas tecnologias emergentes, tais como LED e LEP.
- Estudos para melhor caracterização de tecnologias emergentes, como os LED.

- Estudos técnico-económicos mais aprofundados, para determinação das economias de energia proporcionadas por conjuntos funcionais (lâmpadas, luminárias, aparelhagem auxiliar), utilizando diversas alternativas.
- Estudos aprofundados considerando a visão mesópica no cálculo luminotécnico nas redes de IP.
- Caracterização mais aprofundada das redes de IP em Portugal, com vista a aumentar a eficiência energética das mesmas.
- Estudos sobre o dimensionamento óptimo de redes de IP.

Referências

- [1] L. R. Brown, “World on the edge: How to prevent environmental and economic collapse,” 2010.
- [2] J. B. Gouveia, “Documento de referência para a eficiência energética na iluminação,” in *Seminário CCDRn – ADENE - RNAE*, vol. RNAE, 11 de Maio de 2011.
- [3] E. Distribuição, “Manual de iluminação pública, volume 2 – componentes de iluminação,” tech. rep., Maio 2010.
- [4] C. P. de Iluminação, “Manual de boas práticas para cadastro da ip,” tech. rep., Fevereiro 2014.
- [5] “Base de dados de Portugal contemporâneo,” Disponível em www.pordata.pt. Acesso em Maio/2014.
- [6] “Entidade reguladora dos serviços de energia,” Disponível em www.erse.pt. Acesso em Abril/2014.
- [7] “Diário da república, 1.ª série — n.º 97 — 20 de maio de 2008.”
- [8] “Website museu da electricidade,” Disponível em <http://wikienergia.com>. Acesso em Fevereiro/2014.
- [9] M. A. C. de, “A electricidade em Portugal dos primórdios à 2ª guerra mundial,” 2004.
- [10] B. Cordeiro, *A iluminação pública em Lisboa e a problemática da história das técnicas*. PhD thesis, Universidade de Lisboa. Instituto de Ciências Sociais., 2007.
- [11] “Observatório espacial da NASA,” Disponível em <http://earthobservatory.nasa.gov>. Acesso em Abril/2014.
- [12] ERSE, “Revisão do regulamento tarifário do sector eléctrico,” 2011.
- [13] ERSE, “Ajustamentos referentes a 2007 e 2008 a repercutir nas tarifas de 2009,” 2008.
- [14] ERSE, “Tarifas e preços para a energia eléctrica e outros serviços em 2012 e parâmetros para o período de regulação 2012-2014,” 2011.
- [15] D. G. de Energia, “Regulamento de segurança em redes de distribuição de energia eléctrica de baixa tensão (rsrdebt),” 1984.
- [16] “Decreto-lei n.º 341/90,” Disponível em <http://www.dre.pt>. Acesso em Abril/2014.
- [17] “Portaria n.º 454/2001,” Disponível em <http://www.dre.pt>. Acesso em Abril/2014.

- [18] CPI, “Apresentação de manual de cadastro de ip,” in *Manual de boas práticas para Cadastro da IP*, 2014.
- [19] I. E. Agency, “Light’s labour’s lost, policies for energy-efficient lighting.” Disponível em <http://www.iea.org/textbase/npsun/III.pdf>. Acesso em Abril/2014.
- [20] P. Cauwels, N. Pestalozzi, and D. Sornette, “Dynamics and spatial distribution of global nighttime lights,” *EPJ Data Science*, vol. 3, no. 1, p. 2, 2014.
- [21] F. M. Barbosa, “Eficiência energética na ip - documento de referência.” Janeiro/2011.
- [22] “Substituição de 140 000 luminárias a led.” Disponível em <http://www.thedailybeast.com/articles/2013/06/20/los-angeles-has-swapped-out-140-000-street-lights-for-highly-efficient-leds.html>. Acesso em Abril/2014.
- [23] “Darkened cities.” Disponível em <http://thierrycohen.com/pages/work/starlights.html>. Acesso em Abril/2014.
- [24] E. Distribuição, “Manual de iluminação pública, volume 1 – conceitos básicos de luminotecnica,” tech. rep., Maio 2010.
- [25] A. Teixeira, “Tipos de lâmpadas.” FEUP.
- [26] J. N. dos Santos, “Noções básicas luminotecnica.” FEUP.
- [27] EDP, “Eficiência energética na iluminação pública – documento de referência.” Janeiro/2011.
- [28] A. Teixeira, “Grandezas usadas em luminotecnica.” FEUP.
- [29] “Grupo schréder.” Disponível em www.schreder.com. Acesso em Março/2014.
- [30] E. Distribuição, “Manual de iluminação pública, volume 3 – normas e critérios para novos projectos,” tech. rep., Maio 2010.
- [31] A. Teixeira, “Lâmpadas.” FEUP.
- [32] D. E. C. P. Ltd., “Best practice manual – lighting.” 2006. Disponível em http://nedcap.gov.in/PDFs/BEE_manuals/BEST_PRACTICE_MANUAL_LIGHTING.pdf. Acesso em Abril/2014.
- [33] J. N. dos Santos, “Iluminação pública: tópicos para o projecto.” FEUP, Abril 2009.
- [34] “Luminária com lâmpada incandescente.” Disponível em https://www.flickr.com/photos/patrick_castelli. Acesso em Maio/2014.
- [35] “Luminárias de lps.” Disponível em <http://palomarskies.blogspot.pt/2009/05/why-astronomers-love-low-pressure.html>. Acesso em Maio/2014.
- [36] “Fabricante de lâmpadas philips.” Disponível em <http://www.ecat.lighting.philips.pt>. Acesso em Maio/2014.
- [37] E. Commission, “Green public procurement - street lighting and traffic lights technical background report.” 2011. Disponível em http://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/tbr/street_lighting_tbr.pdf. Acesso em 05/2014.

- [38] J. R. C. J. E. Commission, “Accelerating the deployment of solid state lighting (ssl) in eu-rope.” 2012.
- [39] “<http://mettwa.com>.” Acesso em Maio/2014.
- [40] U. DOE, “Led application series: Outdoor area lighting.” 2008. Disponível em http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/alliances/outdoor_tarea_tlighting.pdf. Acesso em Maio/2014.
- [41] A. Amorim, “Novas tecnologias na iluminação pública,” 2009. Disponível em <http://www.areanatejo.pt>. Acesso em Maio/2014.
- [42] S.-C. Huang, L.-L. Lee, M.-S. Jeng, and Y.-C. Hsieh, “Assessment of energy-efficient led street lighting through large-scale demonstration,” in *Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), 2012 International Conference on*, pp. 1–5, IEEE, 2012.
- [43] U. DOE, “Demonstration of led street lighting.” 2013. Disponível em http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/2013_gateway-msslc_kc.pdf. Acesso em Maio/2014.
- [44] “Luminárias de plasma.” Disponível em www.getdeco.com. Acesso em Maio/2014.
- [45] C. F. Agreira, “Leds.” Instalações eléctricas e luminotecnica.
- [46] A. Teixeira, “Iluminação pública - armaduras de iluminação pública.” Técnicas de iluminação, 2003.
- [47] U. DOE, “Solid-state lighting technology fact sheet.” 2013. Disponível em http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/led_energy_efficiency.pdf. Acesso em Maio/2014.
- [48] S. T. meeting in lighting solutions, “Urban lighting: 2º edição do documento de referência para a eficiência energética na iluminação,” Disponível em <http://www.ames.pt/mgallery/default.asp?obj=860>. Acesso em Maio/2014.
- [49] E. Commission, “Green public procurement - street lighting and traffic lights technical background report.” 2010. Disponível em http://www.greenpublicprocurement.ie/wp-content/uploads/2011/07/street_lighting_GPP_background_report.pdf. Acesso em Maio/2014.
- [50] Ulysse, “Ulysse en13201 guide.”.
- [51] “Exemplo de cadastro de ip.” <http://www.cm-tavira.pt/site/content/camara-energia/carta-energ>Acesso em Maio/2014.
- [52] “Ordem dos engenheiros região norte.” Disponível em <http://www.oern.pt>. Acesso Junho/2014.
- [53] “Exemplo de cadastro de ip.” Disponível em <http://softwarelivre.cm-agueda.pt/drupal/?q=node/25>. Acesso em Junho/2014.
- [54] “Imagem de “foco desligado” pela edp.” Disponível em <https://marafado.files.wordpress.com/2012/12/foto-joc3a3o-xavier-foco-desligado-em-pc3aara.jpg?w=450&h=338>. Acesso em Junho/2014.

- [55] “Economia de energia na alemanha.” Disponível em <http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/7796800.stm>. Acesso em Maio/2014.
- [56] “Diário da república, 1.^a série — n.º 70 — 10 de abril de 2013..” Disponível em <https://dre.pt/pdf1sdip/2013/04/07000/0202202091.pdf>. Acesso em Abril/2014.
- [57] “Diário da república, 1.^a série — n.º 73 — 15 de abril de 2010.” Disponível em www.apambiente.pt/_cms/view/page_doc.php?id=6. Acesso em Abril/2014.
- [58] A. para a Energia ADENE, “Relatório de execução 2010.” 2011. Disponível em <http://www2.adene.pt/pt-pt/PNAEE/Documents/RelatAcesso> em Junho/2014.
- [59] M. Kostic and L. Djokic, “Recommendations for energy efficient and visually acceptable street lighting,” *Energy*, vol. 34, no. 10, pp. 1565–1572, 2009.
- [60] R. Branco, “Sustentabilidade e gestão sustentabilidade e gestão da iluminação pública.” 3^o jornadas electrotécnicas jornadas electrotécnicas, ISEP, 2010.
- [61] “Philips, ceramalux®high pressure sodium lamps.” Disponível em http://www.usa.lighting.philips.com/pwc_li/us_en/connect/tools_literature/downloads/p-2220.pdf. Acesso em Maio/2014.
- [62] “Philips, “white light - transforming your urban nightscape..” Disponível em http://www.lighting.philips.co.uk/pwc_li/gb_en/connect/tools_literature/WhiteAcesso em Maio/2014.
- [63] “Lâmpada master cosmowhit.” Disponível em http://www.ecat.lighting.philips.com/l/lamps/high-intensity-discharge-lamps/ceramic-metal-halide/master-cosmowhite-cpo-tw-cpo-tw-xtra/928095205127_eu. Acesso em Junho/2014.
- [64] R. Müllner and A. Rienner, “An energy efficient pedestrian aware smart street lighting system,” *International Journal of Pervasive Computing and Communications*, vol. 7, no. 2, pp. 147–161, 2011.
- [65] “Catálogo arquiled.” Disponível em http://arquiledamerica.com/images/Arquicity_catalogue_eng.pdf. Acesso em Maio/2014.
- [66] F. Li, D. Chen, X. Song, and Y. Chen, “Leds: a promising energy-saving light source for road lighting,” in *Power and Energy Engineering Conference, 2009. APPEEC 2009. Asia-Pacific*, pp. 1–3, IEEE, 2009.
- [67] M. A. Costa, G. H. Costa, A. S. dos Santos, L. Schuch, and J. R. Pinheiro, “A high efficiency autonomous street lighting system based on solar energy and leds,” in *Power Electronics Conference, 2009. COBEP’09. Brazilian*, pp. 265–273, IEEE, 2009.
- [68] “Luminária integrada em sistema de energia solar.” Disponível em <http://spectrum.ieee.org/energywise/green-tech/solar/moroccan-solar-streetlighting>. Acesso em Maio/2014.
- [69] M. Ali, M. Orabi, E. Abdelkarim, J. A. A. Qahouq, and A. Aroudi, “Design and development of energy-free solar street led light system,” in *Innovative Smart Grid Technologies-Middle East (ISGT Middle East), 2011 IEEE PES Conference on*, pp. 1–7, IEEE, 2011.

- [70] “A study on energy efficient & solar pv street lighting system.” fosetonline.org. Disponível em <http://fosetonline.org/Academicmeet/EL/AA>Acesso em Abril/2014.
- [71] “Modelo move.” Disponível em http://www.lightinglab.fi/CIETC1-58/mesopic_model.html. Acesso em Junho/2014.
- [72] A.-M. Ylinen, L. Tähkämö, M. Puolakka, and L. Halonen, “Road lighting quality, energy efficiency, and mesopic design–led street lighting case study,” *Leukos*, vol. 8, no. 1, pp. 9–24, 2011.
- [73] A. Teixeira, “Iluminação pública – poupança de energia eléctrica.” Técnicas de iluminação, 2003.
- [74] EDP, “Eficiência energética na iluminação pública.” 2013. Disponível em <http://www.senergia.pt/images/upload/File/EficienciaenergeticaIPEDP.pdf>. Acesso em Maio/2014.
- [75] P. J. Carreira, P. J. Esteves, C. A. Samora, and A. T. De Almeida, “Efficient and adaptive led public lighting integrated in évora smart grid,” in *Electricity Distribution (CIRED 2013), 22nd International Conference and Exhibition on*, pp. 1–4, IET, 2012.
- [76] “Fabricante de reguladores de fluxo.” Disponível em <http://www.augier.com>. Acesso em Junho/2014.
- [77] M. Bryan, “P.e. “pacific gas and electric company - emerging technologies program.” 2010.
- [78] *Traffic Technology International*. Janeiro 2010.
- [79] N. Yoshiura, Y. Fujii, and N. Ohta, “Smart street light system looking like usual street lights based on sensor networks,” in *Communications and Information Technologies (ISCIT), 2013 13th International Symposium on*, pp. 633–637, IEEE, 2013.
- [80] “Projecto inovcity.” Disponível em <http://www.inovcity.pt/pt/Pages/iluminacao-publica.aspx>. Acesso em Abril/2014.
- [81] <http://sicnoticias.sapo.pt/pais/2014-01-27-coimbra-sera-a-primeira-cidade-no-mundo-com-iluminacao-publica-totalmente-led;jsessionid=56B9EF2C76719ACF13726E93D1F55284>. Acesso em Junho/2014.
- [82] <http://www.novageo.com>. Acesso em Maio/2014.
- [83] http://www.ascendi.pt/fotos/editor2/clipping/Publico_10.09.2009.pdf. Acesso em Maio/2014.
- [84] <http://www.exporlux.pt> Acesso em Maio/2014.
- [85] V. Miranda, “Tópicos de matemática financeira - para aplicação em gestão de energia.” FEUP, 2004.
- [86] “Taxas de juro do bce.” Disponíveis em <http://www.ecb.europa.eu>. Acesso em Junho/2014.