

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Iluminação Pública e Sustentabilidade Energética

Cristiana Raquel Aragão Santos

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

Orientador: Professor Doutor Fernando Pires Maciel Barbosa

Julho 2011

© Autor, 2011

Ao meu Avô Mário e à minha Avó Leonor

Resumo

Nesta dissertação são estudados os processos actuais que permitem obter uma maior eficiência energética na iluminação pública.

O estudo realizado revela a necessidade da tomada de consciência por parte dos municípios para a eficiência energética, num dos sectores responsáveis por uma parte significativa da factura energética municipal. Neste sentido, este trabalho propõe-se contribuir para esta problemática, apresentando uma sistematização de soluções eficientes, quer a nível de lâmpadas e luminárias, quer a nível de tecnologias que auxiliem e complementem a eficiência de uma instalação de iluminação pública.

A dissertação está dividida em duas partes. A primeira parte sistematiza os consumos verificados em Portugal, a vários níveis (consumo de energia eléctrica, evolução do consumo energético de iluminação pública, etc.), abordando também a questão da dependência energética de Portugal comparativamente à média verificada na UE, bem como a evolução da intensidade energética. É abordada, igualmente, a legislação aplicável à iluminação pública (EN 13201) e é efectuada uma análise e descrição do Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública em Portugal. É feita uma sistematização das metas de Portugal para 2015, no âmbito do Plano de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE) e são descritos alguns procedimentos que possibilitam a poupança energética na iluminação pública, aliada a instalações eficientes. A segunda parte da dissertação contempla o estudo de três casos práticos, cujo objectivo, no primeiro caso de estudo, é estudar a evolução das medidas implementadas para satisfazer os requisitos de eficiência energética e quais as reduções obtidas a nível dos consumos, sendo que, no segundo e terceiro casos de estudo, são analisadas as vantagens inerentes à substituição de uma solução existente por outra que proporcione melhor desempenho energético, aliada à redução de custos e de emissões de CO₂.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Gestão de Energia, Iluminação Pública.

Abstract

The major objective of this dissertation is to investigate the procedures that lead to an increase of energetic efficiency in public lighting.

The research reveals the need for awareness concerning the energetic efficiency of municipalities, being one of the sectors responsible for a significant part of the electricity municipal bill. Thus, this dissertation aims at contributing to lessening this problem, presenting a systematization of efficient solutions, both in terms of lamps and luminaries, as well as in terms of technologies able to support and complement the efficiency of street lighting installation.

The dissertation is divided into two parts. The first part describes the consumption registered in Portugal at different levels (electricity consumption, evolution of the public lighting energy consumption, and so forth), in addition to addressing the issue of Portugal's energy dependency compared to the EU average, as well as the evolution of energy intensity. Applicable legislation of public lighting (EN 13201) is also referred to, and an analysis and description of the Reference Paper on Energy Efficiency in Public Lighting in Portugal is also carried out. A systematization of Portugal's targets for 2015 under the National Action Plan for Energy Efficiency (PNAEE) was undertaken, along with the description of some procedures that enable energy savings in public lighting, combined with efficient installations. The second part of the dissertation includes three case studies, whereby the aim of the first case study points at analyzing the development of the measures implemented so as to meet energy efficiency requirements and understand what the reduction achieved on the consumption is, whereas, in the second and third case studies, an analysis of the advantages inherent in the replacement of an existing solution is made by another that provides improved energy performance, as well as cost savings and a reduction of CO₂ emissions.

Keywords: *Energetic Efficiency, Energy Management, Public Lighting.*

Agradeço ao Professor Doutor Fernando Maciel Barbosa a disponibilidade, o auxílio e a orientação prestados ao longo do presente trabalho.

Agradeço particularmente ao Engenheiro Manuel Joaquim Rocha (EDP) e ao Engenheiro Pedro Rui da Silva (Schröder) pela disponibilização de dados que permitiram a elaboração do capítulo 5.

Agradeço igualmente à minha Família por todo o carinho, compreensão e apoio nesta caminhada.

Índice

Resumo	v
Abstract.....	vii
Índice.....	xi
Lista de figuras	xv
Lista de gráficos.....	xix
Lista de tabelas	xxi
Abreviaturas e Símbolos	xxv
Capítulo 1	1
Introdução.....	1
1.1 - Enquadramento e motivação	1
1.2 - Organização e objectivos da tese.....	2
Capítulo 2	5
Iluminação pública e sustentabilidade energética.....	5
2.1 - Programas para a sustentabilidade energética	6
2.2 - Caracterização do consumo energético em iluminação de vias em Portugal	8
2.2.1 - Consumo energético de iluminação pública em Portugal por regiões	11
2.3 - Evolução da tarifa de iluminação pública	12
2.4 - A iluminação pública a nível mundial	13
2.5 - Dependência energética de Portugal.....	14
2.5.1 - Dependência energética de Portugal face à média europeia - carvão e derivados ...	14
2.5.2 - Dependência energética de Portugal face à média europeia - petróleo	15
2.5.3 - Dependência energética de Portugal face à média europeia - importação de electricidade.....	16
2.5.4 - Evolução da intensidade energética em Portugal	17
2.6 - Conclusão	20
Capítulo 3	21
Iluminação Pública: Legislação aplicável e Documento de Referência	21
3.1 - Norma Europeia para a iluminação pública - EN 13201	21
3.1.1 - EN 13201-1 - Escolha das classes de iluminação	21
3.1.2 - EN 13201-2 - Parâmetros fotométricos recomendados	32
3.1.3 - EN 13201-3 - Cálculo dos parâmetros fotométricos	33

3.1.4 - EN 13201-4 - Métodos de medição das performances fotométricas	33
3.2 - Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública	34
3.3 - Conclusão	34
Capítulo 4	37
Lâmpadas e luminárias utilizadas na iluminação pública	37
4.1 - Lâmpadas utilizadas na iluminação pública.....	37
4.1.1 - Lâmpada de vapor de mercúrio.....	39
4.1.2 - Lâmpada de vapor de sódio	40
4.1.2.1 - Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão	41
4.1.2.2 - Lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão	42
4.1.3 - Lâmpada de iodetos metálicos.....	44
4.1.4 - LED (Díodo emissor de luz)	45
4.1.5 - Comparação das características dos diversos tipos de lâmpadas.....	47
4.2 - Luminárias utilizadas na iluminação pública.....	48
4.2.1 - Componentes que constituem uma luminária.....	48
4.2.2 - Grau de estanqueidade e resistência aos impactos mecânicos de uma luminária.....	50
4.2.3 - Luminárias eficientes vs Luminárias ineficientes.....	52
4.2.4 - Luminárias utilizadas na iluminação pública	54
4.3 - Equipamento auxiliar	60
4.4 - Eficiência energética.....	63
4.4.1 - Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE)	65
4.5 - Exemplos de instalações eficientes em Portugal.....	67
4.5.1 - Auto-estrada iluminada a sistema LED	67
4.5.2 - Projecto “Rua LED”	69
4.5.3 - Projecto “Aldeia LED”	70
4.6 - Exemplos de instalações eficientes a nível Europeu.....	71
4.6.1 - Projecto de iluminação na Suécia.....	71
4.6.2 - Projecto <i>E-street - Intelligent Road and Street Lighting in Europe</i> - Projecto de iluminação em Oslo, Noruega.....	72
4.6.3 - Projecto de iluminação em Costello, Itália.....	73
4.6.4 - Caso da Holanda	73
4.7 - Exemplos de instalações eficientes a nível mundial.....	74
4.7.1 - Projecto híbrido para instalação de iluminação pública no Brasil.....	74
4.8 - Poupança energética na iluminação pública.....	76
4.8.1 - Manutenção.....	77
4.8.2 - O caso de Vila Nova de Gaia.....	78
4.8.3 - Telegestão.....	79
4.9 - Conclusão	83
Capítulo 5	85
Estudo de três casos práticos.....	85
5.1 - Cidade do Porto	85
5.1.1 - Horas de funcionamento da iluminação pública e consumos mensais em 2010.....	85
5.1.2 - Número de lâmpadas em serviço, de 2007 a 2011.....	87
5.1.3 - Consumos em iluminação pública, de 2007 a 2010.....	90
5.1.4 - Estimativa para 2011	92
5.2 - Substituição de uma solução HPS existente por tecnologia HPS e luminária eficiente.....	94
5.2.1 - Análise da solução existente	95
5.2.2 - Análise da solução proposta.....	96
5.2.3 - Comparação da solução proposta com a solução existente.....	97
5.3 - Substituição de uma solução existente por tecnologia LED	98
5.3.1 - Análise da solução existente	98
5.3.2 - Análise da solução proposta	99
5.3.3 - Comparação da solução proposta com a solução existente.....	99
5.4 - Conclusão	100

Capítulo 6	103
Conclusões	103
Anexo A	107
Tabelas referentes à EN 13201	107
Glossário	117
Referências	123

Lista de figuras

Figura 2.1 - Consumo energético em Portugal em 2009	8
Figura 2.2 - A Terra à noite (2008)	13
Figura 2.3 - O continente Europeu à noite (2008)	13
Figura 2.4 - Iluminação de Portugal Continental e Insular em 2008	14
Figura 3.1 - Factor de manutenção de uma instalação (FM)	29
Figura 3.2 - Factor de manutenção da luminosidade da lâmpada (FMLL)	30
Figura 3.3 - Factor de sobrevivência da lâmpada (FSL).....	30
Figura 3.4 - Factor de manutenção da luminária (FML).....	30
Figura 4.1 - Exemplo de lâmpada HPM.....	39
Figura 4.2 - Diagrama de fluxo de energia de uma lâmpada HPM	39
Figura 4.3 - Exemplo de lâmpada de vapor de sódio de alta pressão	41
Figura 4.4 - Diagrama de fluxo de energia de uma lâmpada de vapor de sódio de alta pressão	41
Figura 4.5 - Exemplo de lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão (LPS)	43
Figura 4.6 - Exemplo de lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão acesa (LPS).....	43
Figura 4.7 - Exemplo de lâmpadas de iodetos metálicos	44
Figura 4.8 - Esquema de funcionamento de um LED	45
Figura 4.9 - Luminária utilizando tecnologia LED.....	46
Figura 4.10 - Exemplo de uma luminária	49
Figura 4.11 - Exemplo de refractor.....	50
Figura 4.12 - Exemplo de iluminação eficiente.....	52
Figura 4.13 - Exemplo de iluminação parcialmente ineficiente.....	53

Figura 4.14 - Exemplo de iluminação ineficiente	53
Figura 4.15 - Luminárias instaladas em Lisboa	54
Figura 4.16 - Luminárias instaladas na zona do Tejo	54
Figura 4.17 - Luminárias instaladas em Cascais	55
Figura 4.18 - Luminárias instaladas na zona de Matosinhos, Porto	55
Figura 4.19 - Luminárias utilizadas em Sintra	55
Figura 4.20 - Luminárias instaladas em Lisboa	56
Figura 4.21 - Luminárias instaladas em Montevideu, Porto	56
Figura 4.22 - Luminárias instaladas em Seia	57
Figura 4.23 - Luminárias instaladas em Mora, Évora	57
Figura 4.24 - Luminárias instaladas em Peso, Covilhã	58
Figura 4.25 - Luminárias instaladas em Matosinhos (parque exterior do Mar Shopping)	58
Figura 4.26 - Luminárias instaladas em Matosinhos (parque exterior do Mar Shopping)	59
Figura 4.27 - Luminárias instaladas em Mogadouro.....	59
Figura 4.28 - Etiqueta típica de um balastro	61
Figura 4.29 - Princípio de funcionamento de uma lâmpada alimentada por um balastro electrónico	62
Figura 4.30 - Poupanças obtidas mediante instalação de balastros electrónicos	62
Figura 4.31 - Definição de via funcional e área total para o cálculo da eficiência energética	63
Figura 4.32 - Tabela de referência para a classificação de eficiência das instalações de iluminação pública	63
Figura 4.33 - Distribuição espectral de fontes de luz	64
Figura 4.34 - Eficácia luminosa relativa da visão escotópica e fotópica em função do comprimento de onda da luz.....	65
Figura 4.35 - Visão escotópica, mesópica e fotópica.....	65
Figura 4.36 - Solução de iluminação utilizada na A29, nó de Angeja, km 1.....	67
Figura 4.37 - Solução de iluminação utilizada na A29, nó de Angeja, km 1.....	68
Figura 4.38 - Pormenor da luminária referente à solução de iluminação utilizada na A29, nó de Angeja, km 1	68
Figura 4.39 - Pormenor da luminária referente à solução de iluminação utilizada na A29, nó de Angeja, km 1	68
Figura 4.40 - Luminárias a LED instaladas na Rua Fidalgo Aprendiz, Pombal	69

Figura 4.41 - Luminária a LED utilizada na Rua Fidalgo Aprendiz, Pombal.....	70
Figura 4.42 - Luminária a LED acesa utilizada na Rua Fidalgo Aprendiz, Pombal	70
Figura 4.43 - Aldeia de Cabeça (Seia) iluminada a LED	70
Figura 4.44 - Aldeia de Cabeça (Seia) iluminada a LED	71
Figura 4.45 - Aldeia de Cabeça (Seia) iluminada a LED	71
Figura 4.46 - Representação esquemática da gestão de iluminação pública em Oslo.....	72
Figura 4.47 - Projecto híbrido para alimentação de iluminação pública (Brasil).....	74
Figura 4.48 - Pormenor da instalação híbrida para alimentação de iluminação pública (Brasil)	75
Figura 4.49 - Distribuição dos custos durante a vida útil	77
Figura 4.50 - Constituição básica de um sistema inteligente de iluminação pública	79
Figura 4.51 - Volume de tráfego automóvel por hora - A28, Nó de Viana	80
Figura 4.52 - Esquema ilustrativo da implementação do sistema inteligente de gestão de iluminação pública na A28/A27.....	81
Figura 4.53 - Poupança em energia - Nó A28, Viana do Castelo.....	81
Figura 4.54 - Modo de actuação de sensores de movimento para utilização eficiente da iluminação pública.....	82
Figura 5.1 - Luminária actualmente existente.....	95
Figura 5.2 - Luminária da solução proposta.....	96
Figura 5.3 - Luminária actualmente existente.....	98
Figura 5.4 - Luminária da solução proposta.....	99

Lista de gráficos

Gráfico 2.1 - Consumos de energia eléctrica em Portugal no ano de 2009.....	9
Gráfico 2.2 - Evolução do consumo energético da iluminação pública em Portugal, de 1994 a 2009	10
Gráfico 2.3 - Consumo energético de iluminação pública em Portugal, por regiões, em 2008.....	11
Gráfico 2.4 - Evolução da tarifa da iluminação pública.....	12
Gráfico 2.5 - Dependência energética de Portugal face à média europeia (carvão e derivados)	15
Gráfico 2.6 - Percentagem da dependência energética de Portugal face à média europeia (petróleo).....	16
Gráfico 2.7 - Valores de importação de electricidade de Portugal face à média Europeia (GWh).....	17
Gráfico 2.8 - Taxa de dependência energética em 2005	18
Gráfico 5.1 - Número de horas de funcionamento mensal da iluminação pública em 2010, na cidade do Porto.....	86
Gráfico 5.2 - Consumos mensais totais em iluminação pública em 2010, referentes à cidade do Porto.....	86
Gráfico 5.3 - Número de lâmpadas utilizadas em iluminação pública de 2007 a 2011, na cidade do Porto.....	87
Gráfico 5.4 - Número de lâmpadas em serviço na iluminação pública de 2007 a 2011, na cidade do Porto.....	88
Gráfico 5.5 - Número de lâmpadas HPM utilizadas em iluminação pública de 2007 a 2011, na cidade do Porto.....	88
Gráfico 5.6 - Número de lâmpadas HPS utilizadas em iluminação pública de 2007 a 2011, na cidade do Porto.....	89
Gráfico 5.7 - Número de lâmpadas energeticamente eficientes utilizadas em iluminação pública de 2007 a 2011, na cidade do Porto	89

Gráfico 5.8 - Consumo de energia na iluminação pública referente ao período de 2007 a 2010, na cidade do Porto	90
Gráfico 5.9 - Consumo em iluminação pública na cidade do Porto, de 2007 a 2010.....	90
Gráfico 5.10 - Aumento do consumo na cidade do Porto, de 2007 a 2010, em anos consecutivos.....	91
Gráfico 5.11 - Potência média por lâmpada, de 2007 a 2011, na cidade do Porto	91
Gráfico 5.12 - Evolução da potência instalada na cidade do Porto, de 2007 a 2010	91
Gráfico 5.13 - Consumo de energia em iluminação pública na cidade do Porto, de 2007 a 2011 (estimativa).....	93
Gráfico 5.14 - Consumo em iluminação pública na cidade do Porto, de 2007 a 2011 (estimativa)	93
Gráfico 5.15 - Aumento do consumo na cidade do Porto, em anos consecutivos, de 2007 a 2011 (estimativa).....	94

Lista de tabelas

Tabela 2.1 - Percentagem da dependência energética de Portugal face à média europeia (carvão e derivados)	14
Tabela 2.2 - Percentagem da dependência energética de Portugal face à média europeia (petróleo).....	15
Tabela 2.3 - Valores de importação de electricidade de Portugal face à média Europeia (GWh).....	16
Tabela 2.4 - Taxa de dependência energética em 2005	18
Tabela 2.5 - Intensidade energética da economia - 1994, 2005 e 2008.....	19
Tabela 3.1 - Nível de luminância média [cd/m^2] para vias interurbanas	23
Tabela 3.2 - Nível de luminância média [cd/m^2] para vias urbanas	24
Tabela 3.3 - Nível de iluminância média (lux) para vias urbanas	25
Tabela 3.4 - Nível de iluminância média (lux) para vias urbanas	26
Tabela 3.5 - Nível de iluminância média (lux) para vias rurais.....	27
Tabela 3.6 - Tabela-resumo.....	28
Tabela 3.7 - Factor de manutenção de uma instalação para lâmpadas de sódio de alta pressão tubulares e lâmpadas de iodetos metálicos.....	29
Tabela 3.8 - Factor de manutenção da luminária (FML)	31
Tabela 3.9 - Grau de poluição a ter em consideração na escolha de uma luminária.....	31
Tabela 3.10 - Factor de manutenção da luminosidade da lâmpada (FMLL)	31
Tabela 3.11 - Factor de sobrevivência da lâmpada (FSL).....	32
Tabela 4.1 - Classificação do Índice de Reprodução de Cores (IRC)	38
Tabela 4.2 - Características das lâmpadas HPM.....	40
Tabela 4.3 - Características das lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão (HPS).....	42
Tabela 4.4 - Características das lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão (LPS)	43

Tabela 4.5 - Características das lâmpadas de iodetos metálicos	44
Tabela 4.6 - Características das lâmpadas baseadas em LEDs.....	46
Tabela 4.7 - Comparação das características dos vários tipos de lâmpadas	47
Tabela 4.8 - Descrição do 1º algarismo do Índice de Protecção (IP).....	51
Tabela 4.9 - Descrição do 2º algarismo do Índice de Protecção (IP).....	51
Tabela 4.10 - Descrição do algarismo opcional do Índice de Protecção (IP)	51
Tabela 4.11 - Código IK segundo a EN 50102.....	52
Tabela 4.12 - Classes de eficiência dos balastros.....	61
Tabela 4.13 - Valores para a eficiência energética.....	64
Tabela 4.14 - Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE).....	66
Tabela 5.1 - Tipo de lâmpadas utilizadas em iluminação pública, na cidade do Porto, de 2007 a 2010 e consumos associados.....	87
Tabela 5.2 - Estimativa do consumo em iluminação pública para 2011 na cidade do Porto ...	92
Tabela 5.3 - Estimativa da factura energética em iluminação pública para 2011 na cidade do Porto.....	93
Tabela 5.4 - Parâmetros fixos a considerar no estudo	94
Tabela 5.5 - Características da solução existente	95
Tabela 5.6 - Características da solução proposta	96
Tabela 5.7 - Comparação das características de ambas as soluções	97
Tabela 5.8 - Balanço da poupança obtida	97
Tabela 5.9 - Características da solução existente	98
Tabela 5.10 - Características da solução proposta	99
Tabela 5.11 - Comparação das características de ambas as soluções	99
Tabela 5.12 - Balanço da poupança obtida.....	100
Tabela A.1 - Classificação das vias e selecção da categoria de iluminação	110
Tabela A.2 - Comparação de categorias de iluminação.....	111
Tabela A.3 - Categoria de iluminação adicional.....	111
Tabela A.4 - Influência dos parâmetros (se relevante) a considerar para referência das categorias de iluminação mencionadas na tabela A.1, para definir a categoria de iluminação do projecto	111
Tabela A.5 - Categorias de iluminação da classe ME: Vias para veículos motorizados onde o cálculo de luminância é aplicável. Tabela válida para condições atmosféricas secas	112

Tabela A.6 - Categoria de iluminação MEW - Vias para veículos motorizados onde o cálculo de luminância é aplicável. Tabela válida para condições atmosféricas húmidas.....	112
Tabela A.7 - Selecção das classes de iluminação - ME	113
Tabela A.8 - Relação entre as classes da estrada adjacente e da área de conflito.....	115
Tabela A.9 - Categorias de iluminação CE: vias para veículos motorizados onde o cálculo de luminância não é aplicável	115
Tabela A.10 - Categoria de iluminação S: ciclovias e vias para peões	115
Tabela A.11 - Categoria de iluminação A: ciclovias e vias para peões	116
Tabela A.12 - Categoria de iluminação ES: iluminação hemisférica	116
Tabela A.13 - Categorias de iluminação EV: identificação de superfícies verticais	116
Tabela A.14 - Variação da categoria de iluminação relacionada com a influência dos parâmetros	117

Abreviaturas e Símbolos

AENL	Auto-estradas Norte Litoral
BEI	Banco Europeu de Investimento
cd/m ²	Candela por metro quadrado
CEN	<i>Comité Européen de Normalisation</i> (Comité europeu de normalização)
CEO	<i>Chief Executive Officer</i>
CIE	<i>Commision Internationale de l'Eclairage</i> (Comissão Internacional de Iluminação)
cm	Centímetro
CO ₂	Dióxido de carbono
CPI	Centro Português de Iluminação
CRGE	Companhias Reunidas de Gaz e Electricidade
DLOR	<i>Downward Light Output Ratio</i>
€/kWh	Euro por kilowatt hora
EDP	Energias de Portugal
EI	<i>Energy Efficiency Index</i> (Índice de eficiência energética)
EN	<i>European Norm</i>
ENE 2020	Estratégia Nacional para a Energia 2020
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
FM	Factor de manutenção de uma instalação
FML	Factor de manutenção da luminária
FMLL ou LLMF	Factor de manutenção da luminosidade da lâmpada
FSL ou LSF	Factor de sobrevivência da lâmpada
g	Gramas
GWh	Gigawatt hora
HN	Horário de funcionamento normal
HPM	<i>High pressure mercury vapor lamp</i>
HPS	<i>High pressure sodium</i>
HR	Horário de funcionamento reduzido

Hz	Hertz
IK	Grau de protecção contra impactos (resistência ao choque)
IP	<i>Ingress Protection Level</i>
IRC	Índice de reprodução de cor
IV	Infravermelho
J	Joule
K	Kelvin
kHz	Kilohertz
kg	Quilograma
kg _{ep} /1000€	Quilograma equivalente de petróleo para se obter 1000 Euros de PIB
km/h	Quilómetro por hora
km ²	Quilómetro quadrado
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt hora
LED	<i>Light-emitting diode</i>
lm	Lumen
lm/W	Lumen por Watt
L	Luminância
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
LOR	<i>Light Output Ratio</i>
LPS	<i>Low pressure sodium</i>
mm	Milímetro
nm	Nanómetro
PIB	Produto Interno Bruto
PIR	<i>Passive Infra Red</i>
PNAEE	Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética
R\$	Real (Brasil)
RNAE	Rede Nacional da Associação das Agências de Energia e Ambiente
SA	Sociedade anónima
SEEI/MEID	Secretaria de Estado da Energia e da Inovação do Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento
TCO ₂	Toneladas de dióxido de carbono
TI	Encandeamento perturbador
µg/m ³	Micrograma por metro cúbico
UE	União Europeia
UE15	União europeia constituída por 15 países
UE25	União Europeia constituída por 25 países
UE27	União Europeia constituída por 27 países
ULOR	<i>Upward Light Output Ratio</i>
UV	Ultravioleta

V Volt

Lista de símbolos

$\phi(t)$	Fluxo luminoso de uma lâmpada no instante t
ϕ_0	Fluxo luminoso inicial
λ	Comprimento de onda
\varnothing	Diâmetro
\approx	Aproximadamente igual a
η	Eficiência luminosa
$\phi_{\text{útil}}$	Fluxo útil
ϕ	Fluxo luminoso
$\partial\phi$	Fluxo luminoso incidente num elemento de superfície
∂A	Elemento de área
$\partial\Omega$	Ângulo sólido
θ	Ângulo entre dois segmentos
ω	Unidade de ângulo sólido
ε	Rendimento luminoso de uma fonte de luz

Capítulo 1

Introdução

A visão é um dos sentidos que permite não apenas detectar a luz e as imagens, mas também interpretá-las, sendo responsável por 80% das informações que recebemos do ambiente externo. Sem o sentido da visão, estaríamos privados de parte significativa das nossas capacidades de interacção com o mundo envolvente.

1.1 - Enquadramento e motivação

A iluminação pública está directamente ligada à segurança da via pública, sendo uma das características em destaque nas cidades, permitindo o reconhecimento dos espaços públicos. A iluminação pública está igualmente relacionada com a prevenção de criminalidade e, quando aplicada à iluminação de monumentos, permite o seu embelezamento e destaque nocturno.

Um dos objectivos mais relevantes da iluminação pública é, sem dúvida, a orientação do trajecto a percorrer, quando o campo de aplicação é a iluminação rodoviária. O âmbito desta dissertação centra-se no estudo de soluções que proporcionem um ponto de equilíbrio entre os níveis de iluminação necessários e o máximo de economia, agregado à fomentação de uma iluminação eficiente. Aliado a estes objectivos, está também a diminuição das emissões de CO₂ e dos custos associados com consumos de iluminação pública.

Não existem dados que permitam aferir o número exacto de pontos de luz existentes em Portugal, nomeadamente, por parte da EDP [1], existindo apenas dados relativos aos consumos verificados num determinado período, disponíveis na PORDATA - Base de Dados de Portugal Contemporâneo [2]. Faz-se, portanto, uma estimativa do número de pontos de luz existente, estando avaliados em cerca de 3 a 4 milhões, no total, tendo em conta uma estimativa dos vários municípios.

Recentemente, foi editado o Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública [3], que, embora não constituindo legislação a aplicar na iluminação pública, prevê algumas metodologias que podem ser adoptadas a fim de obter-se instalações de iluminação pública mais energeticamente eficientes, no sentido de cumprir os objectivos impostos pela União Europeia (UE) aos Estados-Membros.

A obtenção de uma maior eficiência energética é possível mediante o aproveitamento de novas tecnologias de iluminação, constituindo uma possibilidade de diminuição considerável do consumo energético, bem como das emissões de CO₂, que origina vantagens ao nível ambiental e ao nível dos cidadãos, proporcionando-lhes melhor qualidade de iluminação. Uma outra vantagem da implementação de uma instalação eficiente é a rápida amortização do investimento necessário, obtendo-se, ainda, vantagens complementares ao nível da competitividade europeia.

Neste sentido, a presente dissertação visa estudar as soluções e tecnologias existentes para ser possível alcançar das metas impostas.

1.2 - Organização e objectivos da tese

A presente dissertação tem como objectivo o estudo de soluções que possibilitem a obtenção de instalações de iluminação pública mais eficientes, contribuindo para uma redução na factura dos consumos dos municípios.

No capítulo dois é feita uma breve introdução ao aparecimento dos primeiros candeeiros de iluminação pública em Portugal [4], seguindo-lhe os programas para a sustentabilidade energética actualmente existentes [5]. É efectuada também uma caracterização do consumo energético em iluminação de vias em Portugal [2], para se estudar o ponto de situação e o modo como esses consumos têm vindo a evoluir. É abordada, igualmente, a questão da dependência energética de Portugal, a vários níveis (carvão e derivados, petróleo e importação de electricidade) e a questão da intensidade energética de Portugal comparativamente ao valor médio verificado na UE [6].

No capítulo três, é feita uma abordagem à legislação actualmente existente e aplicável à iluminação pública (EN 13201 [7] - [9]), onde são descritos e caracterizados os diversos tipos de vias e quais os níveis de iluminação que devem ser adoptados consoante cada caso. Referencia-se, igualmente, o Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública [3], levado a cabo pelo Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento, onde são descritos alguns procedimentos que tornam possível alcançar os objectivos de melhoria de eficiência energética das instalações de iluminação pública.

O capítulo quatro apresenta uma abordagem às soluções de lâmpadas e luminárias existentes para aplicação na iluminação pública, sendo feita uma descrição pormenorizada de cada tipo de lâmpada e efectuada uma comparação entre as diferentes soluções, no sentido de aferir-se relativamente às opções mais vantajosas em termos económicos e de eficiência energética. Relativamente às luminárias, são descritas as diferentes partes que as constituem e é feita uma análise das características que as mesmas devem apresentar para que, em conjunto com um certo tipo de lâmpada, seja possível obter-se uma optimização da sua utilização. Para complementar este estudo, é feita uma abordagem ao conceito de luminária eficiente vs luminária ineficiente [10] e é feita uma síntese do conceito de eficiência energética, abordando o Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE) [11] e quais os objectivos que Portugal se propõe atingir até 2015. Nesse seguimento, são apresentadas algumas instalações eficientes já existentes em Portugal, nomeadamente utilizando a tecnologia LED, seguindo-se alguns exemplos de instalações de iluminação pública eficientes a nível europeu e mundial. A última parte deste capítulo aborda a questão da poupança energética na iluminação pública e quais as medidas que podem ser adoptadas para ser possível obter-se uma redução dos consumos, sendo feita, igualmente, uma

referência à questão da importância da manutenção e as práticas que devem ser adoptadas para que seja possível obter-se a optimização da exploração da instalação.

No capítulo cinco é feito o estudo de três casos práticos, onde, no primeiro caso, se pretende estudar as vantagens associadas, em termos económicos, às medidas implementadas na cidade do Porto, no sentido de satisfazer os requisitos de eficiência energética, sendo que, no segundo e terceiro casos, será efectuado um estudo prático que engloba a substituição de uma solução actualmente existente por outra que apresente melhores características luminotécnicas e permita obter valores consideráveis de poupança energética e de emissões de CO₂.

O capítulo 6 apresenta uma síntese do trabalho realizado e aponta perspectivas de trabalho futuro, no sentido de uma melhoria da iluminação pública e sustentabilidade energética.

Capítulo 2

Iluminação pública e sustentabilidade energética

Em Outubro de 1878, o Rei D. Luiz I ofereceu à Câmara Municipal de Lisboa seis candeeiros de lâmpadas de arco tipo Jablochhoff, que tinham sido usados pela primeira vez na Cidadela de Cascais, a 28 de Setembro desse ano, por ocasião das festas de aniversário do Príncipe D. Carlos. As lâmpadas eram iguais às que iluminavam a praça do Teatro da Ópera, em Paris, na altura, tendo o Rei dado ordens para a compra de seis lâmpadas desse mesmo tipo, para serem experimentadas em Portugal. A instalação dos candeeiros teve lugar em Lisboa, na rua dos Mártires (Chiado), no Largo das Duas Igrejas e na varanda do Hotel Gibraltar (na actual Rua Serpa Pinto) [4].

Mesmo apesar desta experiência, a expansão da novidade da instalação eléctrica não teve lugar, por implicar elevados custos, não estando a Câmara, portanto, preparada para esse encargo. Assim, a resistência à instalação da luz eléctrica perdurou até 1887, com base em argumentos de prudência e observação da nova energia, bem como a consciencialização dos custos inerentes à aquisição de nova maquinaria.

Em Outubro de 1887 é celebrado um contrato entre a Câmara Municipal de Lisboa e a empresa belga S.A. *d'Eclairage du Centre*, válido por 30 anos, no sentido de fornecer gás à cidade, que teria como condição dotar a iluminação na Avenida da Liberdade e na Praça dos Restauradores a electricidade, pagando o mesmo preço que pagaria se a mesma fosse a gás.

Nesse mesmo ano, a empresa passa a chamar-se S.A. Gaz de Lisboa e instalou em Belém uma fábrica de gás, tendo expandido a rede de canalizações e colocado milhares de candeeiros na cidade, despoletando uma verdadeira expansão no campo da iluminação pública e preparando, assim, o território para a imposição da electricidade.

Em Maio de 1889 surge o fim da lamparina, com a instalação definitiva da iluminação eléctrica no Chiado, Rua do Ouro e Avenida da Liberdade, movimentando as famílias e a circulação das pessoas pela zona nobre da baixa, atraídas pela novidade e progresso, tecendo-se comparações com a moderna cidade de Paris.

Finalmente, a 10 de Junho de 1891, a Lisbonense é agregada à S.A. Gaz de Lisboa, tendo-se constituído a CRGE, Companhias Reunidas Gaz e Electricidade, que durante 75 anos vão desenvolver e expandir a electricidade em Lisboa, quer em iluminação particular quer em iluminação pública, tendo sido o último candeeiro a gás apagado em 1965.

2.1 - Programas para a sustentabilidade energética

Com o avançar do tempo, a tecnologia utilizada sofreu uma importante evolução, sendo que, hoje em dia, existem objectivos a cumprir por parte de cada Estado-Membro pertencente à União Europeia (UE), no sentido de cumprir objectivos que respeitem a sustentabilidade energética. Assim, Portugal, enquanto Estado-Membro da UE, criou a ENE 2020 - estratégia nacional de energia 2020, onde define estratégias que visam o cumprimento das medidas impostas pela UE. A ENE 2020 [13] define uma agenda para a competitividade, o crescimento e a independência energética e financeira do país através da aposta nas energias renováveis e da promoção integrada da eficiência energética, assegurando a segurança de abastecimento e a sustentabilidade económica e ambiental do modelo energético. Como resultados esperados, tem-se:

- Redução da dependência energética do País face ao exterior para 74% em 2020, produzindo, nesta data, a partir de recursos endógenos, o equivalente a 31% da energia final;
- Cumprir os compromissos assumidos por Portugal no contexto das políticas europeias de combate às alterações climáticas, permitindo que em 2020 60% da electricidade produzida tenha origem em fontes renováveis e o consumo de energia final seja reduzido em 20%;
- Reduzir em 25% o saldo importador energético com a energia produzida a partir de fontes endógenas gerando uma redução de importações de 2000 milhões de Euros anuais no horizonte de 2020;
- Consolidar o *cluster* das energias renováveis em Portugal, assegurando em 2020 um Valor Acrescentado Bruto de 3800 milhões de Euros e criando mais 100000 postos de trabalho a acrescentar aos 35000 já existentes;
- Continuar a desenvolver o *cluster* industrial associado à promoção da eficiência energética assegurando a criação de 21000 postos de trabalho, gerando um investimento previsível de 13000 milhões de Euros até 2020 e proporcionando exportações adicionais de 400 milhões de Euros;
- Promover o desenvolvimento sustentável criando condições para o cumprimento das metas da redução de emissões assumidas por Portugal no quadro europeu.

Esta Estratégia Nacional da Energia - ENE 2020 - é composta por 5 eixos principais:

- Eixo 1 - Agenda para a competitividade, o crescimento e a independência energética e financeira, englobando:
 - Dinamização da economia;
 - Desenvolvimento regional;
 - Independência energética e financeira;
 - Mercados de energia competitivos.

- Eixo 2 - Aposta nas energias renováveis:
 - Biomassa;
 - Biocombustíveis e biogás;
 - Ondas, geotermia e hidrogénio;
 - Hídrica;
 - Eólica;
 - Solar.

- Eixo 3 - Promoção da eficiência energética, englobando:
 - *Mobi.e* - rede de carregamento de veículos eléctricos;
 - Redes inteligentes (ex: *smart cities*);
 - Fundo de eficiência energética;
 - Iluminação Pública - promover e apoiar projectos inovadores de iluminação pública com prioridade para os centros históricos;
 - PNAEE - Plano Nacional de Acção para Eficiência Energética.

- Eixo 4 - Garantia da segurança de abastecimento:
 - *Mix* energético - apostar na complementaridade hídrica-eólica e dar continuidade à utilização do gás natural;
 - Interligações - Reforço das interligações com as redes europeias a nível de electricidade e gás;
 - Redes de armazenamento - Investir no reforço e na modernização das infra-estruturas de transporte e armazenamento no plano nacional e internacional (Mibel, Mibgás e Mercado do Sudoeste).

- Eixo 5 - Sustentabilidade energética, nomeadamente:
 - Sustentabilidade Económica;
 - Sustentabilidade Técnica;
 - Sustentabilidade Ambiental.

Assim, a estratégia europeia para a eficiência energética engloba medidas a tomar no sector da iluminação pública, no sentido de promover a utilização racional de energia e a eficiência energético-ambiental em equipamentos de iluminação pública existentes, bem como a melhoria da eficiência energética de instalações semaforicas, com a consequente diminuição das emissões de CO₂. As medidas a implementar são as seguintes:

- Utilização de equipamentos e/ou soluções mais eficientes que visem a melhoria da eficiência energética das instalações, nomeadamente:
 - Instalação de sistemas de regulação de fluxo luminoso;
 - Substituição de luminárias ineficientes ou com mais de 10 anos de utilização, por equipamentos com melhor capacidade de reflexão e/ou necessidade de fontes de luz de menor potência, bem como substituição de balastos ineficientes ou com mais de 10 anos;
 - Substituição de lâmpadas de vapor de mercúrio (HPM) por fontes de luz mais eficientes;
 - Instalação de tecnologias de controlo, gestão e monitorização da Iluminação Pública.

- Substituição das fontes luminosas nos sistemas de controlo de tráfego e peões por tecnologia LED.

2.2 - Caracterização do consumo energético em iluminação de vias em Portugal

O sector da iluminação pública constitui um dos sectores onde o consumo de energia eléctrica é considerável. Torna-se, assim, necessário efectuar uma avaliação das soluções existentes, no que respeita ao consumo energético dos sistemas de iluminação de vias e edifícios públicos, tendo em consideração objectivos de eficiência energética.

A função da iluminação pública é iluminar e, quando aplicada à iluminação de vias, permitir aos condutores uma boa percepção do caminho a percorrer, com os devidos requisitos de, simultaneamente, não provocar encandeamento.

Neste trabalho, não serão abordados aspectos respeitantes ao estabelecimento e manutenção dos sistemas de iluminação pública. As alternativas possíveis são realmente inúmeras, mas não se enquadram no âmbito que se pretende dar a este trabalho. Nesse sentido, será dado ênfase apenas às questões relacionadas com os consumos energéticos dos sistemas de iluminação pública e de gestão de energia.

No ano de 2009, o total de energia eléctrica consumida em Portugal foi de cerca de 50000 GWh, repartindo-se de acordo com a figura 2.1 e o gráfico 2.1.

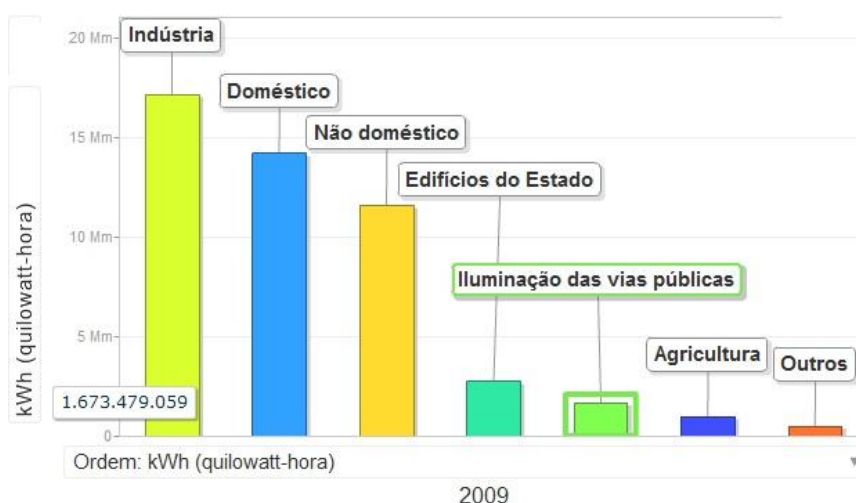


Figura 2.1 - Consumo energético em Portugal em 2009 [2]

O gráfico 2.1 apresenta os valores da figura 2.1 em percentagem.

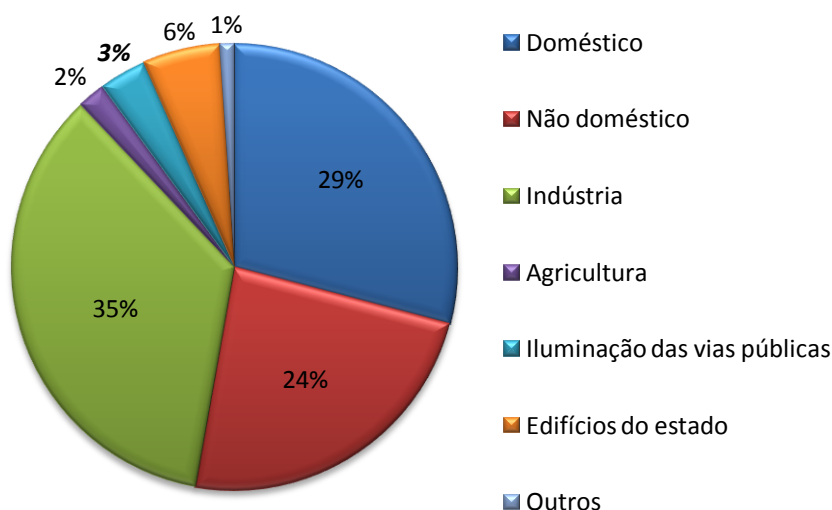


Gráfico 2.1 - Consumos de energia eléctrica em Portugal no ano de 2009 [2]

Pela análise do gráfico 2.1, verifica-se que 3% do total da energia eléctrica consumida em 2009 diz respeito à iluminação pública, correspondendo a aproximadamente 1700 GWh, o que é considerável.

Efectuando uma breve análise dos restantes consumos, constata-se que os sectores que apresentam maior consumo energético são o da indústria, seguido dos sectores doméstico, não doméstico, edifícios do estado, iluminação das vias públicas, agricultura e outros.

Torna-se, assim, fundamental efectuar esforços no sentido de se obter uma diminuição dos consumos respeitantes à iluminação das vias públicas.

A questão da eficiência energética é fundamental e constitui um primeiro passo do percurso que permitirá atingir os objectivos impostos pela UE e, naturalmente, colocar Portugal numa posição favorável no *ranking* dos países que apostam na eficiência energética, optando por soluções que apresentem as mesmas (ou até melhores) características luminotécnicas das soluções existentes (muitas das quais já obsoletas), mas com consumos inferiores, melhor desempenho e optimização das condições e frequência de manutenção.

O gráfico 2.2 ilustra o consumo energético relativo à iluminação pública, entre 1994 a 2009.

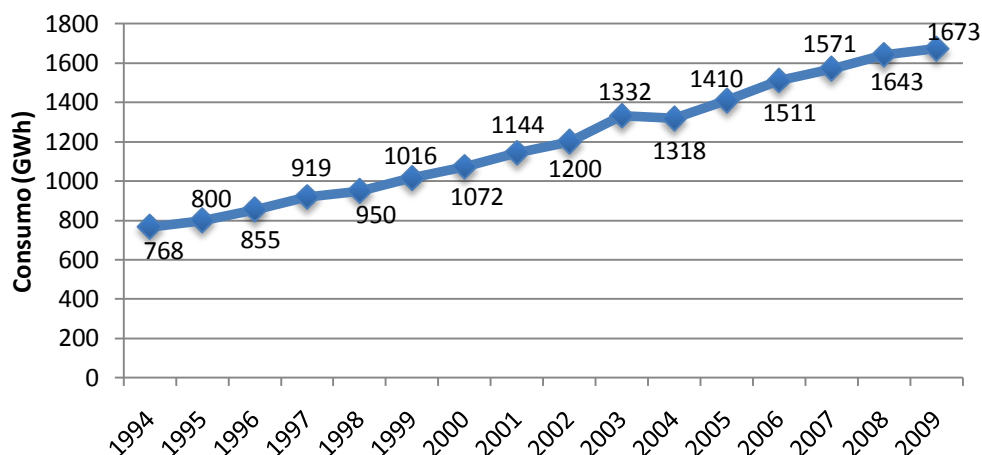


Gráfico 2.2 - Evolução do consumo energético da iluminação pública em Portugal, de 1994 a 2009 [2]

Pela análise do gráfico 2.2, constata-se que, tendencialmente, o consumo da iluminação pública aumenta anualmente, justificado pelas novas infra-estruturas que vão sendo implementadas todos os anos, para satisfazer as necessidades de iluminação que a construção de uma via acarreta. Tais construções contribuem, inevitavelmente, para o aumento do consumo energético associado à iluminação pública, uma vez que as soluções a implementar, até há poucos anos, não contemplavam a noção de eficiência energética, sendo mais notório, por conseguinte, o aumento associado ao consumo.

Relativamente aos custos associados ao consumo de energia eléctrica respeitante à iluminação pública no ano de 2009, estes foram de aproximadamente 152 milhões de Euros, uma vez que a tarifa aplicável a esse ano foi 0,0908 €/kWh, segundo a Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE).

Tendo em conta que o aumento anual médio do consumo de iluminação pública é na ordem dos 60 GWh e sabendo-se que a tarifa aplicável ao ano de 2011 é 0,1027 €/kWh, estima-se que os gastos associados sejam cerca de 172 milhões de Euros, o que constitui um valor considerável. É, assim, cada vez mais relevante o dever de efectuar esforços no sentido de reverter a tendência destes números, não só para efeitos de diminuição dos gastos como, também, mais uma vez, como necessidade de sustentabilidade e consciencialização energética.

2.2.1 - Consumo energético de iluminação pública em Portugal por regiões

O gráfico 2.3 apresenta os valores dos consumos da iluminação das vias públicas em Portugal, nas diferentes regiões. Os valores são referentes ao ano de 2008, uma vez que a fonte não apresentava valores relativos a um horizonte temporal mais recente.

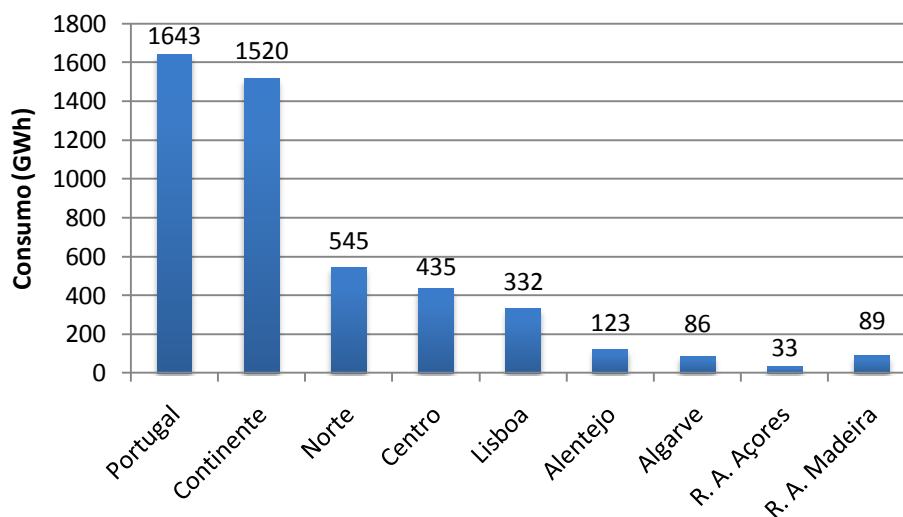


Gráfico 2.3 - Consumo energético de iluminação pública em Portugal, por regiões, em 2008 [7]

Pela análise do gráfico 2.3, pode aferir-se que Portugal Continental é responsável pela maior parte do consumo em iluminação pública, traduzido em 1520 GWh, enquanto Portugal Insular consome apenas 122 GWh, verificando-se maior consumo na Região Autónoma da Madeira. Em Portugal Continental, é na região Norte onde se verifica a maior fatia de consumo, seguindo-se a região Centro, Lisboa, Alentejo e Algarve, respectivamente.

As diferenças verificadas dizem respeito, naturalmente, às necessidades de iluminação das vias. Na região Norte, por exemplo, que engloba não só mas também o distrito do Porto, existem muitas vias de comunicação (auto-estradas e estradas nacionais) que ligam esta cidade ao Minho, ao interior do país e à zona Centro, necessitando, portanto, da devida iluminação. Outro aspecto importante prende-se com a iluminação das vias não principais, como é o caso das estradas municipais, que são em número considerável, dado a existência de uma população muito difusa no Norte do país.

2.3 - Evolução da tarifa de iluminação pública

O gráfico 2.4 apresenta a evolução da tarifa associada à iluminação pública, de 2005 a 2011, visto não ter sido possível encontrar os preços respeitantes a anos anteriores.

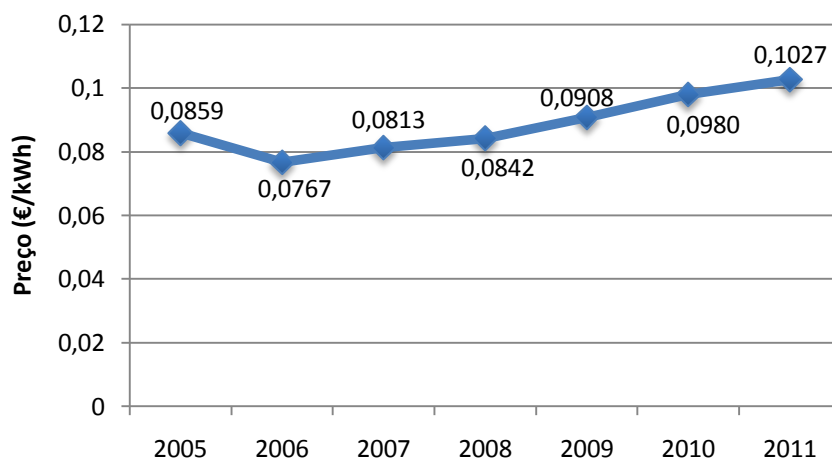


Gráfico 2.4 - Evolução da tarifa da iluminação pública [15]

Embora a tarifa associada à iluminação pública tenda a aumentar, anualmente, mediante análise do gráfico 2.4, é possível verificar que de 2005 para 2006 houve uma diminuição de 0,0092 €/kWh.

Os aspectos tidos em conta pela ERSE na fixação de tarifas num determinado ano para o seguinte são as estimativas de consumo e a hidraulicidade; relativamente a este último, se não houver de facto água (i.e., se o ano for seco), há que tomar em consideração o preço dos combustíveis, uma vez que torna-se impreterível a entrada em funcionamento de centrais térmicas, naturalmente mais caras que as hídricas.

O ano de 2005 foi um ano rico em termos hídricos, uma vez que choveu bastante, o que influenciou as perspectivas de hidraulicidade para 2006, ano para o qual foram estimados valores de tarifas que não corresponderam efectivamente à situação real, uma vez que 2006 foi um mau ano em termos hídricos e onde se verificou, também, um aumento considerável do preço dos combustíveis. A conjugação destes dois factores resultou no disparo do preço de utilização de centrais térmicas, o que originou um aumento de custos inesperado.

Estes factos justificam a diminuição da tarifa para a iluminação pública, de 2005 para 2006, verificando-se um aumento sucessivo nos anos subsequentes, devido não só ao facto relatado, no sentido de repor o montante em falta, mas conjugado com as estimativas tarifárias que foram sendo feitas de um ano para o seguinte.

2.4 - A iluminação pública a nível mundial

A título de curiosidade, apresenta-se a figura 2.2, que ilustra a Terra à noite, onde é visível a iluminação nos diferentes países.

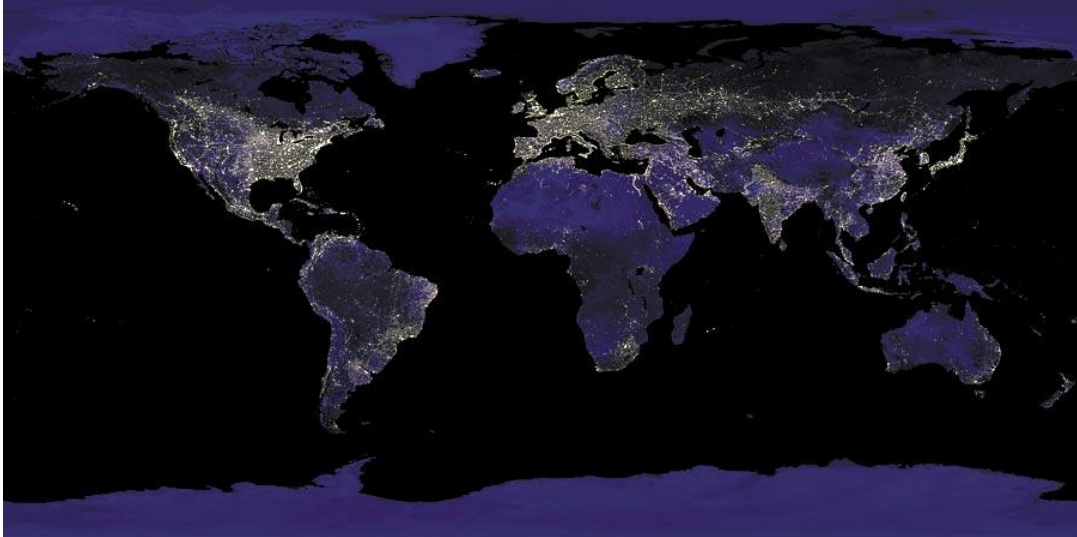


Figura 2.2 - A Terra à noite (2008) [16]

Conforme é possível constatar, o continente Europeu, a América do Norte, e a Índia, China e Japão no continente Asiático apresentam uma iluminação mais notória que o resto do mundo.

A figura 2.3 ilustra a iluminação do continente Europeu um pouco mais ao pormenor.



Figura 2.3 - O continente Europeu à noite (2008) [16]

Pela análise da figura 2.3, a zona costeira do sul da Europa ocidental apresentam iluminação mais intensa que as cidades do interior. São exemplo a zona de Barcelona, Nice e Mónaco. A zona de Londres também apresenta uma intensidade superior quando comparada

com Edimburgo, por exemplo, o mesmo acontecendo com Paris em comparação com o restante território francês e Madrid em comparação com o restante território espanhol.

Na figura 2.4, é possível visualizar a iluminação de Portugal e das Regiões Autónomas, sendo notória, em Portugal Continental, a iluminação mais intensa na costa litoral desde o Minho até ao Algarve, exceptuando-se a costa litoral alentejana.



Figura 2.4 - Iluminação de Portugal Continental e Insular em 2008 [16]

Em relação a Portugal Continental, as regiões com maior iluminação dizem respeito à zona do grande Porto, Minho, Lisboa e zona sul do Algarve, sendo, portanto, consistente com os dados referentes aos consumos apresentados no gráfico 2.3.

2.5 - Dependência energética de Portugal

2.5.1 - Dependência energética de Portugal face à média europeia - carvão e derivados

A tabela 2.1 apresenta os valores da dependência energética de Portugal referentes a carvão e derivados, face à média europeia. Os valores acima de 100% dizem respeito a *stocks* acumulados durante o ano em questão.

Tabela 2.1 - Percentagem da dependência energética de Portugal face à média europeia (carvão e derivados) [6]

	1998	2000	2005	2006	2007	2008
EU27 (%)	36,2	42,6	56,4	58,6	58,6	64,4
Portugal (%)	100,3	103,4	96,3	105,7	100,6	91,2

A disposição gráfica dos valores da tabela 2.1 traduz-se no gráfico 2.5.

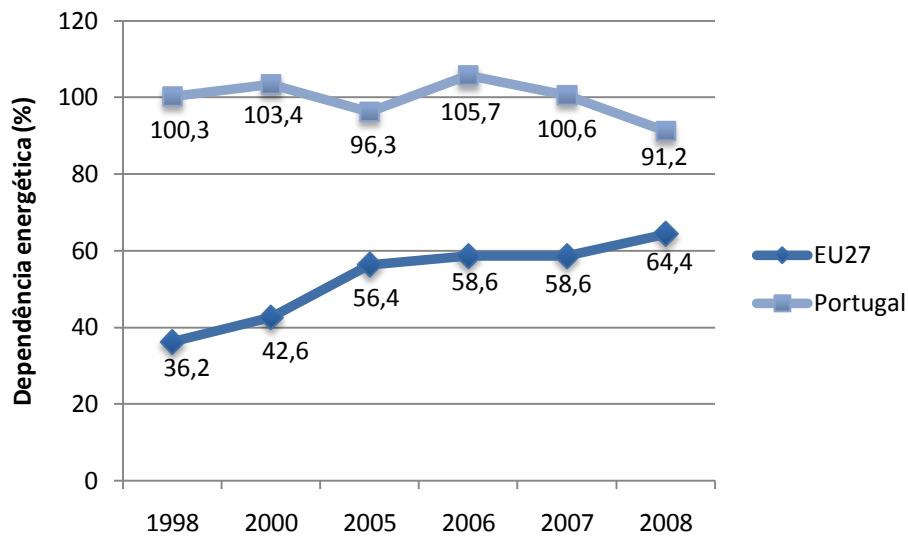


Gráfico 2.5 - Dependência energética de Portugal face à média europeia (carvão e derivados) [6]

Pela análise do gráfico 2.5, constata-se que a percentagem de dependência de Portugal é sempre superior à média europeia, verificando-se, contudo, uma tendência de diminuição a partir de 2006.

2.5.2 - Dependência energética de Portugal face à média europeia - petróleo

A questão da dependência do petróleo constitui igualmente uma preocupação. De seguida, apresenta-se a tabela 2.2 e o gráfico 2.6, respeitantes aos valores referentes a Portugal e à média europeia. Os valores acima de 100% dizem respeito a *stocks* acumulados durante o ano em questão.

Tabela 2.2 - Percentagem da dependência energética de Portugal face à média europeia (petróleo) [6]

	1998	2000	2005	2006	2007	2008
EU27 (%)	77,0	75,8	82,4	83,7	82,5	84,3
Portugal (%)	98,6	99,1	102,3	98,1	98,9	102,2

O gráfico 2.6 representa os valores constantes na tabela 2.2.

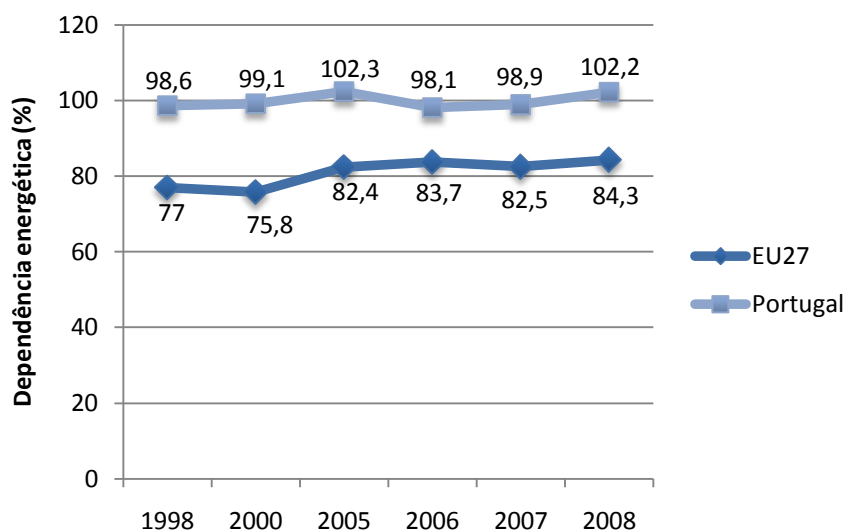


Gráfico 2.6 - Percentagem da dependência energética de Portugal face à média europeia (petróleo) [6]

Mais uma vez, os valores de Portugal situam-se acima da média europeia e a um valor praticamente constante.

2.5.3 - Dependência energética de Portugal face à média europeia - importação de electricidade

A tabela 2.3 apresenta os valores referentes à importação de electricidade em Portugal face à média europeia. Os valores negativos são referentes a exportações.

Tabela 2.3 - Valores de importação de electricidade de Portugal face à média Europeia (GWh) [6]

	1998	2000	2005	2006	2007	2008
EU27 (GWh)	-634	19614	11310	3478	10489	16488
Portugal (GWh)	274	931	6824	5441	7488	9431

O gráfico 2.7 traduz os valores constantes na tabela 2.3.

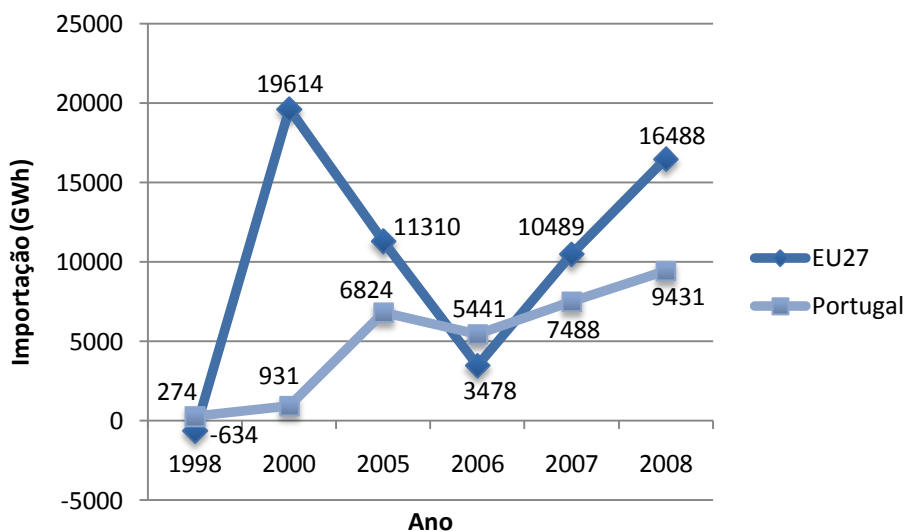


Gráfico 2.7 - Valores de importação de electricidade de Portugal face à média Europeia (GWh) [6]

2.5.4 - Evolução da intensidade energética em Portugal

Segundo valores do Eurostat relativos a 2005, Portugal era o segundo país da UE25 com a maior taxa de dependência energética, tendo importado nesse ano 99,4% do total de energia consumida, face à média europeia de 56,2% (valor referente ao quociente entre o valor líquido das importações energéticas e o consumo bruto de energia). Esta dependência energética está associada à não existência em Portugal de recursos energéticos endógenos e a uma elevada ineficiência no uso da energia. Resumidamente, para se produzir em Portugal 1000 Euros de riqueza (PIB), consome-se mais 17,8% de energia do que a média da UE25, e mais 30,6% do que a média da UE15.

De 1994 a 2005, em vez de se verificar uma redução da ineficiência energética, verificou-se um aumento, tendência essa que contraria a registada na UE. Nesse mesmo período, a energia gasta para se produzir 1000 Euros de riqueza (PIB) aumentou de 234,54 kgep¹ para 241,43 kgep em Portugal (+2,9%), enquanto na UE25 diminuiu de 231,34 kg para 204,89 kg (-11,4%) e, na UE15, desceu de 206,1 kg para 184,85 kg (-10,3%).

Apresenta-se, de seguida, a tabela 2.4, ilustrativa da elevada dependência energética de Portugal face aos restantes países da UE, cujos valores dizem respeito ao ano de 2005.

¹ Quilograma equivalente de petróleo.

Tabela 2.4 - Taxa de dependência energética em 2005 [6]

Países	Taxa em 2005
UE25	56,2%
Bélgica	80,7%
Alemanha	65,1%
França	54,5%
Itália	86,8%
Suécia	45,0%
Espanha	85,1%
Irlanda	90,2%
Reino Unido	13,0%
Portugal	99,4%
Portugal/UE25	+76,9%

A tabela 2.4 está representada no gráfico 2.8.

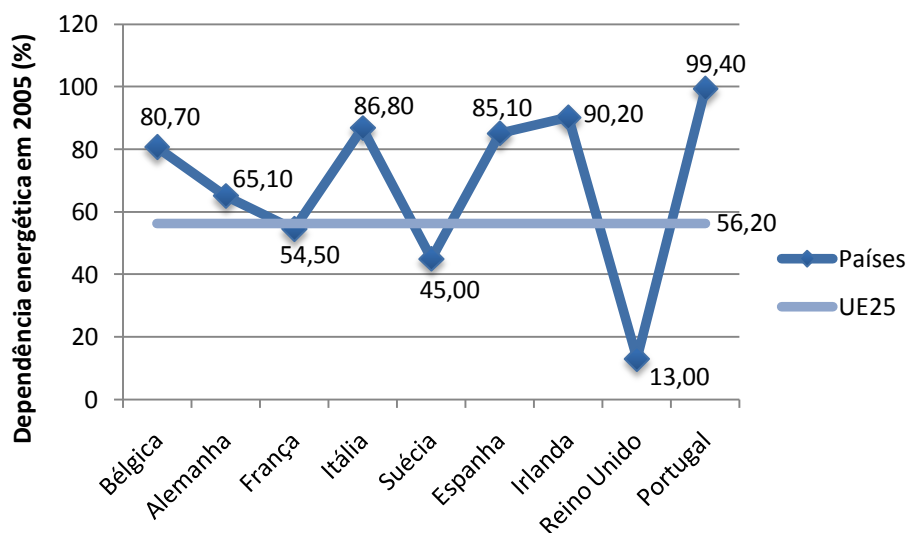


Gráfico 2.8 - Taxa de dependência energética em 2005 [6]

A tabela 2.5, por sua vez, ilustra a intensidade energética da economia, i.e., kg equivalente de petróleo necessário para obter 1000 Euros de PIB, cujos valores são referentes aos anos de 1994, 2005 e 2008, com intuito de análise da respectiva evolução.

Tabela 2.5 - Intensidade energética da economia - 1994, 2005 e 2008 [6]

Países	1994 ²	2005 ²	2008 ²	Variação 1994- 2005 (%)	Variação 2005-2008 (%)
UE25	231,34	204,89	-	-11,4	-
UE15	206,10	184,85	-	-10,3	-
UE27	-	-	167	-	-
Bélgica	240,87	205,70	200	-14,6	-2,77
Dinamarca	151,05	114,12	103	-24,4	-9,74
Alemanha	177,23	157,02	151	-11,4	-3,83
França	196,66	185,47	167	-5,7	-9,96
Finlândia	318,67	241,46	218	-24,2	-9,71
Suécia	272,36	204,34	152	-25,0	-25,6
Espanha	223,30	219,23	176	-1,8	-19,7
Irlanda	236,65	143,92	107	-39,2	-25,7
Reino Unido	259,71	202,63	114	-22,0	-43,7
Portugal	234,54	241,43	182	+2,9	-24,6
Portugal/UE25	+1,4%	+17,8%	-	-	-
Portugal/UE15	+13,8%	+30,6%	-	-	-
Portugal/UE27	-	-	-	-	+9%

Pela análise da tabela 2.5, em 2005, a intensidade energética portuguesa era superior à média da UE dos 25 países em 17,8%. Se se considerarem os 15 países mais desenvolvidos da UE antes do alargamento, a intensidade energética de Portugal era superior em relação à média em 30,6%. Por outras palavras, para se produzirem 1000 Euros de riqueza em Portugal, consumia-se mais 17,8% de energia do que a média da UE25 e mais 30,6% do que a média da UE15.

Em Portugal, a evolução de 2005 para 2008 é favorável, no sentido que foi possível passar de 241 kgep/1000€ para 182 kgep/1000€, o que representa uma diminuição de 59 kgep/1000€. Ainda assim, Portugal continua a ter uma percentagem superior à média europeia, embora não tão elevada quando comparada com 1994 e 2005.

² Valores em kgep/1000€.

2.6 - Conclusão

Actualmente, a necessidade de diminuir o consumo de energia, nomeadamente com electricidade, tem-se tornado cada vez mais evidente. A União Europeia impôs objectivos a todos os Estados-Membros, no sentido de promover a sustentabilidade e eficiência energéticas, que passam pela utilização de soluções economicamente mais viáveis e que, ao mesmo tempo, contribuem para a diminuição de emissões de CO₂ para a atmosfera, objectivo imperioso para a sustentabilidade ambiental.

A utilização racional de energia começa com a consciencialização dos cidadãos para a importância e impacto das suas atitudes e comportamentos. O facto de optar-se por componentes que consumam menos energia (caso das lâmpadas) é fulcral, visto esta constituir uma das áreas em que a contribuição directa dos cidadãos para o consumo de energia eléctrica é vital. O consumo de um único consumidor pode não representar valores muito relevantes, mas se se extrapolar esses valores para o total consumido no país, o cenário muda radicalmente.

No que respeita à iluminação pública, o preço da tarifa tende a aumentar anualmente, num valor que ronda os 0,003 €/kWh [15]. O aumento do consumo na iluminação pública reflecte a implementação de novas infra-estruturas de iluminação pública, que objectivam o natural desenvolvimento. Há, contudo, necessidade de implementar soluções alternativas mais eficientes, com o intuito de baixar os consumos energéticos e, conseqüentemente, os custos associados.

Em relação aos consumos de iluminação pública em Portugal Continental, a zona Norte é a que apresenta um consumo maior, seguida da região Centro, Lisboa, Alentejo e Algarve, respectivamente. Relativamente a Portugal Insular, a Região Autónoma da Madeira é o maior consumidor, seguida da Região Autónoma dos Açores.

Relativamente à intensidade energética da economia, que se traduz na quantidade de energia consumida para ser possível produzir 1000 Euros de riqueza, Portugal apresentava, em 2005, valores superiores aos de 1994, na ordem dos 2,9%; já em 2008, verificou-se um decréscimo de cerca de 25%, comparando os valores com os de 2005, o que revela que as medidas tomadas estão a surtir efeito, embora os mesmos ainda se situem acima do valor médio europeu em cerca de 9,5%.

Capítulo 3

Iluminação Pública: Legislação aplicável e Documento de Referência

Aquando da realização de um projecto de iluminação pública, para além de ser impreterível o cumprimento dos requisitos que permitirão obter-se os resultados esperados em termos de iluminação para um determinado local, é igualmente necessário e incontornável o cumprimento da legislação aplicável. Para o efeito, existe a EN 13201, cujas organizações nacionais de normalização dos seguintes países são obrigadas a aplicar a referida Norma: Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Eslováquia, Espanha, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Luxemburgo, Malta, Noruega, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suécia e Suíça.

3.1 - Norma Europeia para a iluminação pública - EN 13201

A EN 13201, aplicável à iluminação pública, está dividida em quatro partes, que visam o seguinte:

- EN 13201-1: Escolha das classes de iluminação;
- EN 13201-2: Parâmetros fotométricos recomendados [7];
- EN 13201-3: Cálculo dos parâmetros fotométricos [8];
- EN 13201-4: Métodos de medição das performances fotométricas [9].

3.1.1 - EN 13201-1 - Escolha das classes de iluminação

A escolha das classes de iluminação tem que obedecer a determinados critérios consoante o tipo de via a que se destina a iluminação. As classes de iluminação existentes são:

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

Os parâmetros a ser tomados em conta para a classe M são:

- Velocidade (natureza da via): alta ou moderada;
- Geometria (separação de vias, tipos de entradas/saídas na via, áreas de conflito): separação das vias - sim ou não; Densidade de saídas/entradas na via - alta ou moderada;
- Natureza do tráfego (fluxo do tráfego, ciclistas, peões, estacionamento, propensão ao crime/necessidade de reconhecimento facial): apenas motorizado, ou misto com elevada percentagem de não-motorizado;
- Influências ambientais (complexidade do campo visual, luminância envolvente, condições climáticas);
- Orientação visual, controlo de tráfego: Fraca, boa ou muito boa.

As áreas de conflito ocorrem quando vias de circulação se intersectam ou desembocam em áreas frequentadas por peões, ciclistas ou outros utilizadores e são exemplo de zonas de conflito: cruzamentos, rotundas, estradas de ligação com largura e número de faixas reduzidas, etc.

Para a classe C, os parâmetros são:

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

A existência destas áreas tem como resultado o aumento da probabilidade de colisão entre os diversos utilizadores da estrada. Assim, a iluminação destas zonas deverá revelar em especial: a posição dos passeios, as marcas e sinalizações da estrada, a movimentação dos veículos na vizinhança da área e a presença de pedestres, outros utilizadores e de eventuais obstáculos.

Para a classe P, os parâmetros a considerar são:

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

Para efectuar a correspondência entre as classes de iluminação e os critérios a ter em consideração, existem tabelas para o efeito, enunciadas de seguida. Os valores mencionados referem-se à luminância média recomendada para os diversos tipos de vias.

As tabelas 3.1 e 3.2 são respeitantes aos valores de luminância média recomendada para as vias interurbanas, nas quais a velocidade máxima autorizada está compreendida entre 70 km/h e 130 km/h.

As tabelas 3.3 e 3.4 dizem respeito aos valores de iluminância média recomendada para as vias urbanas, com uma velocidade máxima autorizada de 50 km/h, nas quais as posições de observação são múltiplas e não permitem exprimir valores de luminância significativos.

A tabela 3.5 é específica para as situações respeitantes a zonas rurais, nas quais as performances são sempre indicadas em termos de iluminância.

Tabela 3.1 - Nível de luminância média [cd/m²] para vias interurbanas [7]

Tipo de via	Características	Luminância média [cd/m ²]		Norma EN 13201-1	
		Fraca	Elevada	Classe iluminação	Situações
Auto-estrada Interurbana (A)	Complexidade: normal Densidade de tráfego: Elevada Distância entre acessos: ≥ 3 km				A1
	$15000 \leq \text{Densidade de tráfego} \leq 25000$	1	1,5	ME2	
	Densidade de tráfego ≥ 25000	1,5	2	ME2 ME1	
Estrada nacional interurbana (B)	Complexidade: normal Veículos em estacionamento: não Densidade de tráfego: elevada Distância entre acessos: ≤ 3 km				A2
	Densidade de tráfego ≤ 7000	1	1,5	ME3	
	Densidade de tráfego ≤ 25000	1,5	2	ME2	
	Densidade de tráfego ≥ 25.000	1,5	2	ME2 ME1	
Estrada secundária interurbana (C)	Complexidade: normal Densidade de tráfego: normal; Distância entre acessos: ≤ 3 por km	0,75		ME4	B2
			1	ME3	

Sendo:

- (A) - Vias separadas; Velocidade ≤ 130 km/h; Apenas veículos motorizados;
 (B) - Via única; Velocidade ≤ 90 km/h; Veículos motorizados; Veículos motorizados lentos; Ciclistas.
 (C) - Velocidade ≤ 90 km/h; Veículos motorizados; Veículos motorizados lentos; Ciclistas.

Tabela 3.2 - Nível de luminância média [cd/m^2] para vias urbanas [7]

Tipo de via	Características	Iluminância média (lux)		Norma EN 13201-1	
		Fraca	Elevada	Classe iluminação	Situações
Circunvalação Autoestrada urbana (D)	Complexidade: elevada Densidade de tráfego: elevada Distância entre acessos: ≥ 3 km				A1
	$15000 \leq$ Densidade tráfego ≤ 25000	-	1,5	CE2	
	Densidade tráfego ≥ 25000	-	2	CE2	
Estrada de entrada em cidade (E)	Complexidade: elevada Veículos em estacionamento; não Tráfego de ciclistas: existente	1	1,5	ME3 ME2	B1
Estrada de entrada em localidade (F)	Cruzamentos ≥ 3 por km Densidade de tráfego: elevada				
	Complexidade: elevada Veículos em estacionamento: sim Tráfego de ciclistas: existente	-	1,5	ME2	B2
	Cruzamentos: ≥ 3 por km Densidade de tráfego: elevada				

Sendo:

(D) - Vias separadas; Velocidade ≤ 110 km/h; Apenas veículos motorizados.

(E) - Via única; Velocidade ≤ 70 km/h; Zona sem habitações; Zona industrial; Veículos motorizados; Ciclistas; Peões.

(F) - Velocidade ≤ 70 km/h; Zona habitacional; Veículos motorizados; Veículos motorizados lentos; Ciclistas; Peões.

Tabela 3.3 - Nível de iluminância média (lux) para vias urbanas [7]

Tipo de via	Características	Iluminância média (lux)		Norma EN 13201-1	
		Fraca	Elevada	Classe iluminação	Situações
Via urbana importante (Praça, avenida) (G)	(1)	-	20	CE2	B2
Via urbana secundária (Rua, avenida) (H)	(2)	10	15	CE4 CE3	B2
Serviço rodoviário (rua) (I)	(3)	10	15	CE4 CE3	D1 D2 D3 D4

Sendo:

(G) - Velocidade ≤ 50 km/h; Veículos motorizados; Veículos lentos; Ciclistas; Peões.

(1) - Complexidade: elevada; Veículos em estacionamento: sim; Tráfego de ciclistas: existente; Cruzamentos ≥ 3 por km; Densidade de tráfego: elevada.

(H) - Velocidade ≤ 50 km/h; Veículos motorizados; Veículos lentos; Ciclistas; Peões.

(2) - Complexidade: normal a elevada; Veículos em estacionamento: sim; Tráfego de ciclistas: existente; Cruzamentos ≤ 3 por km; Densidade de tráfego: normal.

(I) - Velocidade ≤ 30 km/h; Veículos motorizados; Veículos lentos; Ciclistas.

(3) - Complexidade: normal ou elevada; Veículos em estacionamento: sim; Tráfego de ciclistas ou peões: normal ou elevado; Tráfego automóvel: normal ou elevado; Risco de agressão: normal ou elevado; Reconhecimento da face: necessário.

Tabela 3.4 - Nível de iluminância média (lux) para vias urbanas [7]

Tipo de via	Características	Iluminância média (lux)		Norma EN 13201-1	
		Fraca	Elevada	Classe iluminação	Situações
Via zona comercial (J)	Risco de agressão: elevado				
	Reconhecimento da face: necessário				
	Dificuldade de circulação: elevada	-	20	CE2	D2
	Densidade de peões: normal a elevada				
Via pedonal isolada da estrada	Risco de agressão: elevado				
	Reconhecimento da face: necessário	7,5 a 10	15 a 20	S3 a S2 S2 a S1	E1
	Densidade de peões: normal a elevada			CE2	
	Apenas peões.				
Vias de peões; Pista para ciclistas adjacente a uma estrada	Risco de agressão: normal				
	Reconhecimento da face: necessário	7,5 a 10	15	S3 a S2 S2 a S1	E2 C1
	Densidade de peões: normal a elevada				
Praças, rotundas (K)	Múltiplas intercepções	Via de acesso mais iluminada	Praça ou rotunda respectiva		
	Densidade de tráfego: elevada				
	Complexidade: elevada			CE1	
	Veículos em estacionamento sim ou não	20 15 10	30 20 15	CE2 CE3 CE4	-
	Reconhecimento da face: necessário	7,5	10		
	Risco de agressão: normal				

Sendo:

(J) - Velocidade \leq 30 km/h; Veículos motorizados; Veículos lentos; Ciclistas; Peões.

(K) - Veículos motorizados; Veículos lentos; Ciclistas; Peões.

Tabela 3.5 - Nível de iluminância média (lux) para vias rurais [7]

Tipo de via	Características	Iluminância média (lux)		Norma EN 13201-1	
		Fraca	Elevada	Classe iluminação	Situações
Via de acesso a localidade (L)	(4)	15	20	CE2	B1
Via de travessia Rua principal (M)	(5)	-	15 a 20	CE3	B2
Via transversal (N)	(6)	7,5 a 10	10	CE5 CE4	D2
Loteamento (O)	(7)	10	15	CE4 CE2	D2
Praças Rotundas (P)	(8)	Via de acesso		CE1 CE2 CE3 CE4	-
		Praça ou rotunda			
		mais iluminada	respectiva		
		20	30		
		15	20		
10	15				
7,5	10				

Sendo:

- (L) - Velocidade ≤ 70 km/h; Veículos motorizados; Veículos lentos; Ciclistas; Peões.
- (4) - Complexidade: normal; Veículos em estacionamento: sim; Tráfego de ciclistas: normal; Cruzamentos ≥ 3 por km.
- (M) - Velocidade ≤ 50 km/h; Veículos motorizados; Veículos lentos; Ciclistas; Peões.
- (5) - Complexidade: normal; Veículos em estacionamento: sim; Tráfego de ciclistas: normal; Cruzamentos ≥ 3 por km.
- (N) - Velocidade ≤ 50 km/h; Veículos motorizados; Veículos lentos; Ciclistas; Peões.
- (6) - Complexidade: normal; Veículos em estacionamento: sim; Tráfego de ciclistas: normal; Cruzamentos ≥ 3 por km.
- (O) - Velocidade ≤ 30 km/h; Veículos motorizados; Ciclistas; Peões.
- (7) - Risco de agressão: normal; Reconhecimento da face: necessário; Dificuldade de tráfego: normal.
- (P) - Velocidade ≤ 30 km/h; Veículos motorizados; Ciclistas; Peões.

- (8) - Múltiplas intercepções; Densidade de tráfego: elevada; Complexidade: elevada; Veículos em estacionamento: sim ou não; Reconhecimento da face: necessário; Risco de agressão: normal.

A tabela 3.6 apresenta um resumo das tabelas 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5.

Tabela 3.6 - Tabela-resumo

Categoria da via	Tabela	Tipo de via
Interurbana	3.1	Auto-estrada
		Estrada nacional
		Estrada secundária
Urbana	3.2	Auto-estrada urbana
		Circunvalação
		Estrada periférica
		Estrada de entrada em zona habitada ou não habitada
		Avenida
Urbana	3.3	Via secundária
		Via de serviço
		Via comercial
		Via pedonal
Urbana	3.4	Pista de ciclismo
		Passeio
		Rotunda
		Via de acesso a localidade
Rural	3.5	Rua principal
		Via transversal
		Loteamento
		Rotunda

O factor de manutenção de uma instalação poderá afectar significativamente a potência da fonte de luz a instalar, bem como o número de luminárias necessárias para alcançar os valores de iluminância/luminância especificados e depende de dois factores de depreciação: o referente às luminárias e o referente ao fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas.

$$FM = FMLL \times FSL \times FML , \quad (3.1)$$

onde FM é o factor de manutenção, FMLL é o factor de manutenção da luminosidade da lâmpada, FSL é o factor de sobrevivência da lâmpada e FML é o factor de manutenção da luminária.

A figura 3.1 apresenta o factor de manutenção de uma instalação (FM).

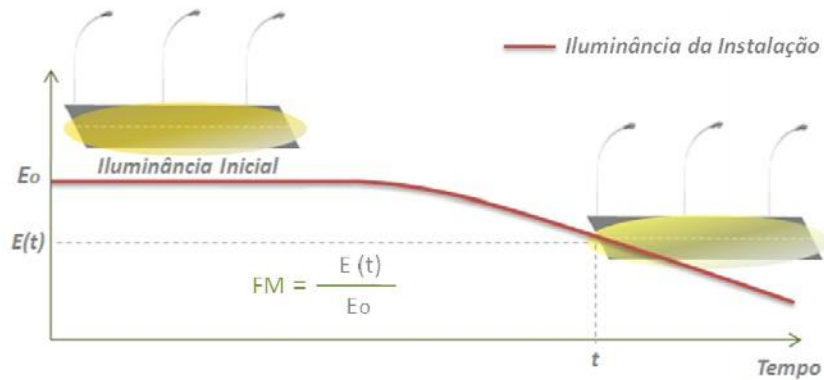


Figura 3.1 - Factor de manutenção de uma instalação (FM) [3]

Na tabela 3.7, são indicados os valores do factor de manutenção da instalação em função dos parâmetros:

- Ciclo de manutenção (8000 horas e 12000 horas);
- Grau de poluição do ambiente (fraco ou forte);
- Características mecânicas da luminária utilizada (material da tampa e índice de protecção IP);
- Factor de depreciação do fluxo luminoso das lâmpadas utilizadas.

Tabela 3.7 - Factor de manutenção de uma instalação para lâmpadas de sódio de alta pressão tubulares e lâmpadas de iodetos metálicos [7]

Grau de poluição	Horas de funcionamento antes de manutenção (h)	Factor de manutenção da instalação			
		Tipo de lâmpada	IP55 Tampa plástica	IP65	
				Tampa plástica	Tampa em vidro
Fraco	8000	HPS tubular	0,74 a 0,78	0,76 a 0,80	0,81 a 0,86
Grau 1	12000		0,61 a 0,72	0,63 a 0,72	0,68 a 0,78
Forte	8000		0,63 a 0,66	0,68 a 0,72	0,76 a 0,80
Grau 2-3	12000		0,50 a 0,57	0,55 a 0,63	0,63 a 0,72
Fraco	8000	Iodetos metálicos	0,59 a 0,70	0,60 a 0,71	0,66 a 0,76
Grau 1	12000		0,44 a 0,59	0,46 a 0,60	0,49 a 0,66
Forte	8000		0,50 a 0,60	0,55 a 0,65	0,60 a 0,71
Grau 2-3	12000		0,36 a 0,48	0,40 a 0,61	0,46 a 0,61

A figura 3.2 apresenta o factor de manutenção da luminosidade da lâmpada (FLL) [EN 12665:2002].

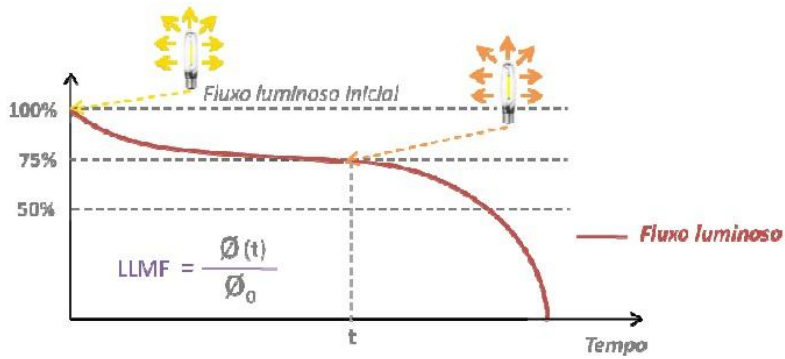


Figura 3.2 - Factor de manutenção da luminosidade da lâmpada (FLL) [3]

O factor de sobrevivência da lâmpada (FSL) está ilustrado na figura 3.3 e depende do número de horas de funcionamento.

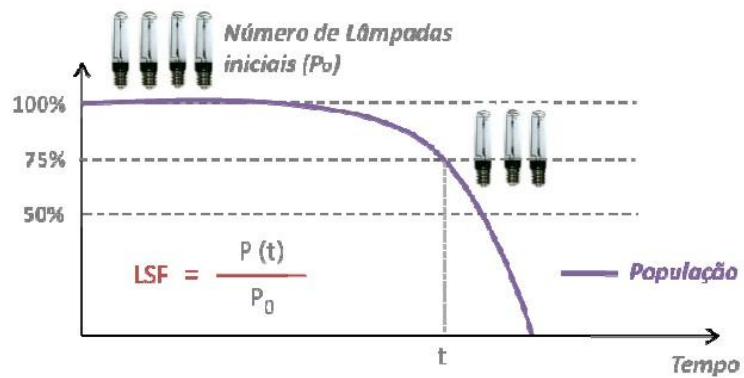


Figura 3.3 - Factor de sobrevivência da lâmpada (FSL) [3]

O factor de manutenção da luminária (FML) está ilustrado na figura 3.4.

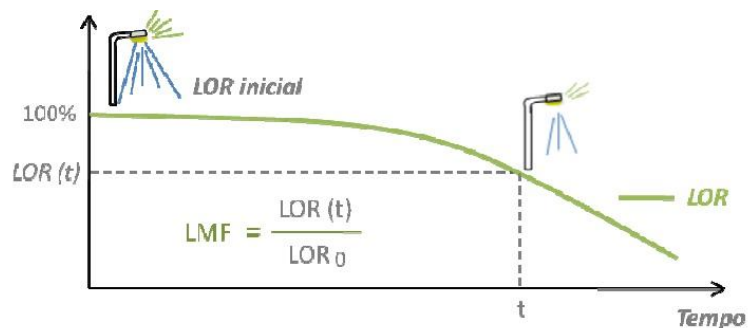


Figura 3.4 - Factor de manutenção da luminária (FML) [3]

A tabela 3.8 apresenta o factor de manutenção da luminária em função do grau de poluição.

Tabela 3.8 - Factor de manutenção da luminária (FML) [7]

Grau de poluição	Horas de funcionamento antes de manutenção (h)	Factor de manutenção da luminária		
		IP55 Tampa plástica	IP65	
			Tampa plástica	Tampa em vidro
Fraco	8000	0,82	0,84	0,90
Grau 1	12000	0,74	0,76	0,82
Forte	8000	0,70	0,76	0,84
Grau 2-3	12000	0,66	0,66	0,76

O grau de poluição numa zona industrial é normalmente superior, por exemplo, ao encontrado numa zona rural. Da mesma forma, o pó seco de uma pedreira é muito diferente do lixo causado pelos insectos. As definições constam na tabela 3.9.

Tabela 3.9 - Grau de poluição a ter em consideração na escolha de uma luminária [3]

Poluição	Definição
Forte	Fumo gerado por actividades relativamente próximas, envolvendo as luminárias
Fraca	Nível de contaminação ambiente reduzido, não existindo fumo ou poeiras gerados nas proximidades e está presente em zonas residenciais ou áreas rurais, com tráfico ligeiro. Define-se como contendo um nível de partículas no meio $\leq 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

O fluxo luminoso associado ao FMLL decresce ao longo do tempo e a taxa exacta dependerá do tipo de lâmpada a utilizar e do respectivo balastro. A tabela 3.10 apresenta os valores associados ao FMLL em função do tipo de lâmpada.

Tabela 3.10 - Factor de manutenção da luminosidade da lâmpada (FMLL) [3]

Fonte de luz	Tempo de operação (horas)				
	4000	6000	8000	10000	12000
HPS	0,98	0,97	0,94	0,91	0,90
Iodetos metálicos	0,82	0,78	0,76	0,74	0,73
LPS	0,98	0,96	0,93	0,90	0,87
LED	-	-	-	-	0,95

O factor de sobrevivência da lâmpada (FSL) é a probabilidade de as fontes de luz continuarem operacionais durante um certo período de tempo e depende do tipo de lâmpada a utilizar, da potência associada, da frequência e do tipo de balastro. Os valores estão ilustrados na tabela 3.11.

Tabela 3.11 - Factor de sobrevivência da lâmpada (FSL) [3]

Fonte de luz	Tempo de operação (horas)				
	4000	6000	8000	10000	12000
HPS	0,98	0,96	0,94	0,92	0,89
Iodetos metálicos	0,98	0,97	0,94	0,92	0,88
LPS	0,92	0,86	0,80	0,76	0,62
LED	-	-	-	-	0,95

3.1.2 - EN 13201-2 - Parâmetros fotométricos recomendados

A norma EN 13201-2 contém os requisitos de performance nas classes definidas (ME1 ... ME6, MEW1 ... MEW6, CE0 ... CE5, S1 ... S6, ES1 ... ES6, A1 ... A6), já incluídos nas tabelas 3.1 a 3.5, para cada caso.

Esta parte da presente Norma define, tomando em consideração requisitos fotométricos, as classes de iluminação para iluminação de vias, tendo em conta as necessidades visuais dos utilizadores, bem como considerando aspectos ambientais da iluminação de vias.

Uma classe de iluminação é definida por um conjunto de requisitos fotométricos cujo objectivo é proporcionar aos utilizadores de um determinado tipo de via as necessidades visuais adequadas, quer para a via em si quer para o ambiente envolvente.

O objectivo da introdução de classes de iluminação é tornar mais fácil o desenvolvimento de produtos de iluminação destinados às vias rodoviárias nos países membros da CEN.

As classes ME são aplicáveis a vias onde se verifique a circulação de veículos motorizados, onde seja praticável velocidade média a alta.

As classes CE têm o mesmo propósito das classes ME, mas para uso em áreas conflituosas, como ruas de comércio, intersecção de vias de alguma complexidade, rotundas e áreas de congestionamento de trânsito (filas). Estas classes têm igualmente aplicação para percursos mistos, i.e., onde a via em causa permita a circulação simultânea de peões e veículos motorizados.

As classes S e A são aplicáveis a percursos de peões e ciclovias (isolados, portanto, da via destinada à circulação normal de veículos), faixas de circulação de veículos de emergência e outras vias que se encontrem separadas da via normal de circulação, bem como áreas de estacionamento, ruas vedadas à circulação de veículos (apenas percursos a pé), etc.

As classes ES são classes adicionais e específicas para situações onde se verifique a necessidade de identificação de pessoas e objectos e em áreas de circulação com risco de crime agravado.

As classes EV são classes adicionais e específicas para situações onde seja necessário visualizar superfícies verticais, tais como zonas de portagem, por exemplo.

Os requisitos das classes de iluminação reflectem a categoria do utilizador ou o tipo de via. Assim, as classes ME baseiam-se na luminância da superfície da via, enquanto as classes CE, S e A baseiam-se na iluminação da área da via. As classes S e A reflectem diferentes prioridades para a iluminação da via. As classes ES baseiam-se em iluminância semi-cilíndrica, enquanto as classes EV baseiam-se na iluminação do plano vertical.

O intuito em iluminar zonas de atravessamento de peões é atrair a atenção dos condutores de veículos motorizados para a presença destes e iluminar tanto os peões que estão a atravessar bem como os que se encontram na berma a aguardar que possa ser feito o atravessamento.

Para consulta detalhada, recomenda-se a leitura do Anexo A, para melhor compreensão da atribuição de uma determinada classe a um determinado tipo de via.

3.1.3 - EN 13201-3 - Cálculo dos parâmetros fotométricos

Os métodos de cálculo descritos nesta parte permitem a obtenção das características de qualidade de iluminação mediante procedimentos padronizados, no sentido de obter, a partir de diferentes fontes, uma base uniforme.

Nesta secção, são definidas e descritas as convenções e procedimentos matemáticos a ser adoptados no cálculo dos parâmetros fotométricos de instalações de iluminação pública, tendo em consideração a norma EN 13201-2.

3.1.4 - EN 13201-4 - Métodos de medição das performances fotométricas

Esta parte especifica os procedimentos a ter em consideração para se efectuar medições fotométricas e outras relacionadas, na iluminação pública.

Os procedimentos adoptados devem ser levados a cabo apenas com o propósito de medição. Quando as medições são requeridas para intuito de comparação com valores previamente calculados, deve ser tido um maior rigor na medição para assegurar que possa ser feita uma comparação válida. Quando as medições têm o propósito de monitorização do estado da instalação, é possível que o leque de medições a efectuar não seja tão abrangente, e compreenda localizações mais espaçadas. O essencial neste caso é que as medições sejam levadas a cabo da mesma forma que a monitorização. Noutros casos, o controlo *in loco* é suficiente.

As convenções para posição de observação e locais de medição são os adoptados na EN 13201-3. As condições que poderão levar a imprecisões nas medições estão identificadas e as precauções que permitam uma diminuição deste tipo de erro estão previstas e devidamente referenciadas. Está também disponível o formato a adoptar aquando da apresentação de resultados.

3.2 - Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública

O Documento de Referência para a Iluminação Pública, 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 tomadas em consideração para o estudo de um projecto de iluminação de iluminação pública, nomeadamente, os requisitos de eficiência energética e os parâmetros relevantes a ter em conta.

O documento foi elaborado no seguimento de uma proposta efectuada pela RNAE (Associação das Agências de Energia e Ambiente), em parceria com o CPI - Centro Português de Iluminação e a Ordem dos Engenheiros à Secretaria de Estado da Energia e da Inovação do Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento (SEEI/MEID).

“O documento tem como objectivo estabelecer, como referência, uma série de parâmetros técnicos que deve seguir um projecto de iluminação pública de modo a obter-se uma maior eficiência energética desta tipologia de instalações e, conseqüentemente, conduzir a uma diminuição das emissões de CO₂ durante o período de utilização das mesmas. O documento apontará para a classificação energética de uma instalação de iluminação pública com recurso a um código de letras (como acontece já em alguns electrodomésticos e também nos edifícios, por exemplo) e referenciará o modo e o conteúdo de apresentação de um projecto de iluminação pública eficiente do ponto de vista energético e lumínico.” [3]

Assim, e tendo em consideração a suma importância deste documento, editado em Janeiro de 2011, o mesmo será referido, consultado e utilizado amiúde no decorrer do presente trabalho.

3.3 - Conclusão

Um projecto de iluminação pública tem que estar enquadrado com as características do local a iluminar e tem necessariamente que obedecer à legislação aplicável. A optimização de um projecto atinge-se quando se consegue conciliar ambas as condições.

A EN 13201 visa estabelecer os parâmetros das vias consoante a respectiva classificação, estando dividida em quatro grandes partes: escolha das classes de iluminação, parâmetros fotométricos recomendados, cálculo dos parâmetros fotométricos e métodos de medição das *performances* fotométricas.

A escolha das classes de iluminação é dependente do tipo de via. Para efectuar a respectiva adequação, recorre-se à consulta das tabelas correspondentes, que, consoante os parâmetros da via em estudo, atribuirá uma classificação à mesma. Aquando da atribuição da classificação, serão tomados em consideração os valores e parâmetros correspondentes às classes de iluminação.

A EN 13201-2 define os parâmetros fotométricos recomendados, tendo em conta cada classe de iluminação.

As classes existentes são:

- ME: circulação de veículos motorizados (velocidade média a alta);
- CE: mesmo propósito da classe ME mas aplicável às áreas conflituosas;
- S e A: aplicáveis a percursos de peões, ciclovias, faixas de circulação de veículos de emergência, áreas de estacionamento, etc;

- ES: onde haja necessidade de identificar pessoas e objectos e onde haja risco de crime acrescido;
- EV: específicas para identificar superfícies verticais (portagens).

Os cálculos dos parâmetros fotométricos são abordados na EN13201-3 e dizem respeito à qualidade da iluminação da via em questão, tendo por base a EN 13201-2.

A quarta e última parte, a EN 13201-4, especifica o modo como se efectuam as medições fotométricas na iluminação pública.

Recentemente, em Janeiro de 2011, foi editado o Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública, que estabelece alguns critérios a ter em consideração num projecto de iluminação pública. O documento apresenta as definições de zonas de conflitos e zonas pedonais, por exemplo, para enquadramento com a EN 13201, incluindo-se a selecção de classes em diferentes períodos nocturnos.

Relativamente à eficiência energética, são apresentadas as definições de FM, FMLL, FSL e FML, relativos às instalações/lâmpadas, para optimização de dimensionamento e escolha dos mesmos, bem como optimização da manutenção. É apresentada a classificação energética das instalações de iluminação pública, que vai de A a G, sendo a classificação A a mais energeticamente eficiente e a G a menos energeticamente eficiente.

Capítulo 4

Lâmpadas e luminárias utilizadas na iluminação pública

No sentido de ser possível proporcionar uma boa iluminação adequada aos requisitos de um local específico, é necessário proceder à escolha das lâmpadas que reúnam as especificações adequadas, em associação com uma luminária.

Na conjugação destes factores, é necessário tomar em consideração questões como a eficiência energética, que dizem respeito, no que refere às lâmpadas, aos parâmetros de consumo de energia, rendimento e durabilidade. Relativamente às luminárias, uma optimização dos reflectores potencia um rendimento mais elevado, cujo resultado será um aumento do coeficiente de reflexão e da luminância.

Um outro parâmetro a tomar em consideração é o da manutenção da instalação. Actualmente, estão já disponíveis algumas opções de luminárias que englobam vidro auto-limpável, permitindo que o factor de manutenção seja próximo de 1, o que permite alcançar uma garantia de economia energética, uma vez que não é necessário aumentar a potência inicial para compensar a depreciação luminosa. Uma luminária vai perdendo *performance* ao longo do tempo, motivado pelo engorduramento e envelhecimento da lâmpada, da óptica e do difusor. O grau de estanquicidade e a qualidade de transparência constantes, conjugados com a correcta resistência ao envelhecimento, vão, de certa forma, contribuir para que o factor de manutenção se aproxime de 1. No máximo, está próximo de 1; abaixo disso, é necessário, inicialmente, um acréscimo de energia para manter um determinado nível ao longo da vida útil da luminária - depreciação luminosa. Assim, a potência utilizada para gerar um nível de luminância depende directamente do factor de manutenção da luminária e, por conseguinte, da sua qualidade mecânica.

4.1 - Lâmpadas utilizadas na iluminação pública

Actualmente, e no que respeita a lâmpadas para utilização na iluminação pública, existem diversos modelos e diferentes tecnologias disponíveis. Destacam-se as HPM, que estão a ser alvo de substituição faseada por lâmpadas de vapor de sódio, que apresentam como principais

vantagens uma diminuição nos consumos e revelam-se, simultaneamente, menos agressivas para o ambiente.

Mais recentemente, e com o desenvolvimento da tecnologia, é possível aplicar a tecnologia LED à iluminação pública, mediante a combinação de um determinado número de díodos, que permite obter, no final, as características e requisitos de iluminação adequados a um determinado local.

De modo geral, e segundo a EN 12665:2002, cada lâmpada apresenta as seguintes características:

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

A tabela 4.1 apresenta uma classificação do índice de reprodução de cores.

Tabela 4.1 - Classificação do Índice de Reprodução de Cores (IRC) [44]

Classe	IRC
1A	IRC ≥ 90
1B	80 ≤ IRC < 90
2A	70 ≤ IRC < 80
2B	60 ≤ IRC < 70
3	40 ≤ IRC < 60
4	IRC < 40

Existem, contudo, outras características igualmente importantes:

- Temperatura de cor (K);
- Luminância [cd/m^2].

Nas subsecções seguintes, são descritos, mais pormenorizadamente, os diferentes tipos de lâmpadas utilizadas em iluminação pública, bem como apresentados alguns dados relativos às respectivas características.

4.1.1 - Lâmpada de vapor de mercúrio

As lâmpadas HPM são constituídas por dois eléctrodos principais e dois auxiliares, que se encontram no interior do tubo de descarga, no qual existe uma mistura de mercúrio, sob alta pressão, e árgon; à temperatura ambiente, o mercúrio é um líquido e, mediante introdução de árgon, que é de vaporização mais fácil, o arranque é facilitado. Durante o processo de aquecimento, o mercúrio vaporiza-se gradualmente, sendo emitida uma luz de fraca intensidade. Entre o tubo de descarga e a ampola exterior da lâmpada, existe, comumente, um gás inerte, que permite a estabilidade térmica no interior da lâmpada. Alguns modelos têm também uma camada de pó fluorescente, com o intuito de produzir radiação vermelha na parte interior do invólucro, cujo objectivo é transformar parte da radiação ultravioleta (UV) emitida em luz visível. Esta prática constitui uma melhoria significativa no aspecto da luz emitida, mas não se traduz numa melhoria expressiva do rendimento luminoso nem do índice de reprodução de cor (IRC).

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



Figura 4.1 - Exemplo de lâmpada HPM [29]

Na figura 4.2 apresenta-se o diagrama de fluxo de energia de uma lâmpada HPM.

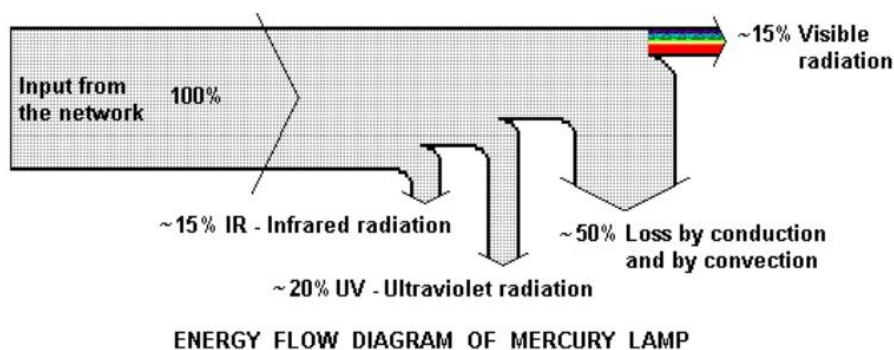


Figura 4.2 - Diagrama de fluxo de energia de uma lâmpada HPM [30]

Pela análise da figura 4.2, constata-se que, nas lâmpadas HPM, apenas 15% da energia é transformada em radiação visível, sendo os restantes 85% repartidos por perdas (50%), radiação IV (15%) e radiação UV (20%). A tabela 4.2 resume os valores das características principais deste tipo de lâmpada.

Tabela 4.2 - Características das lâmpadas HPM [30]

Potência disponível	De 50 W a 1000 W
Rendimento luminoso	De 40 lm/W a 60 lm/W
Temperatura de cor	De 3000 K a 4000 K
Índice de reprodução de cor (IRC)	De 40 a 55
Duração de vida média	De 10000 horas a 12000 horas
Tempo de arranque	Aproximadamente 4 minutos
Luminância	De 4 cd/m ² a 15 cd/m ²
Período de manutenção	2 anos
Equipamento auxiliar	Balastro e condensador

Pela análise dos dados da tabela 4.2, constata-se que a lâmpada HPM apresenta um IRC de apenas 50, conjugado com uma luminância bastante baixa. A temperatura de cor permite, todavia, obter uma luz branco-azulada.

Este tipo de lâmpada está a ser alvo de substituição faseada por lâmpadas de vapor de sódio, não apenas por questões ambientais (aquando do fim do ciclo de vida, o mercúrio é nocivo para o ambiente) mas também porque as lâmpadas de sódio, apesar de apresentarem um IRC inferior, proporcionam um maior fluxo luminoso associado a um baixo consumo.

4.1.2 - Lâmpada de vapor de sódio

A lâmpada de vapor de sódio é uma lâmpada de descarga que tem lugar em meio gasoso, utilizando um plasma de vapor de sódio para produzir luz. Existem duas variantes deste tipo de lâmpadas: de baixa pressão (LPS - *Low pressure sodium*) e alta pressão (HPS - *High pressure sodium*).

As lâmpadas de vapor de sódio emitem uma luz praticamente monocromática, que se traduz numa iluminação pouco comum dos objectos iluminados, com cores dificilmente distinguíveis. A monocromia deste tipo de lâmpada traduz-se numa boa escolha em situações onde a poluição luminosa seja uma restrição. Deste modo, este tipo de lâmpada é utilizado nas imediações de observatórios astronómicos e em áreas onde se pretende reduzir a interferência da iluminação exterior com a fauna nocturna.

4.1.2.1 - Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão

Neste tipo de lâmpada, que proporciona uma proporção mais elevada de radiação visível do que a lâmpada HPM, uma pequena quantidade de sódio misturada com mercúrio é colocada numa cápsula de vidro contendo xénon no seu interior, em menor quantidade, no sentido de facilitar o arranque. Durante o processo de aquecimento da lâmpada, o sódio e mercúrio vaporizam-se gradualmente, fazendo com que a lâmpada emita uma luz ténue e, à medida que a pressão vai aumentando, a intensidade de luz vai igualmente aumentando, até estabilizar. O tubo de descarga é normalmente inserido dentro de uma ampola de vidro em vácuo, que forma o invólucro exterior da lâmpada.

A figura 4.3 ilustra um exemplo de uma lâmpada HPS.

Este tipo de lâmpada emite energia em grande parte do espectro visível, conforme se pode verificar na distribuição espectral constante no diagrama da figura 4.4.



Figura 4.3 - Exemplo de lâmpada de vapor de sódio de alta pressão [32]

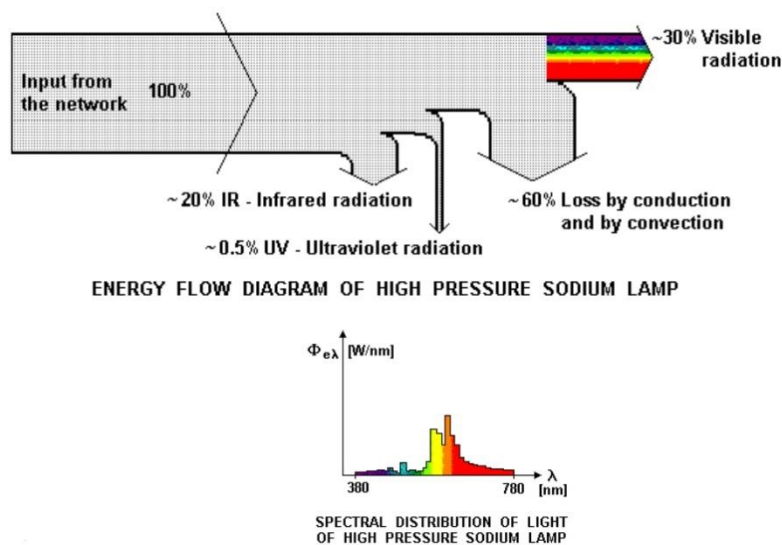


Figura 4.4 - Diagrama de fluxo de energia de uma lâmpada de vapor de sódio de alta pressão [30]

Este tipo de lâmpada possibilita a transformação de 30% de energia em radiação visível, estando os restantes 70% repartidos por perdas (60%), radiação IV (20%) e apenas 0,5% respeitantes a radiação UV.

Efectuando uma comparação do diagrama de fluxo de energia deste tipo de lâmpada com o da lâmpada HPM é notória a diferença em termos de perdas e radiação visível, sendo, portanto, a lâmpada de HPS preferível de ser utilizada em detrimento da lâmpada HPM.

Este tipo de lâmpada difere da LPS pelo facto de ter um espectro muito mais rico, sendo até mais rico que o da lâmpada HPM. Isto ocorre devido ao facto de que, sob altas temperaturas e pressões, as linhas monocromáticas do espectro do sódio começam a sobrepor-se, produzindo mediante interferências construtivas e destrutivas outras linhas espectrais, que, em condições normais, seriam imperceptíveis. A eficiência luminosa de uma lâmpada HPS é ligeiramente menor que a da lâmpada LPS, contudo, apresenta a segunda maior eficiência luminosa de todas as fontes de luz artificiais.

A tabela 4.3 sintetiza as principais características da lâmpada HPS.

Tabela 4.3 - Características das lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão (HPS) [30]

Potência disponível	De 50 W a 1000 W
Rendimento luminoso	De 80 lm/W a 150 lm/W
Temperatura de cor	De 2000 K a 3200 K
IRC	De 20 a 70
Duração de vida média	De 8000 horas a 12000 horas
Tempo de arranque	Aproximadamente 5 minutos
Luminância	De 25 cd/m ² a 500 cd/m ²
Período de manutenção	3 a 4 anos
Equipamento auxiliar	Arrancador, balastro e condensador

Analisando os dados da tabela 4.3, constata-se que a temperatura de cor situa-se na gama das cores quentes, i.e., a luz emitida tem cor amarelada. Em comparação com a lâmpada HPM, a de vapor de sódio de alta pressão permite obter um valor superior de luminância, conjugado com um valor superior de rendimento luminoso.

O IRC das HPS varia bastante consoante o tipo e modelo, mas encontra-se geralmente entre os 20 e os 70, estando a temperatura de cor entre os 2000 K e os 3200 K.

4.1.2.2 - Lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão

Nas lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão, uma pequena quantidade de sódio é colocada num tubo de vidro contendo néon ou argón. Durante o aquecimento inicial, o sódio vaporiza-se, passando a emitir luz visível. Esta lâmpada é composta por um tubo de descarga em vidro, em forma de 'U', onde se forma o arco eléctrico, com um eléctrodo em cada extremidade, desenhado para reflectir a radiação infravermelha (IV), cujo objectivo é garantir uma temperatura suficientemente elevada para que seja possível a vaporização do sódio.

Nas lâmpadas LPS não há formação de um arco de grande intensidade luminosa, e emitem um brilho suave, resultando num menor risco de encandeamento. Outra característica que diferencia este tipo de lâmpada da HPS, que se apagam quando ocorre redução da tensão, ainda que ligeira, é a sua resistência a flutuações de tensão da rede eléctrica, recuperando rapidamente o brilho quando haja reposição da tensão normal.

As LPS constituem a fonte de luz mais eficiente entre todas as lâmpadas, no que respeita a consumos energéticos e iluminação produzida, dado o seu elevado rendimento luminoso e longo período de duração de vida.

A capacidade de manter um fluxo luminoso constante ao longo da sua vida útil, fazem as LPS constituírem uma vantagem em comparação com as HPS. Ao contrário do que acontece com as HPS, que perdem luminosidade com o uso, chegando ao ponto de se tornarem ineficientes, uma vez que mantêm o consumo de energia eléctrica constante, as LPS, apesar de manterem a luminosidade, vão aumentando ligeiramente o consumo (cerca de 10%) à medida que se aproxima o final da sua vida útil, o que nas lâmpadas de boa qualidade ocorre, em geral, após cerca de 12000 horas de uso. As LPS, em fim de vida útil, não entram em apagamento cíclico, i.e., não sofrem os arranques sucessivos seguidos de quase imediato apagamento e reacendimento que caracteriza o fim de vida das lâmpadas de alta pressão.

As figuras 4.5 e 4.6 apresentam exemplos de lâmpadas LPS.

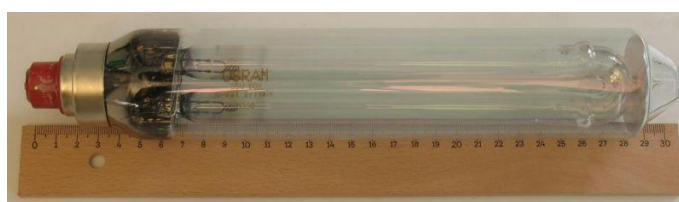


Figura 4.5 - Exemplo de lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão (LPS) [32]

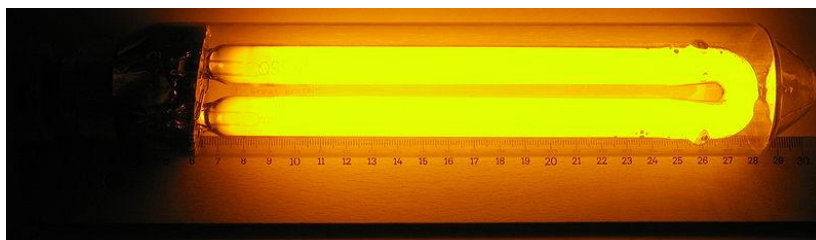


Figura 4.6 - Exemplo de lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão acesa (LPS) [32]

Na tabela 4.4 constam as características das lâmpadas LPS.

Tabela 4.4 - Características das lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão (LPS) [30]

Potência disponível	De 50 W a 1000 W
Rendimento luminoso	De 120 lm/W a 200 lm/W
Temperatura de cor	De 1800 K a 2000 K
IRC	≈ 0
Duração de vida média	De 12000 horas a 18000 horas
Tempo de arranque	Aproximadamente 10 minutos
Luminância	6 cd/m ²
Período de manutenção	3 a 4 anos
Equipamento auxiliar	Arrancador, balastro e condensador

Efectuando uma comparação entre as tabelas 4.3 e 4.4, é possível constatar que as LPS permitem obter um maior rendimento luminoso, embora com uma menor luminância e temperatura de cor, que se traduz, por conseguinte, numa cor mais amarelada que as HPS.

O IRC das lâmpadas de LPS é muito baixo, próximo de zero: a luz emitida é praticamente monocromática, quase exclusivamente na faixa amarela do espectro, tendendo a reforçar os tons desta cor e fazendo com que todas as demais adquiram tonalidades escuras nos tons cinza, castanho e preto, estando a temperatura de cor associada a rondar os 1600 K.

4.1.3 - Lâmpada de iodetos metálicos

Este tipo de lâmpada tem, essencialmente, a mesma constituição que as lâmpadas HPM, excepto na mistura de substâncias contida no tubo de descarga. Nas lâmpadas de iodetos metálicos são adicionadas ao mercúrio misturas com emissores iónicos ou com emissores moleculares, obtendo-se uma emissão de luz com um espectro de riscas ou contínuo, respectivamente. Um exemplo de uma mistura utilizada com emissores iónicos é a composta por iodetos de sódio, tálio e índio. Uma mistura utilizada, contendo emissores moleculares, é conseguida mediante a junção de iodeto e cloreto de estanho, na qual se obtêm resultados satisfatórios.

A figura 4.7 ilustra um exemplo deste tipo de lâmpada.



Figura 4.7 - Exemplo de lâmpadas de iodetos metálicos [29]

Na tabela 4.5 constam as características das lâmpadas de iodetos metálicos.

Tabela 4.5 - Características das lâmpadas de iodetos metálicos [30]

Potência disponível	De 35 W a 3500 W
Rendimento luminoso	De 65 lm/W a 120 lm/W
Temperatura de cor	De 3000 K a 6000 K
IRC	De 81 a 95
Duração de vida média	De 3000 horas a 9000 horas
Tempo de arranque	Aproximadamente 4 minutos
Luminância	De 100 cd/m ² a 6.000 cd/m ²
Período de manutenção	3 anos
Equipamento auxiliar	Arrancador, balastro e condensador/balastro electrónico

Este tipo de lâmpada é de elevada eficácia e apresenta uma excelente restituição cromática e temperatura de cor - a luz emitida é clara, semelhante à luz do dia, apresentando, igualmente, valores bastante eficazes relativos à luminância obtida.

4.1.4 - LED (Díodo emissor de luz)

O LED (*light-emitting diode*) é um dispositivo semi-condutor que converte electricidade directamente em luz. A luz emitida é monocromática e é produzida a partir das interações energéticas dos electrões.

Esta tecnologia não possui filamentos nem descarga eléctrica, trabalha em tensão reduzida - normalmente 10 ou 24 V - e consome em média 1 W, o que permite uma poupança de energia considerável, aliado à vantagem de praticamente não emitir radiações IV e UV.

A figura 4.8 apresenta um exemplo de um LED.



Figura 4.8 - Esquema de funcionamento de um LED [35]

A tecnologia LED apresenta inúmeras vantagens: dimensão compacta, longo tempo de vida, baixos requisitos de manutenção, luz branca, baixo consumo de energia, longa durabilidade e amplas capacidades de *design*.

O fluxo direccional dos LED permite que a luz seja direccionada com precisão, para a área a iluminar, reduzindo deste modo a luz intrusiva e proporcionando a “iluminação correcta”.

Para se obter uma determinada potência total a emitir por uma iluminária a LED, é necessário efectuar uma combinação de vários LED, até se perfazer a potência total pretendida. Uma desvantagem do uso desta tecnologia é a sua fraca aplicabilidade em altas potências dado que, quando aumenta a potência, é necessário incrementar igualmente o número de LEDs a utilizar enquanto que, por exemplo, se se pretender aumentar a potência estando a utilizar lâmpadas de sódio, basta substituir a lâmpada, i.e., as lâmpadas são adaptativas. Assim, apenas se consegue obter uma poupança significativa com a utilização da tecnologia LED quando a mesma é aplicada às baixas potências.

Outras duas desvantagens são um ângulo de abertura baixo e uma cor branca demasiado fria. Quanto ao primeiro problema, tem sido resolvido com recurso a uma multiplicidade de LEDs com orientações diferentes, conforme a figura 4.9; relativamente à cor, ainda não surgiram no mercado soluções satisfatórias.

Como outras desvantagens, salienta-se a evolução praticamente diária desta tecnologia e a falha caótica, que é a única situação onde ocorre falha dos LED e corresponde à falha simultânea de todos os LED da luminária. Nas luminárias mais recentes, verifica-se, infelizmente, a ocorrência desta situação, provando que esta tecnologia necessita, ainda, de alguma evolução, apesar de já ser viável a sua implementação. A figura 4.9 ilustra uma luminária utilizando tecnologia LED.



Figura 4.9 - Luminária utilizando tecnologia LED [36]

Na tabela 4.6 é efectuada uma síntese das principais características de uma luminária-tipo utilizando tecnologia LED.

Tabela 4.6 - Características das lâmpadas baseadas em LEDs

Potência disponível (por LED)	De 6 W a 15 W
Rendimento luminoso (luminária LED)	Por vezes superior a 150 lm/W
Temperatura de cor	3000 K
IRC	> 75
Duração de vida média	60000 horas
Tempo de arranque	Instantâneo
Luminância	Dependente do nível de iluminação pretendido
Período de manutenção	12 anos
Equipamento auxiliar	Inexistente

Como vantagens da utilização desta tecnologia, destacam-se o alto brilho, o elevado IRC, a ausência de calor e de UV nos raios luminosos, não atraindo insectos e não atacando os objectos iluminados pela sua radiação, evitando o envelhecimento precoce, como o que resulta da utilização das lâmpadas convencionais; destacam-se ainda diferentes temperaturas de cor possíveis, o arranque imediato (atinge o brilho normal sem qualquer atraso), o facto de o sistema não ser sensível à vibração, a elevada duração (à volta de 60000 horas), a ausência de encandeamento e o facto de ser ecologicamente correcta, uma vez que não contém substâncias nocivas à saúde humana nem à natureza.

4.1.5 - Comparação das características dos diversos tipos de lâmpadas

A tabela 4.7 apresenta uma comparação dos valores associados aos diversos tipos de lâmpadas.

Tabela 4.7 - Comparação das características dos vários tipos de lâmpadas

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

Pela análise da tabela 4.7, é notória a diferença de características da tecnologia baseada em LED para as restantes.

Actualmente, a tecnologia LED está a ser aplicada em projectos-piloto um pouco por todo o país, no sentido de efectuar-se estudos baseados em sistemas reais, a fim de aferir a verdadeira eficiência LED associada aos baixos custos (implementação, manutenção e consumo). Tudo indica que esta tecnologia será, num futuro próximo, aplicada quer a novas infra-estruturas quer a instalações já existentes, mais uma vez, por questões de poupança energética, bem como em relação à manutenção.

³ Dependente do nível de iluminação pretendido.

4.2 - Luminárias utilizadas na iluminação pública

Uma luminária tem por função assegurar a distribuição de fluxo luminoso desejada em associação com a obtenção do melhor rendimento possível, bem como modificar a luz emitida pelas lâmpadas, para uma optimização da sua utilização. É necessário, igualmente, evitar o encandeamento por parte dos utilizadores, garantindo a sua segurança e a dos próprios componentes, bem como proporcionar a protecção das lâmpadas face às condições climatéricas variáveis, do sistema óptico e dos componentes eléctricos.

Os factores que determinam a escolha de uma armadura devem satisfazer algumas considerações de ordem técnica, económica e estética: no plano económico, há que ser tomado em consideração o custo da instalação, a facilidade de limpeza, o custo das armaduras e a facilidade de substituição das lâmpadas e da aparelhagem auxiliar. No que respeita ao plano técnico, os factores a tomar em conta são a natureza do dispositivo óptico, o dispositivo de fixação, peso e dimensões da armadura, a resistência às condições atmosféricas, o rendimento luminoso, a natureza e potência das lâmpadas, a escolha de armaduras fechadas ou não, a resistência ao aquecimento, sujidade, corrosão e vibrações.

4.2.1 - Componentes que constituem uma luminária

A optimização da utilização de um determinado tipo de lâmpada é complementada mediante a sua conjugação com uma luminária adequada e que potencie a sua utilização.

De seguida, apresenta-se uma descrição sumária dos principais componentes que constituem uma luminária.

Suporte das lâmpadas: Mesmo quando a luminária é sujeita a vibrações, este componente deve assegurar que o posicionamento da lâmpada permaneça inalterável e destina-se também a garantir o contacto eléctrico adequado com a aparelhagem auxiliar.

Corpo da luminária: tem como função proporcionar o suporte mecânico a todos os componentes. Deve apresentar uma boa resistência mecânica a choques e vibrações no sentido de garantir as condições de fixação e normal funcionamento das lâmpadas e aparelhagem auxiliar.

Órgão de fixação da luminária: Tem como função fixar a luminária ao poste, podendo ou não ser parte integrante da própria luminária, assegurando a não existência de oscilações após o seu correcto posicionamento.

O sistema óptico é constituído pelos reflectores, refractores e difusores.

Reflectores (figura 4.10): Consistem em componentes ópticos cuja função é permitir a distribuição do fluxo luminoso, proporcionando um melhor aproveitamento da luz, uma vez que a porção de luz emitida para cima é reenviada para baixo. Quando o objectivo é obter-se reflexão regular, são constituídos em vidro espelhado, alumínio abrihantado ou crómio polido, sendo que, quando se pretende obter reflexão mista, são constituídos em alumínio martelado ou chapas pintadas.

Refractores (figura 4.11): São tipicamente constituídos por vidro ou materiais plásticos e destinam-se a alterar a distribuição do fluxo luminoso, mediante refração. Os materiais que os constituem devem proporcionar resistência a choques mecânicos, bem como às agressões provocadas pelas diferentes condições climáticas, permitindo a conservação de uma boa aparência com o decorrer do tempo.

Difusores (figura 4.10): Este componente evita que a luz seja enviada directamente da lâmpada para os objectos ou pessoas. Assim, o seu propósito é diminuir a luminância das lâmpadas, no sentido de proporcionar um melhor conforto visual e são normalmente construídos em vidro ou plástico.

Actualmente, assiste-se a um aperfeiçoamento das características deste componente. Um difusor com tratamento térmico permite, por exemplo, alta resistência aos choques, enquanto que uma consistência do nível de transparência permite a ausência de amarelamento e insensibilidade a fenómenos electrostáticos. Assim, obtém-se um elevado factor de manutenção e uma moderação dos efeitos de poluição luminosa.

Dispositivos de regulação: Em alguns casos, de modo a proporcionar maior versatilidade de utilização, existem dispositivos de regulação que permitem a adaptação das características da distribuição luminosa da luminária à superfície a iluminar ou então a diferentes tipos de lâmpadas.

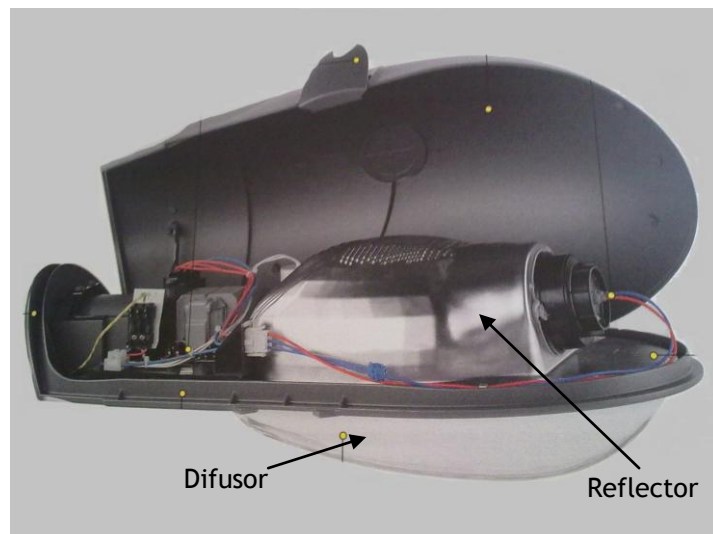


Figura 4.10 - Exemplo de uma luminária (fonte: Schröder (modelo Saphir))

A figura 4.11 apresenta um exemplo de um refractor.



Figura 4.11 - Exemplo de refractor (fonte: electricol.pt)

O exemplo referente à figura 4.11, apesar de não ser aplicável à iluminação pública, ilustra o conceito de refractor. Neste caso, trata-se de um refractor parabólico, visível no centro da luminária, cujo objectivo é distribuir o fluxo luminoso emitido pela lâmpada na direcção desejada.

O *design* das luminárias modernas permite aumentar a eficiência energética e, em simultâneo, obter uma melhoria das condições visuais. A forma e a qualidade do difusor vão afectar o rendimento global da luminária. A utilização de uma superfície reflectora de alumínio possibilita o aumento da reflexão para 95%, ao contrário dos 70% obtidos por intermédio de mera tinta branca. Muitas luminárias possuem sistemas de reflexão correctamente desenhados, no sentido de direccionar a luz para os locais pretendidos, obtendo-se, portanto, um determinado efeito com menos luminárias ou lâmpadas. O intuito de direccionar o fluxo luminoso é indispensável para evitar o encandeamento.

Relativamente às luminárias antigas, é possível aperfeiçoá-las mediante a inclusão de difusores, o que permitirá, em muitos casos, diminuir o número de lâmpadas utilizadas, que se traduzirá poupanças de energia entre os 20% e os 50%.

4.2.2 - Grau de estanqueidade e resistência aos impactos mecânicos de uma luminária

O Índice de Protecção (IP), previsto na EN 60529, define a protecção da caixa do equipamento e é definido pelas siglas IP seguido de dois algarismos, onde o primeiro define a dimensão máxima do corpo que pode penetrar na caixa - protecção contra contactos directos e entrada de corpos externos; o segundo algarismo, por sua vez, define o comportamento em relação a líquidos - protecção contra a penetração de líquidos. Uma letra opcional pode completar os dois valores de IP, e indica a capacidade do invólucro em proteger as pessoas contra o acesso a partes perigosas.

A tabela 4.8 apresenta os valores e descrição do primeiro algarismo e a tabela 4.9 apresenta os valores e descrição do segundo algarismo.

Tabela 4.8 - Descrição do 1º algarismo do Índice de Protecção (IP) [28]

1º Algarismo	
0	Sem protecção
1	Contra corpos superiores a 50 mm (ex. contacto involuntário da mão)
2	Contra corpos superiores a 12 mm (ex: dedo da mão)
3	Contra corpos superiores a 2,5 mm (ex: ferramentas, ganchos de cabelo)
4	Contra corpos superiores a 1 mm (ex: fios pequenos)
5	Contra depósito de poeiras nocivas
6	Protecção total contra depósitos de poeira

Tabela 4.9 - Descrição do 2º algarismo do Índice de Protecção (IP) [28]

2º Algarismo	
0	Sem protecção
1	Contra a queda vertical de gotas de água (condensação)
2	Contra a queda de gotas até 15° em relação à vertical
3	Contra a queda de gotas até 60° em relação à vertical (chuva)
4	Contra as projecções de água em todas as direcções
5	Contra as projecções de água a alta pressão em todas as direcções
6	Contra as projecções de água equivalentes a uma vaga
7	Contra a imersão
8	Equipamento submersível, em condições acordadas

A tabela 4.10 apresenta os valores e respectiva descrição do algarismo opcional.

Tabela 4.10 - Descrição do algarismo opcional do Índice de Protecção (IP) [28]

Algarismo Opcional	
A	Protege contra o acesso das costas da mão
B	Protege contra o acesso dos dedos
C	Protege contra o acesso de um objecto com \varnothing 2,5 mm
D	Protege contra o acesso de um objecto com \varnothing 1 mm

A EN 50102 define um outro código, IK, que caracteriza a capacidade de um material resistir aos impactos mecânicos, cuja nomenclatura encontra-se na tabela 4.11.

Tabela 4.11 - Código IK segundo a EN 50102 [28]

Energia do impacto (J)	Código IK segundo a EN 50102	Tipo de protecção
0,00	00	Sem qualquer tipo de protecção
0,15	01	Objecto sólido de 200 g lançado de uma altura de 7,5 cm
0,20	02	Objecto sólido de 200 g lançado de uma altura de 10 cm
0,35	03	Objecto sólido de 200 g lançado de uma altura de 17,5 cm
0,50	04	Objecto sólido de 200 g lançado de uma altura de 25 cm
0,70	05	Objecto sólido de 200 g lançado de uma altura de 35 cm
1	06	Objecto sólido de 500 g lançado de uma altura de 20 cm
2	07	Objecto sólido de 500 g lançado de uma altura de 40 cm
5	08	Objecto sólido de 1,7 kg lançado de uma altura de 20,5 cm
10	09	Objecto sólido de 5 kg lançado de uma altura de 20 cm
20	10	Objecto sólido de 5 kg lançado de uma altura de 40 cm

4.2.3 - Luminárias eficientes vs Luminárias ineficientes

Quando se procede à escolha de um determinado tipo de luminária, há que tomar em consideração aspectos que potenciem a utilização das lâmpadas que lhes estão associadas. Existem, todavia, soluções cujas características não se enquadram, de todo, nestes requisitos, proporcionando um desperdício de eficiência.

Uma boa iluminação deve ser dirigida para os objectos ou superfície a iluminar, evitando a propagação de fluxo no hemisfério superior. Este aspecto tem que ver com o desperdício de fluxo que é emitido para cima, quando poderia ser reaproveitado e dirigido para baixo, mediante a implementação de um reflector.

As figuras 4.12, 4.13 e 4.14 ilustram, respectivamente, exemplos de iluminação eficiente, parcialmente ineficiente e ineficiente.

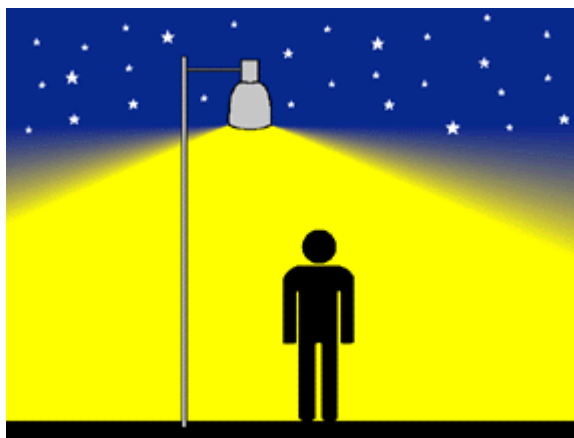


Figura 4.12 - Exemplo de iluminação eficiente [10]

O exemplo ilustrado na figura 4.12 representa a opção na qual se obtém uma maior eficiência. O fluxo é emitido para baixo e para os lados, tal como pretendido, e obtém-se ainda mais iluminação conjugado com a possibilidade de manter observável o céu nocturno. Esta é, portanto, a disposição que permite otimizar a utilização de uma lâmpada associada a uma luminária.

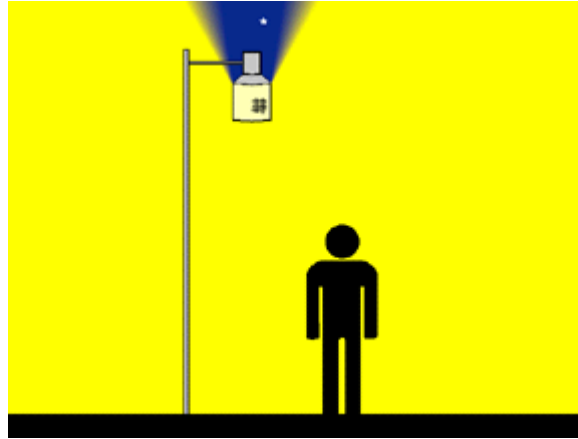


Figura 4.13 - Exemplo de iluminação parcialmente ineficiente [10]

Na figura 4.13 é possível observar que parte do fluxo é emitido para o hemisfério superior. Por essa razão, esta solução potencializa o desperdício e o subaproveitamento do fluxo emitido pela lâmpada.

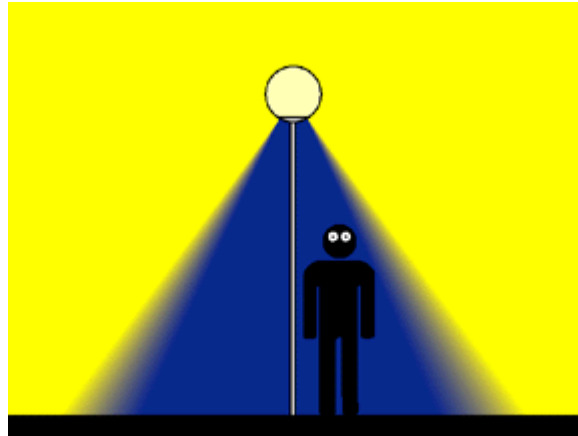


Figura 4.14 - Exemplo de iluminação ineficiente [10]

“Illuminates little but for the bellies of birds”⁴ [10].

A solução ilustrada na figura 4.14 representa um desperdício quase total de iluminação. Além de não proporcionar a observação do céu nocturno, ilumina mais no hemisfério superior do que no hemisfério inferior, deixando por iluminar a área onde efectivamente a iluminação é mais necessária. É notável, portanto, o elevado grau de desperdício e ineficiência obtidos com esta solução.

⁴ Ilumina pouco, apenas a barriga dos pássaros.

4.2.4 - Luminárias utilizadas na iluminação pública

Tendo em conta dados estatísticos, em Portugal existem cerca de 3 a 4 milhões de pontos de luz, sendo a solução mais utilizada, em termos de lâmpadas, o sódio de alta pressão (HPS), associado a luminárias cujas colunas medem 4, 8 e 10 m de altura útil. O objectivo de qualquer instalação, independentemente da solução utilizada, é potenciar o factor de utilização, i.e., conseguir fazer com que a luz aponte para a área que se pretende iluminar.

Nesta subsecção, serão dados alguns exemplos de luminárias utilizadas na iluminação pública.

Para a iluminação de vias principais e secundárias urbanas, as luminárias estão comumente instaladas na separação das vias, quando existe separação física das mesmas por intermédio de blocos maciços, *rails*, etc., tal como ilustrado nas figuras 4.15, 4.16 e 4.19.



Figura 4.15 - Luminárias instaladas em Lisboa [20]



Figura 4.16 - Luminárias instaladas na zona do Tejo [20]

Quando, por outro lado, não existe separação física das faixas de rodagem, as luminárias podem ser colocadas nas bermas de ambas as faixas de rodagem (figura 4.17), ou em apenas uma, quando tal opção se justifique, conforme demonstrado na figura 4.18.

A disposição das luminárias está sempre dependente da largura das vias e do número de faixas de rodagem existente e é estudada caso a caso.



Figura 4.17 - Luminárias instaladas em Cascais [20]



Figura 4.18 - Luminárias instaladas na zona de Matosinhos, Porto [20]



Figura 4.19 - Luminárias utilizadas em Sintra [20]

Por vezes, nos casos em que a instalação de luminárias na separação das vias não se torna viável (quando a área a iluminar é considerável), procede-se à sua instalação em ambas as bermas, tal como ilustrado na figura 4.20.



Figura 4.20 - Luminárias instaladas em Lisboa [20]

Quando a área a iluminar engloba não apenas as faixas por onde se processa o trânsito normal de veículos, mas também ciclovias e/ou zonas pedonais, a solução a adoptar passa por incorporar na mesma torre a luminária destinada à iluminação das faixas de rodagem e a luminária destinada à iluminação desta(s) via(s), tal como exemplificado na figura 4.21.



Figura 4.21 - Luminárias instaladas em Montevideo, Porto [20]

Quando se pretende iluminar em simultâneo passeios e zonas de trânsito, a solução adoptada é exactamente a mesma, tal como ilustrado na figura 4.22.



Figura 4.22 - Luminárias instaladas em Seia [20]

Quando se está perante uma rotunda, a iluminação pode estar localizada tanto nas bermas exteriores à mesma (figura 4.23) ou então na própria rotunda em si; há casos em que, todavia, a iluminação está situada em ambos os locais, tal como ilustrado na figura 4.24.



Figura 4.23 - Luminárias instaladas em Mora, Évora [39]



Figura 4.24 - Luminárias instaladas em Peso, Covilhã [38]

A iluminação de zonas de estacionamento exterior segue o mesmo princípio das restantes, porém, engloba um cuidado maior, dado que é necessário tomar em consideração que estas zonas carecem de boa qualidade de iluminação, dado que podem ser consideradas zonas perigosas, devido aos assaltos. Assim, opta-se normalmente por implementar soluções em forma de projectores multidireccionais, conforme exemplificado nas figuras 4.25 e 4.26.



Figura 4.25 - Luminárias instaladas em Matosinhos (parque exterior do Mar Shopping) [39]



Figura 4.26 - Luminárias instaladas em Matosinhos (parque exterior do Mar Shopping) [39]

A iluminação pública referente a zonas habitacionais foi alvo de uma reestruturação recente, por parte da EDP, sendo que, actualmente, a solução mais utilizada é a ilustrada na figura 4.27.



Figura 4.27 - Luminárias instaladas em Mogadouro [40]

4.3 - Equipamento auxiliar

As lâmpadas de descarga necessitam de um balastro para o seu funcionamento.

O balastro é um dispositivo que apresenta duas funções primordiais:

- Limitar a corrente para valores adequados, para permitir que esta possa atravessar a lâmpada e produzir o efeito pretendido;
- Elevar a tensão, com o intuito de estabelecer uma diferença de potencial suficientemente elevada entre os eléctrodos, cuja finalidade é originar o aparecimento de um arco eléctrico que irá provocar a descarga na lâmpada.

Existem dois tipos de balastros: magnéticos e electrónicos. Há vários tipos de balastros magnéticos disponíveis, sendo os mais usuais adequados para o funcionamento com arrancadores. No que refere às perdas, os balastros magnéticos são classificados em 4 classes:

- B1 (perdas muito reduzidas);
- B2 (perdas reduzidas);
- C (*standard*);
- D (perdas elevadas).

Os balastros magnéticos mais recentes são de perdas reduzidas e o seu circuito magnético apresenta características melhoradas, mas o princípio de funcionamento permanece inalterado. Assim, como consequência directa do protocolo de *Kyoto*, a legislação europeia procedeu à imposição de normas respeitantes à eficiência energética dos balastros. Assim, os balastros de tipo D, que apresentavam maior consumo energético, deixaram de poder ser empregues a partir de 20 de Maio de 2002 (Dec. Lei 327/2001), sendo que, a partir de Novembro de 2005, passou também a ser proibida a venda de balastros de classe C.

Os balastros electrónicos, disponíveis desde a década de 80, são utilizados em substituição dos magnéticos, pelas características de desempenho melhoradas e que, aliado ao facto do aumento sucessivo dos custos de energia, resultou num aumento da utilização dos mesmos a partir do início da década de 90.

Estes dispositivos provocam uma melhoria da eficiência das lâmpadas, uma vez que convertem a frequência *standard* de 50 Hz em altas frequências, na ordem dos 25 kHz a 40 kHz.

Este tipo de balastro apresenta como vantagens:

- Perdas equivalentes aos electromagnéticos mais eficientes e aumentam a eficiência energética das lâmpadas em 20%;
- Permitem um arranque suave às lâmpadas, aumentando a sua vida útil (até 50%) e reduzindo os custos de manutenção associados;
- Permitem um melhor controlo da potência (possibilidade de regulação do fluxo) e da corrente da lâmpada;
- Eliminam a cintilação da luz, uma vez que a lâmpada cintila 40000 vezes por segundo (imperceptível ao olho humano) ao invés das habituais 100 vezes;
- Não produzem ruído, uma vez que a frequência de funcionamento é superior à faixa de audição humana;
- Permitem a desligação automática das lâmpadas em caso de anomalia e a religação automática quando a anomalia tiver sido corrigida;

- Permitem eliminar os efeitos de estroboscópio⁵;
- O rendimento pode ultrapassar os 93%, enquanto o rendimento médio de um balastro magnético ronda os 85%.

Os balastros electrónicos são classificados nas seguintes classes:

- A1 (com regulação de fluxo);
- A2 (com baixas perdas);
- A3 (*standard*).

Em consequência da Directiva Comunitária 2000/55/CE, de 18 de Setembro, que define níveis mínimos de eficiência para os balastros, os fabricantes definiram as classes de eficiência descritas anteriormente em função do índice de eficiência energética (EEI), que passou a constar da etiqueta, conforme ilustra a figura 4.28.

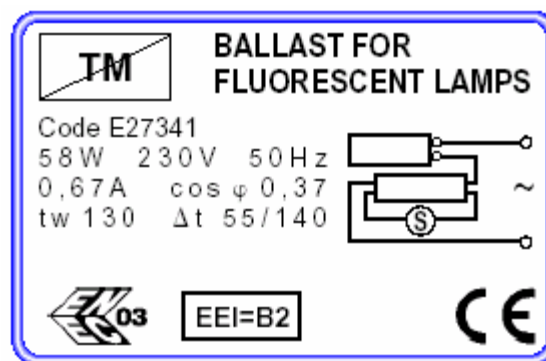


Figura 4.28 - Etiqueta típica de um balastro [24]

Relativamente à classificação dos balastros, as classes existentes são as indicadas na tabela 4.12.

Tabela 4.12 - Classes de eficiência dos balastros [24]

Classe	Descrição
A1	Balastros electrónicos com regulação de fluxo
A2	Balastros electrónicos de perdas reduzidas
A3	Balastros electrónicos <i>standard</i>
B1	Balastros magnéticos de perdas muito reduzidas
B2	Balastros magnéticos de perdas reduzidas
C	Balastros magnéticos <i>standard</i>
D	Balastros magnéticos de perdas elevadas

Na figura 4.29 apresenta-se um esquema de ligação de um balastro electrónico.

⁵ Sensação de cansaço visual provocada pela percepção do olho humano à intermitência da luz, aquando de exposição prolongada a lâmpadas que funcionam a 50 Hz.

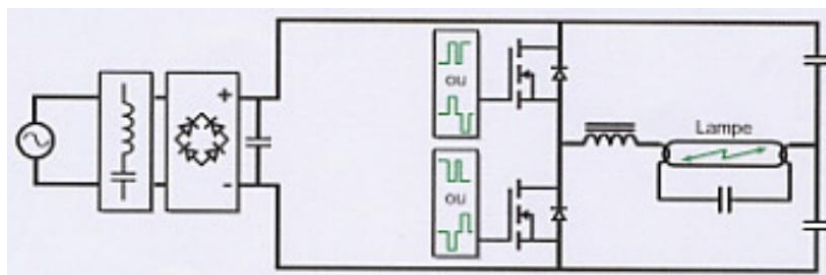


Figura 4.29 - Princípio de funcionamento de uma lâmpada alimentada por um balastro electrónico [25]

No decurso do período de pré-aquecimento da lâmpada de descarga, este dispositivo fornece uma tensão crescente à lâmpada, aplicando uma corrente praticamente constante. Como vantagem, o balastro regula a tensão aplicada à lâmpada independentemente das flutuações da tensão da rede.

A figura 4.30 ilustra a poupança de energia que é possível obter mediante utilização de balastros electrónicos simples ou associados a outros dispositivos de poupança de energia.

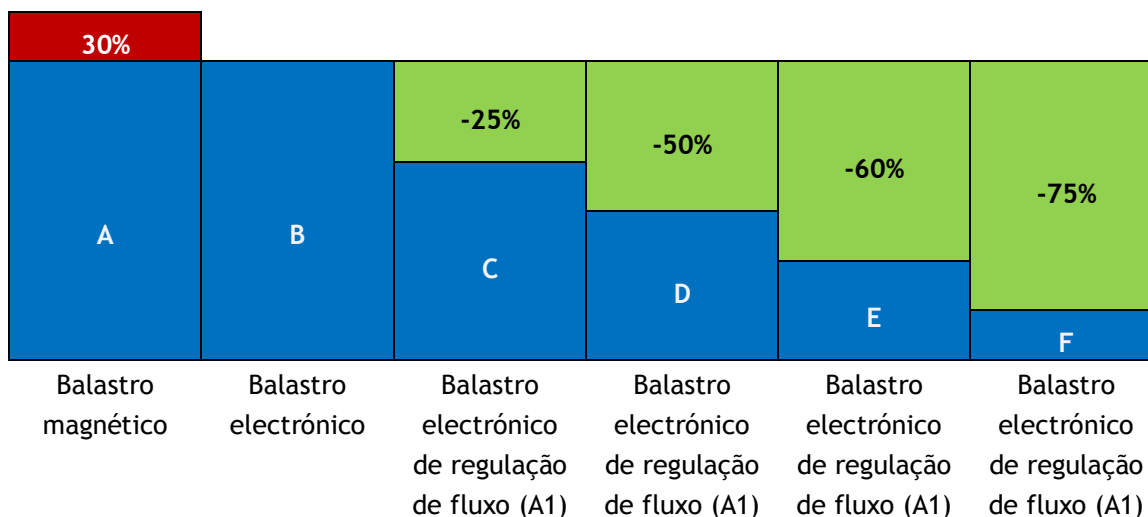


Figura 4.30 - Poupanças obtidas mediante instalação de balastros electrónicos [26]

Sendo:

A - Fluxo constante;

B - Fluxo constante;

C - Regulação de fluxo manual;

D - Detector de movimento (PIR⁶) + regulação de fluxo manual;

E - Sensor de luz constante;

F - Sensor de luz constante + detector de movimento (PIR) + regulação de fluxo manual.

⁶ Passive Infra Red - Detector volumétrico de IV passivo.

4.4 - Eficiência energética

A eficiência energética de uma instalação de iluminação pública é definida como sendo a relação entre o produto da superfície iluminada pela iluminação média em serviço da instalação e a potência total instalada [3]:

$$\varepsilon = S \text{ (m}^2\text{)} \times E \text{ (lux)} / P \text{ (W)} , \quad (4.1)$$

sendo:

ε - Eficiência energética da instalação;

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

E - Nível médio de serviço calculado;

P - Potência total das luminárias mais auxiliares intervenientes na área calculada.

A figura 4.31 ilustra as definições de via funcional e área total.



Figura 4.31 - Definição de via funcional e área total para o cálculo da eficiência energética [3]

A iluminação pública tem suscitado o interesse de todas as entidades envolvidas, nos últimos anos, no sentido de tentar dar resposta ao uso racional de energia, estando os fabricantes a efectuar esforços para o desenvolvimento das suas próprias tecnologias, para dar resposta às novas exigências em questões energéticas.

A figura 4.32 apresenta uma tabela de referência que deverá servir de guia para a determinação da eficiência energética na iluminação pública. Não obstante, deverá estar prevista a sua revisão, para acompanhamento permanente das evoluções tecnológicas, exigências energéticas e melhores práticas.

Classificação Energética das Instalações de Iluminação Pública	
Mais Eficiente	
A	
B	
C	
D	
E	
F	
G	
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:	

Figura 4.32 - Tabela de referência para a classificação de eficiência das instalações de iluminação pública [3]

A tabela 4.13 apresenta valores para a eficiência energética.

Tabela 4.13 - Valores para a eficiência energética [3]

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	$\varepsilon \leq 15$

Um dos critérios a ter em consideração na classificação energética das instalações de iluminação pública, conforme a figura 4.32, é a visão mesópica, medida em lumens mesópicos.

Para se perceber a luz, é necessário entender o funcionamento da visão humana. A retina é constituída por dois tipos de fotorreceptores: os cones que percebem as cores e estão associados à visão diurna e os bastonetes que percebem o claro e o escuro e estão associados à visão noturna. Assim, os cones são activos com níveis de luminosidade alta e os bastonetes, por sua vez, com níveis de luminosidade baixa. Desta forma, os cones e os bastonetes possuem sensibilidades espectrais diferentes, que se definem, respectivamente, por visão fotópica (comprimento de onda (λ) de 555 nm) e visão escotópica ($\lambda = 505$ nm), sendo os níveis de iluminação intermédios definidos como visão mesópica, conforme ilustrado na figura 4.33.

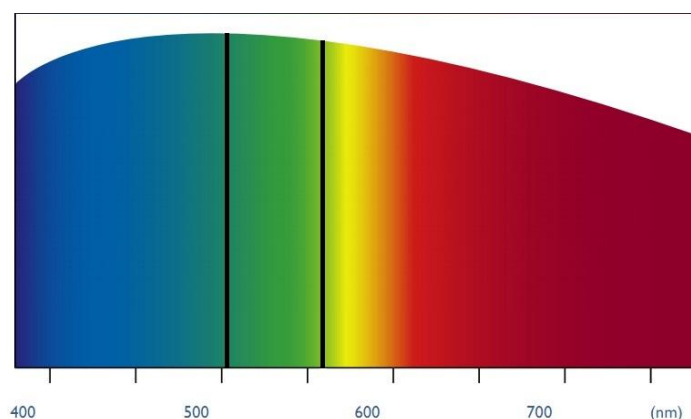


Figura 4.33 - Distribuição espectral de fontes de luz [43]

A figura 4.34 representa uma comparação da eficácia luminosa relativa da visão escotópica e fotópica, em função do comprimento de onda da luz.

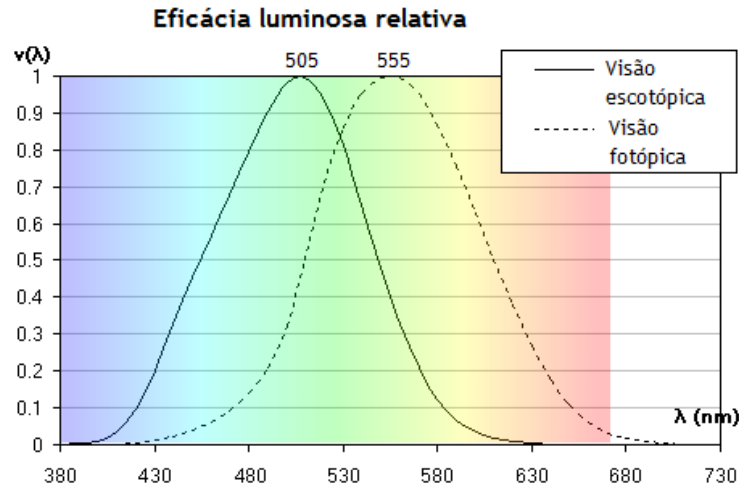


Figura 4.34 - Eficácia luminosa relativa da visão escotópica e fotópica em função do comprimento de onda da luz [22]

Deste modo, torna-se essencial esta percepção no sentido de avaliar a eficiência dos vários tipos de lâmpadas, no que respeita a condições fotópicas ou escotópicas. As normas para a iluminação pública visam estabelecer valores mínimos de luminância em patamares iguais a 0,5 cd/m², 0,75 cd/m², 1 cd/m², 1,5 cd/m² e 2 cd/m², dependendo do tipo de via a iluminar, i.e., são valores enquadrados no tipo de visão mesópica, conforme ilustra a figura 4.35.

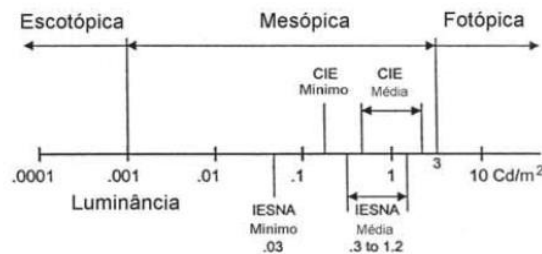


Figura 4.35 - Visão escotópica, mesópica e fotópica [44]

Em todo o caso, e existindo ainda algumas indefinições relativamente às classes onde poderá ser aplicada a visão mesópica, e segundo o documento de referência para a eficiência energética na iluminação pública, 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.

4.4.1 - Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE) [11]

Tomando em consideração as imposições de eficiência energética decretadas pela UE, que estabeleceram a obrigação de os Estados-Membros publicarem um plano de acção para a eficiência energética, instituindo metas de, pelo menos, 1% de poupança de energia por ano até 2016 (Diário da República, 1.ª série, n.º 97, 20/05/2008), a Resolução do Conselho de Ministros nº 80/2008 aprova o Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética - Portugal Eficiência 2015, documento que engloba um conjunto alargado de programas e medidas

consideradas fundamentais para que se torne possível o cumprimento dos objectivos. Este plano abrange vários sectores, nomeadamente o da iluminação pública, dos quais se apresenta o sumário de programas na tabela 4.14.

Tabela 4.14 - Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE) [11]

Programas e medidas		Impactos (tep)			Metas			
Designação da medida	Código da medida	Descrição	Cenário		Indicadores	Actual	2010	2015
			intermédio					
			2010	2015				
Iluminação Pública eficiente	E8M8	(A)	1764	6174	Número de pontos de iluminação intervencionados	-	46429	162500
	E8M9	(B)	230	805	Número de globos substituídos	-	14286	50000
	E8M10	(C)	893	3126	Número de novas instalações	-	57143	200000
	E8M11	(D)	814	3258	Número de lâmpadas de mercúrio instaladas	300000	225000	0
	E8M12	(E)	2003	5340	Número total de pontos de iluminação	-	40385	107692
	Total			5704	18703	-	-	383243

Sendo:

- (A) - Instalação de reguladores de fluxo como garantia de eficiência energética na iluminação pública;
- (B) - Substituição de globos por equipamento com melhor capacidade de reflexão e necessidade de lâmpadas de menor potência;
- (C) - Cumprimento de requisitos mínimos de eficiência energética para novas instalações;
- (D) - *Phase out* de lâmpadas de vapor de mercúrio na iluminação pública;
- (E) - Substituição de luminária e balastro electrónico em instalações com mais de 10 anos.

A introdução destas medidas visa a redução de energia consumida no sector da iluminação pública, bem como a alteração de comportamentos dos hábitos de consumo. Nesse sentido, Portugal iniciou já a implementação de instalações eficientes. A secção seguinte ilustra alguns desses exemplos.

4.5 - Exemplos de instalações eficientes em Portugal

Com o avançar das exigências de eficiência energética, foram efectuados estudos no sentido de encontrar-se opções que satisfizessem esses requisitos. O objectivo é produzir o mesmo (ou mais) gastando menos, sendo que o ideal, naturalmente, é obter-se uma instalação com melhores características gastando menos energia.

4.5.1 - Auto-estrada iluminada a sistema LED [45]

Em Portugal, foram já implementados alguns projectos-piloto, nomeadamente recorrendo à tecnologia LED, que se apresenta como sendo um avanço na vanguarda no que respeita a tecnologias eficientes. Como exemplo, tem-se parte da iluminação da auto-estrada A29, km1, nó de Angeja, inaugurada em 2009. Efectivamente, trata-se da primeira auto-estrada da Europa iluminada a LED, sendo o primeiro grande projecto de eficiência energética na iluminação pública a nível de auto-estradas europeias. A qualidade de iluminação obtida por um índice de reprodução de cor até agora inexistente neste tipo de aplicação, em paralelo com uma eficiência energética na ordem dos 50%, torna a solução efectivamente atractiva. A reduzida manutenção (tempo de vida útil de 60 mil horas - mais de 14 anos de duração de vida) representa, em auto-estradas, um menor incómodo para os utilizadores, proporcionando, igualmente um melhor serviço. As figuras 4.36 a 4.39 ilustram a implementação desta solução.



Figura 4.36 - Solução de iluminação utilizada na A29, nó de Angeja, km 1 [45]

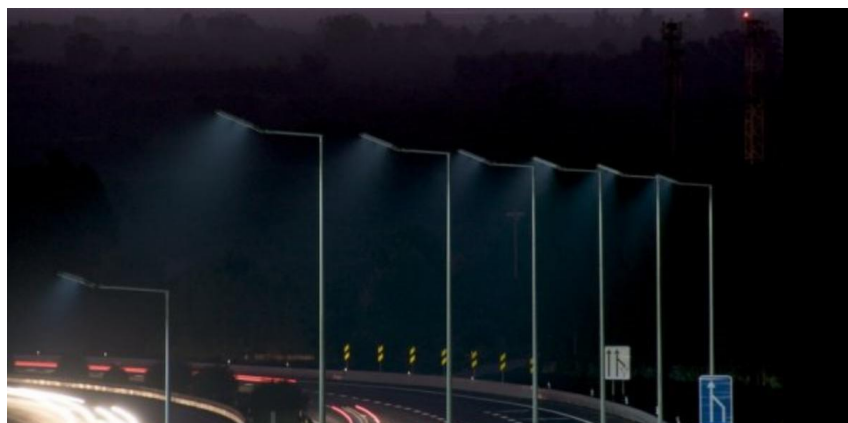


Figura 4.37 - Solução de iluminação utilizada na A29, nó de Angeja, km 1 [45]



Figura 4.38 - Pormenor da luminária referente à solução de iluminação utilizada na A29, nó de Angeja, km 1 [45]



Figura 4.39 - Pormenor da luminária referente à solução de iluminação utilizada na A29, nó de Angeja, km 1 [45]

Segundo estudos recentes, esta solução em concreto, que incluiu a instalação de mais de 200 luminárias, está a evitar a emissão de mais de 40 toneladas de CO₂ por ano.

Além das vantagens referidas, esta solução apresenta-se francamente atractiva, por não necessitar de manutenção pelo menos durante os próximos 14 anos. Em complemento, a qualidade de iluminação é algo notório ao longo da extensão do nó, devido ao seu elevado IRC e a luz branca gerada por luminárias de *full cutoff*⁷ provoca um ambiente distinto a este troço de auto-estrada.

4.5.2 - Projecto “Rua LED” [47]

O concelho de Pombal foi o primeiro em Portugal a ter uma rua iluminada com sistema LED (Rua Fidalgo Aprendiz). As lâmpadas de vapor de sódio de 325 W existentes foram substituídas por lâmpadas LED de 80 W, proporcionando, assim, uma economia de energia que pode chegar aos 80%. A autarquia instalou 20 candeeiros LED, num investimento total de 7500 €, que se conta estar amortizado em 5 anos, com a vantagem de esta instalação não requerer qualquer tipo de manutenção durante 14 anos.

A figura 4.40 representa a implementação referida.



Figura 4.40 - Luminárias a LED instaladas na Rua Fidalgo Aprendiz, Pombal [47]

A luminária utilizada está ilustrada nas figuras 4.41 e 4.42.

⁷ O termo *full cutoff* tem sido utilizado para descrever luminárias que não emitem fluxo luminoso no hemisfério superior.



Figura 4.41 - Luminária a LED utilizada na Rua Fidalgo Aprendiz, Pombal [53]



Figura 4.42 - Luminária a LED acesa utilizada na Rua Fidalgo Aprendiz, Pombal [53]

4.5.3 - Projecto “Aldeia LED” [50]

Inserido no projecto “Aldeia LED”, a freguesia de Cabeça (concelho de Seia) contou com a primeira instalação de iluminação LED em aldeias, que inclui também contadores electrónicos de energia (visível na figura 4.45, abaixo da luminária). A inauguração foi no dia 15 de Abril de 2011 e estima-se que, através desta operação, seja possível uma redução dos consumos energéticos com iluminação pública na ordem dos 70%, num investimento que rondou os 170.000 €. Os pormenores desta instalação estão ilustrados nas figuras 4.43, 4.44 e 4.45.



Figura 4.43 - Aldeia de Cabeça (Seia) iluminada a LED [50]



Figura 4.44 - Aldeia de Cabeça (Seia) iluminada a LED [50]



Figura 4.45 - Aldeia de Cabeça (Seia) iluminada a LED [50]

4.6 - Exemplos de instalações eficientes a nível Europeu

Nesta secção, serão enumerados alguns exemplos implementados em países europeus, com a finalidade de obter melhor desempenho luminotécnico, a par com a obtenção de poupanças significativas bem como uma iluminação pública mais eficiente.

4.6.1 - Projecto de iluminação na Suécia

Ainda no contexto das auto-estradas, mas sendo agora o objectivo não apenas iluminar a área de circulação mas também guiar o trânsito, será abordado o caso da iluminação pública implementada na Suécia.

Sendo o objectivo reduzir os custos inerentes à iluminação pública associado ao aumento da segurança nas estradas, este país testou um sistema de iluminação cujo objectivo era, tal como já referido, guiar o trânsito, ao invés de apenas iluminar a estrada. Recorrendo-se ao sistema LED, pretende-se aumentar o fluxo luminoso para 100% quando é detectado movimento na estrada, passando este para 40% quando não for detectado movimento. Este processo de regulação de fluxo aliado à detecção de movimento permite uma economia de consumo na ordem dos 75%/80%, uma vez que, por exemplo, no período da madrugada (das 02h00 às 06h00), o volume de tráfego é substancialmente inferior quando comparado com o volume verificado nas horas de ponta (manhã e final de tarde/noite); assim, nestes períodos de volume de tráfego reduzido, e não se justificando um fluxo luminoso de 100%, o simples

facto de conseguir reduzir-se o mesmo em 60% acarreta uma redução de custos bastante relevante.

Outro objectivo associado a esta implementação é aumentar a segurança de circulação, i.e., proporcionar aos condutores uma melhor percepção da estrada que estão a percorrer. Com recurso à tecnologia LED, é possível obter-se índices de reprodução de cor superiores a 75%, que corresponde efectivamente ao nível proporcionado por algumas lâmpadas de vapor de sódio, mas com a vantagem de consumir, no total, menos 75% a 80%.

4.6.2 - Projecto *E-street - Intelligent Road and Street Lighting in Europe* - Projecto de iluminação em Oslo, Noruega [51]

De 2005 a 2007, o operador responsável pela iluminação de estradas em Oslo, em cooperação com o Município de Oslo testou e implementou o mais avançado e inteligente sistema de iluminação do mundo. Findo esse período, foram apresentados os resultados, que se traduziram numa poupança de 70% no consumo, quando comparados com os resultados da instalação que estava anteriormente instalada. Utilizando controlo electrónico de fluxo luminoso e comunicação electrónica das características a que cada lâmpada está a operar, cada uma delas pode, efectivamente, ser monitorizada com o intuito de poupança de energia e aumento do nível de segurança proporcionado à condução. A figura 4.46 representa um esquema deste tipo de instalação.

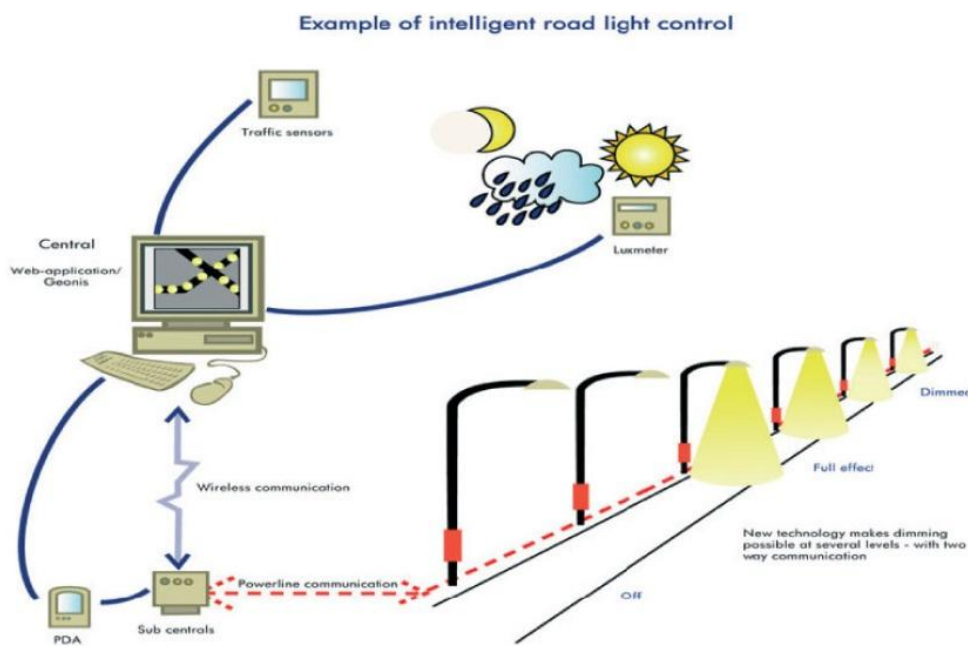


Figura 4.46 - Representação esquemática da gestão de iluminação pública em Oslo [51]

Conforme se pode constatar, esta instalação contempla, igualmente, um luxímetro, cuja função é adaptar o fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas conforme a quantidade de luz natural existente, bem como um sensor de tráfego que, utilizado à noite, permite uma adaptação do fluxo consoante a quantidade de tráfego verificada na estrada em questão.

A cidade de Oslo, graças à implementação deste sistema inteligente de gestão de iluminação pública, foi galardoada com o prémio *“The sustainable City of the year in*

Europe”, em 2003. Um teste efectuado a larga escala em Oslo entre 2003 e 2004 demonstra claramente a enorme poupança que este tipo de instalação proporciona quando comparada com os resultados obtidos da utilização de instalações anteriores e obsoletas.

4.6.3 - Projecto de iluminação em Costello, Itália

Passando agora para o caso de Itália, cidade de Costello, são apresentados alguns dados disponibilizados referentes à implementação de um sistema que proporciona uma gestão automática e eficiente da iluminação pública:

Potência total da instalação:	650 kW
Quantidade de controladores utilizados:	71
Horas de funcionamento em horário normal (por ano):	4200 h
Horas de funcionamento em horário reduzido (por ano):	2270 h
Custo do investimento:	202.349,32 €
Poupança anual em energia:	34,9 %
Poupança anual em electricidade:	74.363,37 €
Retorno do investimento:	2,7 anos

Conclusão do estudo: mediante este sistema inteligente de gestão de iluminação pública, é possível uma poupança de energia na ordem dos 40%, sendo o retorno do investimento atingido ao fim de aproximadamente 3 anos.

4.6.4 - Caso da Holanda

Foi efectuado um estudo de 3 anos, na Holanda, que realizou testes à redução da luminosidade em estradas nas horas de tráfego reduzido, com boas condições climatéricas, implementando, para o efeito, um sistema dinâmico para controlo da iluminação pública. Como conclusões, a aplicação de um sistema deste género, que contempla reduções na luminosidade até 50%, permite uma poupança de energia na ordem dos 30% a 40%, proporcionando, igualmente, o aumento do tempo em serviço das lâmpadas. Devido à reduzida manutenção e à redução dos consumos em electricidade, os sistemas deste tipo apresentam um retorno do investimento avaliado em cerca de 3 a 5 anos, dada a sua comprovada eficácia.

4.7 - Exemplos de instalações eficientes a nível mundial

À semelhança da secção 4.6, esta secção visa enumerar alguns exemplos de instalações eficientes implementadas no resto do mundo.

4.7.1 - Projecto híbrido para instalação de iluminação pública no Brasil

Aquando da ocorrência de um apagão no Brasil, em 2001, um empresário cearense desenvolveu o primeiro sistema de iluminação 100% alimentado por energia eólica e solar. O objectivo seria aliar a produção de energia limpa ao risco de ocorrência de apagão, evitando, assim, a possibilidade de a cidade ficar novamente sem iluminação.

O projecto consistiu numa implementação original que engloba a presença de um avião no topo do poste, fabricado em fibra de carbono e alumínio especial (que, no fundo, são os mesmos materiais utilizados em aeronaves comerciais). Este componente tem 3 metros de comprimento e é a peça chave do poste híbrido. A escolha da configuração do avião tem que ver com a sua aerodinâmica, que facilita a captação dos raios solares e do vento, conforme ilustram as figuras 4.47 e 4.48.



Figura 4.47 - Projecto híbrido para alimentação de iluminação pública (Brasil) [52]



Figura 4.48 - Pormenor da instalação híbrida para alimentação de iluminação pública (Brasil) [52]

Tecnicamente, as asas do avião abrigam células fotovoltaicas que captam raios UV e IV por intermédio de silício, transformando-os em energia eléctrica (até 400 W), que é armazenada numa bateria fixada alguns metros abaixo.

As hélices do avião também produzem energia (até 1 kW) e cada poste é capaz de abastecer três em simultâneo, i.e., cada poste com um avião é capaz de produzir energia para outros dois, que não estão equipados com gerador, e com 6 lâmpadas de tecnologia LED, que têm 50000 horas de vida útil.

A captação de luz e vento é feita segundo um eixo com possibilidade de girar em torno de 360 °, consoante a direcção do vento.

Nesta solução, o poste tem autonomia de até 7 dias e, segundo o inventor: “as baterias do poste híbrido têm autonomia até 70 horas, ou seja, se faltarem vento e sol durante 70 horas, ou 7 noites seguidas, as lâmpadas continuarão acesas, enquanto a humanidade seria extinta, uma vez que não é possível viver 7 dias sem a luz solar”.

A implementação deste projecto permite a economia de cerca de R\$ 21000 (aproximadamente 9200 €) por quilómetro/mês. Além disso, a instalação de cada poste fica 10% mais barata, dado que se economiza transmissão, subestação e cablagem. Actualmente, o consumo no Brasil em iluminação pública ronda os 7% da energia total, sendo que a implementação desta tecnologia a larga escala faria com que esse valor passasse para os 3%, sem contar com as vantagens ambientais.

4.8 - Poupança energética na iluminação pública

Aliado à instalação de lâmpadas e luminárias eficientes está a adopção de boas práticas em termos de gestão de energia, na exploração de uma instalação de iluminação pública. Existem várias medidas que proporcionam uma economia de energia adicional, e sem comprometer as características e os níveis de iluminação estipulados.

As medidas de poupança de energia em iluminação pública não devem nunca englobar o apagar de lâmpadas, sob pena de violação dos critérios de segurança das vias a que se referem e das características de iluminação tomadas em consideração aquando a fase de projecto.

Assim, destacam-se as seguintes medidas:

- O nível de iluminância deve ser função da densidade de tráfego e do movimento de peões, tanto quanto possível. Esta medida implica a utilização de balastros especiais (electrónicos) que permitam a regulação de fluxo (*dimming*⁸) das lâmpadas; a implementação desta medida pode permitir uma poupança na factura energética na ordem dos 30% a 40%;
- Regulação adequada do sistema de comando da iluminação, que deve estar inteiramente ajustado às condições das quatro estações do ano. Um acendimento precoce da iluminação, em associação com o apagar tardio, provoca um desperdício de energia eléctrica e diminuição da duração de vida das lâmpadas perfeitamente evitável;
- A opção de manter a iluminação pública ligada a noite inteira provoca igualmente um desperdício energético, visto não estar adequada à quantidade de tráfego existente em cada momento; os níveis de iluminação requeridos nas horas de ponta não se adequam às horas de vazio ou super vazio;
- A redução de potência de algumas lâmpadas de descarga nas horas de vazio, obtida mediante utilização de balastros electrónicos, permite igualmente uma economia no consumo. Ao nível da manutenção, obtém-se uma redução do número de intervenções ao nível das lâmpadas;
- Ao nível da iluminação rodoviária, a utilização de sensores de movimento contribui igualmente para uma economia no consumo. Quando não é detectado movimento na estrada, o fluxo diminui para cerca de 40%, voltando aos 100% quando o movimento é detectado. Esta medida implica, naturalmente, um maior investimento, que deverá atingir o retorno em relativamente pouco tempo, dada a economia que proporciona em comparação com um sistema de iluminação convencional e poderá ser um complemento à primeira medida enunciada;
- O controlo e monitorização da tensão e corrente da lâmpada permitem, com antecedência de meses, prever quando é que a lâmpada vai falhar, i.e., quando vai ser necessário ser substituída;

⁸ Um *dimmer* é um dispositivo utilizado para variar o brilho de uma fonte de luz, permitindo aumentar ou diminuir a sua potência.

- Em questões de manutenção, uma limpeza periódica das armaduras pode aumentar a eficiência do sistema em cerca de 10% a 30%, e, procedendo-se à substituição periódica das lâmpadas, a mesma pode aumentar de 20% a 25%.

A conseqüente diminuição da duração de vida das lâmpadas e da aparelhagem auxiliar, resultante da ausência de aplicação de boas práticas de gestão de energia, tem como conseqüência o aumento da factura energética e dos custos de manutenção associados.

Para obter-se uma optimização da utilização da iluminação pública, em termos gerais, é necessário tomar em consideração as alterações das condições climatéricas, que influem bastante na *performance* visual. Outro parâmetro igualmente relevante é a variação da densidade de tráfego durante um dia, tornando este parâmetro previsível, permitindo, assim, que sejam tomadas medidas no sentido de ajustar o fluxo das lâmpadas à densidade de tráfego (*dimming*), conjugado com as condições climatéricas verificadas.

4.8.1 - Manutenção

Durante a vida útil de uma instalação de iluminação pública, os custos com a manutenção rondam os 50%, conforme ilustrado na figura 4.49.

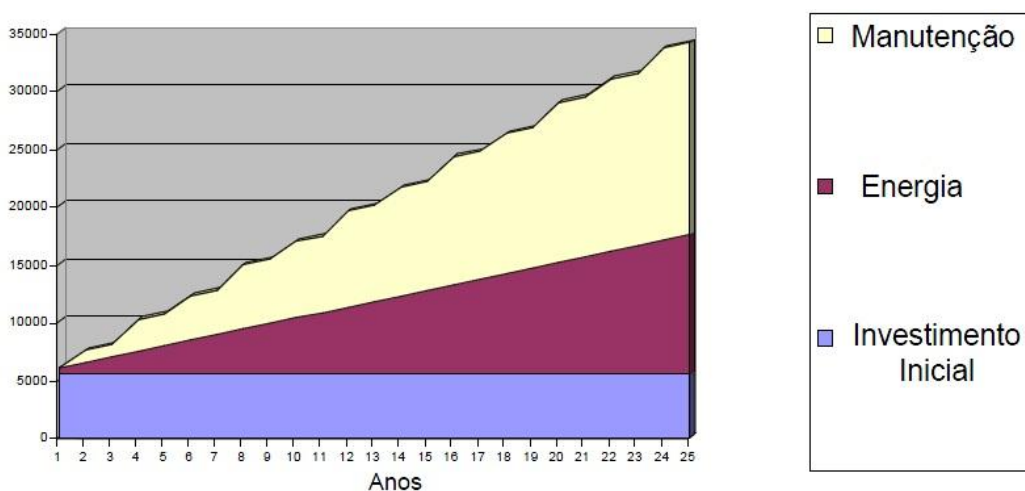


Figura 4.49 - Distribuição dos custos durante a vida útil [56]

Parte do desperdício de energia eléctrica nas luminárias deve-se à inadequada manutenção desses equipamentos. O depósito de poeiras nos equipamentos, aliado ao seu natural envelhecimento dá origem a uma depreciação do fluxo luminoso emitido, resultando num decréscimo do nível de iluminação. No sentido de evitar esta problemática, torna-se fundamental proceder a operações de manutenção regulares e sistemáticas, em simultâneo com a substituição periódica das lâmpadas, o que proporciona o aumento substancial da qualidade da iluminação e permite evitar desperdícios de energia eléctrica. A ausência destas medidas origina uma depreciação do fluxo luminoso em valores que podem ultrapassar os 40%, mas mantendo, todavia, o consumo de energia eléctrica.

Algumas luminárias são concebidas de forma a permitir a redução de manutenção, como as luminárias auto-ventiladas, que evitam a acumulação de sujidade nas superfícies ópticas. Aquando da manutenção, deve utilizar-se materiais e técnicas apropriadas com a finalidade

de minimizar as perdas causadas por acção química ou desgaste das ópticas, bem como acumulação de cargas electrostáticas.

4.8.2 - O caso de Vila Nova de Gaia [57] - [59]

Tendo em conta a factura energética resultante do consumo do município em iluminação pública, foram tomadas algumas medidas, em 2008, que permitiram economizar uma quantia considerável. A inexistência de regulamentação exigente que apontasse para a adopção de medidas de utilização racional de energia, despoletou o início de tomada de consciência pela opção de soluções mais energeticamente eficientes, que permitissem, igualmente, a poupança nos consumos associados.

As medidas adoptadas englobaram a preferência por luminárias e lâmpadas de baixo consumo e implementação de reguladores de fluxo, que permitiram uma poupança no consumo na ordem dos 30% a 40%.

O município, que possuía na altura cerca de 1200 instalações de iluminação pública, começou por instalar 400 reguladores de fluxo: 100 no ano de arranque e 300 nos anos seguintes e foi possível obter-se uma poupança energética anual na ordem dos 7,7 GWh, que se traduziu numa poupança económica de cerca de 630.000 €, aliado a ter-se evitado a emissão de 3.400 toneladas de CO₂ para a atmosfera.

Em complemento destas medidas, o município desenvolveu um *software* para monitorizar e gerir de forma permanente a iluminação pública, no sentido de garantir maior eficiência energética mediante o ajuste das necessidades de iluminação ao ambiente envolvente, num dado momento.

Tendo em conta o Relatório de Contas relativo ao ano de 2010, as dotações corrigidas em instalação de reguladores de fluxo luminoso para a iluminação pública foram de 104.060,00 €, estando previsto o gasto de 1.040.550,00 € adicionais nos anos seguintes (instalação faseada), num total de 1.144.610,00 € de investimento.

Em relação aos gastos totais de 2010, a autarquia pagou a quantia de 122.223,22 € relativos aos encargos com iluminação pública.

Mais recentemente, no final de 2010, o município foi uma das 6 cidades europeias a ser financiada pelo Banco Europeu de Investimento (BEI) no âmbito da candidatura ao Programa Elena (*European Local Energy Assistance*), num valor que ascende os 73 milhões de Euros.

Trata-se de um programa que contempla intervenções a nível de edifícios, transportes e iluminação pública. No que refere à iluminação pública, as medidas a implementar incluem a análise do sistema de controlo e comando dos circuitos, no sentido de garantir que os mesmos apenas são accionados quando realmente necessários. Outras medidas incluem a instalação de reguladores de fluxo, permitindo o controlo da instalação por circuito ou ponto-a-ponto, a instalação de luminárias com bons índices de reflexão, em associação com lâmpadas LED, entre outros não especificados.

No que respeita a reduções de consumo, são esperados valores na ordem dos 50%, que reflectem as medidas já anteriormente implementadas em 2008.

Por este ser um projecto recente, não foram disponibilizados à data os resultados obtidos.

4.8.3 - Telegestão [61], [62]

A telegestão, conceito já abordado na subsecção 4.6.2, apresenta-se como sendo o futuro da iluminação pública e consiste em adaptar a luminosidade da via à quantidade de tráfego existente num dado momento, associado à possibilidade de melhoramento das operações de manutenção (intervenção imediata em caso de avarias) e gestão flexível e remota da iluminação pública, permitindo uma redução nos consumos até 40%.

A telegestão responde às necessidades de supervisão e controlo à distância, de modo permanente e automatizado, reduzindo claramente custos de exploração e de manutenção e melhorando a qualidade do serviço prestado. Consiste numa infra-estrutura informática que garante uma gestão técnica e eficaz de unidades locais, bem como uma gestão económica e estatística de um determinado sistema. A gestão técnica é efectuada mediante o tratamento da informação em tempo real proveniente de instalações remotas (unidades locais) e a gestão estatística, por sua vez, é feita através da análise de dados históricos, cujas vantagens são melhorar as condições técnicas e económicas da exploração e fornecer indicações acerca do tempo de utilização dos equipamentos e respectivo estado de funcionamento e fiabilidade, necessidades de expansão futura ou outras informações complementares que possam contribuir para um planeamento adequado e tomada de decisões sobre futuros investimentos.

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

A constituição básica de um sistema de telegestão para a iluminação pública está ilustrada na figura 4.50.

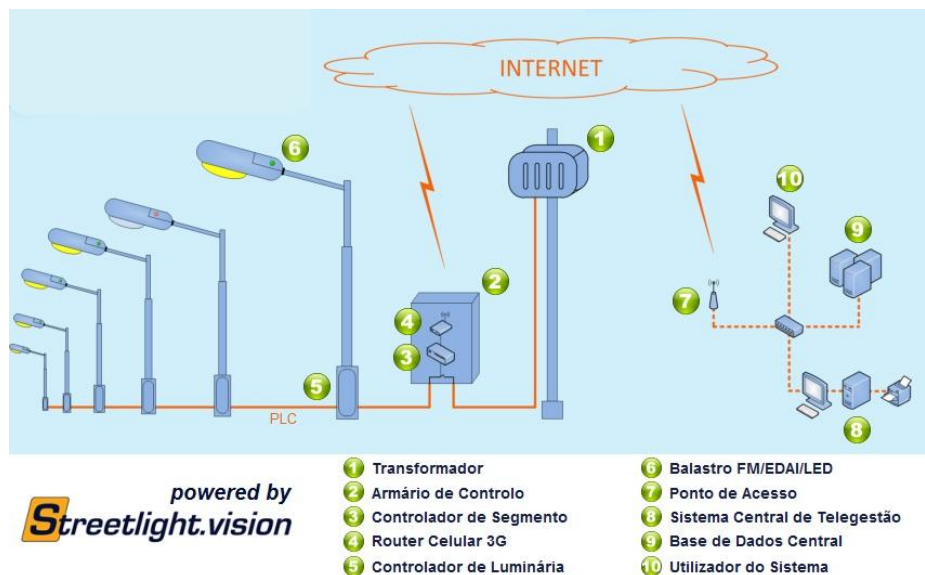


Figura 4.50 - Constituição básica de um sistema inteligente de iluminação pública [62]

A Auto-estradas Norte Litoral - Sociedade Concessionária AENL, S.A., é a concessionária da auto-estrada A27 (ligação Viana do Castelo - Ponte de Lima (21 km) e A28 (ligação Porto - Caminha)). Em 2009, o total de energia eléctrica consumida nestas duas auto-estradas excedeu os 4,3 GWh, que se traduziu em 470.000 €, 93% dos quais dizem respeito à iluminação de auto-estradas e respectivos túneis. As intercepções de Viana do Castelo, Darque (uma freguesia do concelho) e a ponte do Rio Lima na auto-estrada A28, perto de

Viana do Castelo, representaram o troço da concessão com o consumo de energia mais elevado, totalizando 291 pontos de iluminação (248 x 250 W e 43 x 150 W, equipados com lâmpadas HPS e balastros electromagnéticos), com um consumo anual associado de 340 MWh. Após implementação de um sistema inteligente de gestão de iluminação pública, fornecido pela *Enlight*, foi possível obter-se uma redução de 45% nos consumos, com um retorno do investimento a ter lugar em aproximadamente 4 anos.

Antes de qualquer implementação, foram recolhidos os parâmetros de informação necessários para as tomadas de decisão relativamente a:

- Parâmetros eléctricos (tensão, corrente, potência, energia, etc.): foram medidos e registados;
- Foram avaliados parâmetros como localização, quantidades e potência de cada luminária;
- Foram calculados os custos de manutenção por lâmpada;
- Foram medidos níveis de luminância e iluminância de troços críticos da auto-estrada, bem como volume de tráfego nas diferentes horas do dia (figura 4.51), no sentido de programar um cronograma de efeito *dimming* das lâmpadas que não violasse as Normas em vigor;
- Foi feita uma avaliação económica para calcular o nível de investimento, poupanças associadas e retorno do investimento.

A figura 4.51 sintetiza o estudo efectuado para o volume de tráfego automóvel por hora.

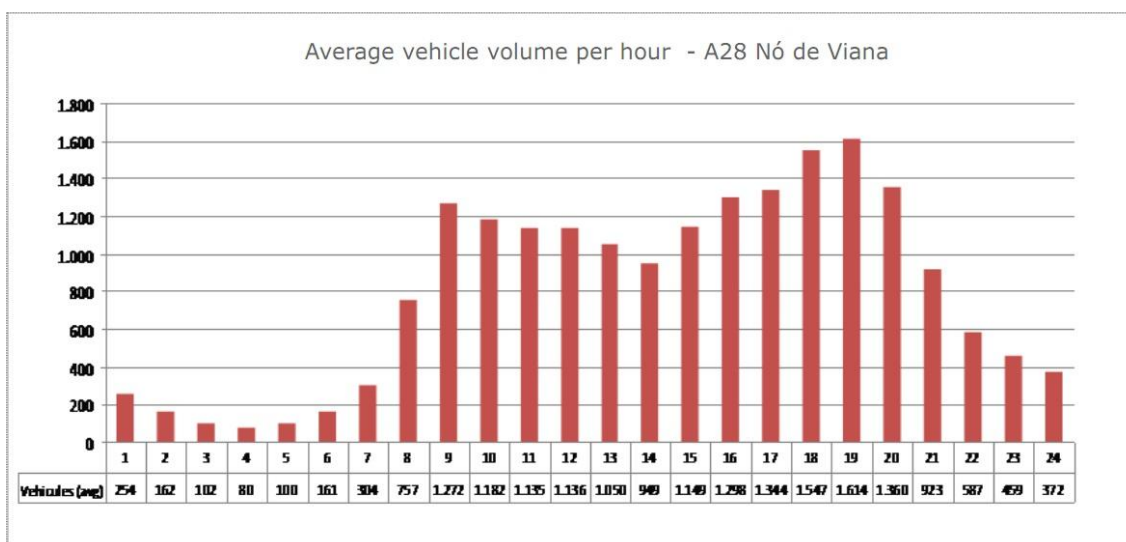


Figura 4.51 - Volume de tráfego automóvel por hora - A28, Nó de Viana [62]

O sistema foi implementado com os seguintes componentes:

- 291 controladores de iluminação instalados na base do poste de cada luminária;
- 291 balastros electrónicos;
- 3 gabinetes de controlo;
- *Software* apropriado para monitorização dos dados.

A figura 4.52 ilustra uma representação esquemática da implementação deste sistema.

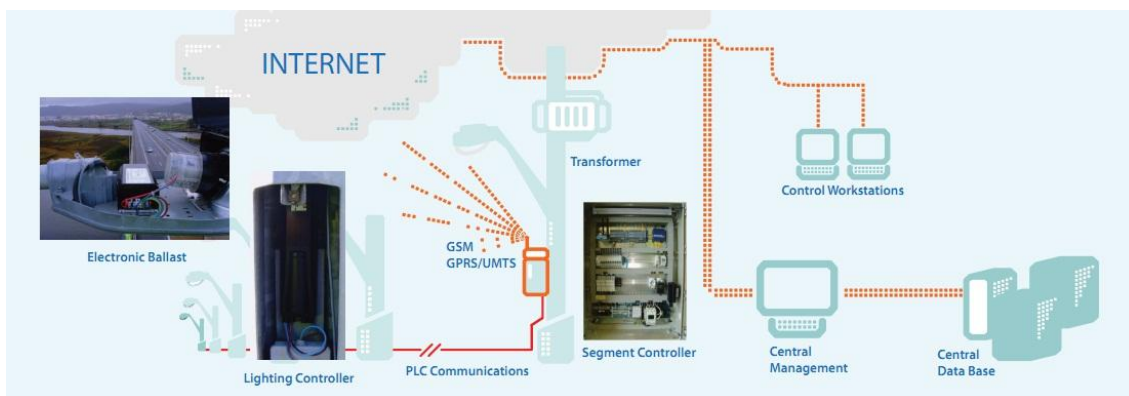


Figura 4.52 - Esquema ilustrativo da implementação do sistema inteligente de gestão de iluminação pública na A28/A27 [62]

Como resultados da implementação deste sistema de gestão inteligente de iluminação pública, a poupança em energia ultrapassa os 45%, evitando, assim, o consumo de 153 MWh em electricidade (correspondente a 20.000 €) e a emissão de 69 TCO₂ por ano. Os custos de manutenção diminuíram radicalmente, sendo necessárias muito menos visitas ao local e menos trocas de lâmpadas. O retorno do investimento está avaliado ocorrer em menos de 4 anos e o projecto é considerado um sucesso por todas as partes envolvidas. A figura 4.53 representa a poupança em energia conseguida após implementação deste projecto.

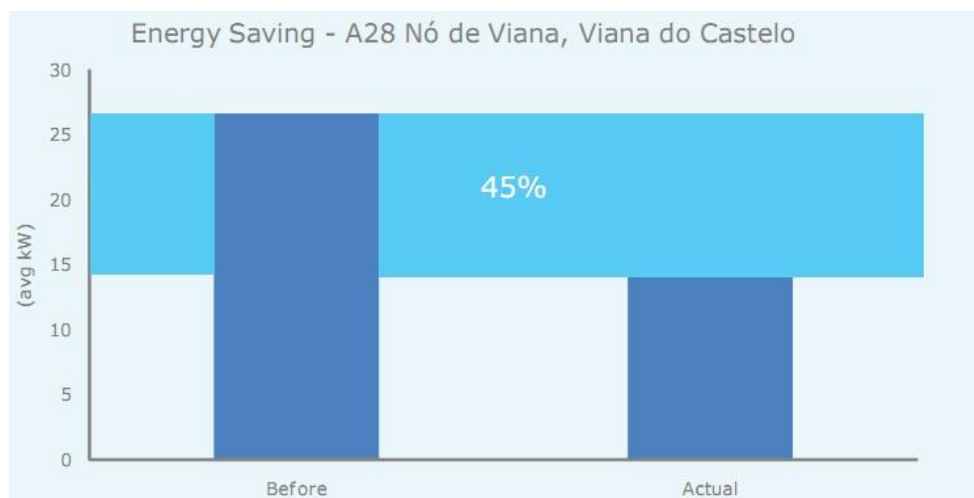


Figura 4.53 - Poupança em energia - Nó A28, Viana do Castelo [62]

Como vantagens genéricas da implementação de um sistema inteligente de gestão de iluminação pública, salienta-se:

- Até 65% de poupança de energia e emissões de CO₂ associadas;
- Possibilidade de *dimming* associada a balastros com função de regulação de fluxo;
- Aumento do tempo de vida das lâmpadas devido ao *dimming*;
- Eliminação das rondas nocturnas devido à identificação automática de todas as falhas de lâmpadas e balastros;
- Custos de instalação reduzidos;
- Redução dos custos de manutenção;

- Diminuição do número de operações no local, devido ao controlo remoto em tempo real;
- Redução do número de reclamações de clientes insatisfeitos;
- Produção automática de relatórios;
- Cálculo da economia de energia e CO₂;
- O *software* permite o controlo das redes de iluminação em qualquer momento e a partir de qualquer local, através de um acesso ao portal *web*;
- Monitorização de energia e parâmetros eléctricos.

Aliado à telegestão, e não integrando este projecto, está a solução que engloba a implementação de sensores de movimento, permitindo uma poupança adicional nos consumos, visto a regulação de fluxo ser feita automaticamente e mediante o fluxo de tráfego que se verifica na via num dado momento. A figura 4.54 ilustra uma representação utilizando esta tecnologia.

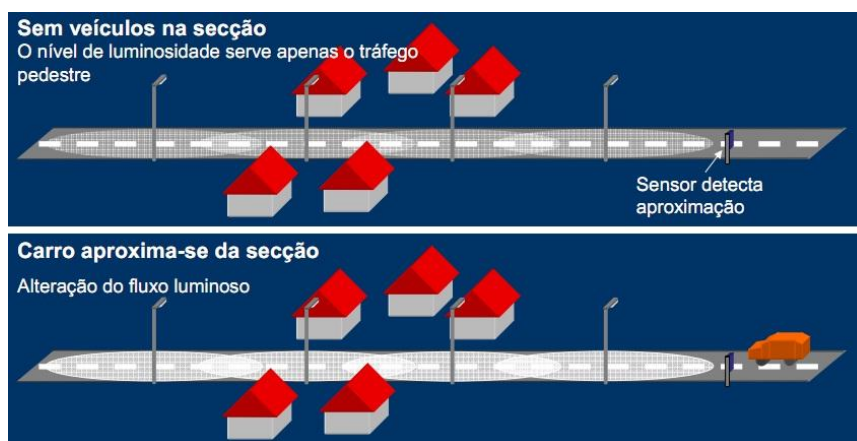


Figura 4.54 - Modo de actuação de sensores de movimento para utilização eficiente da iluminação pública [34]

Quando é detectado movimento, o fluxo fica nos 100%, passando para 40% quando não há detecção, permitindo uma poupança até 50% de energia, com a vantagem de redução da poluição. Uma instalação deste tipo foi já descrita na subsecção 4.6.2, relativamente à gestão de iluminação pública em Oslo. Como desvantagens da utilização de sensores, tem-se, por exemplo, a detecção de movimento na estrada que não seja proveniente de tráfego, como por exemplo um animal que atravessasse a via.

4.9 - Conclusão

Existem vários tipos de lâmpadas e luminárias aplicáveis a instalações de iluminação pública. No que refere às lâmpadas, existem as de descarga (mercúrio de alta pressão, sódio de baixa e alta pressão e iodetos metálicos) e, mais recentemente, é possível aplicar a tecnologia LED a instalações de iluminação pública. As características que cada lâmpada apresenta são, de modo geral:

- Fluxo luminoso;
- Potência;
- Factor de sobrevivência da lâmpada;
- Factor de manutenção da luminosidade da lâmpada;
- Eficácia luminosa;
- IRC.

Nas lâmpadas HPM, apenas 15% da energia absorvida é transformada em radiação visível, sendo que as lâmpadas HPS apresentam um valor de 30%. As vantagens da lâmpada HPS em relação à HPM são um maior período de manutenção e maior fluxo luminoso associado a um baixo consumo, apesar de apresentarem um IRC inferior. As lâmpadas HPS são, portanto, as mais utilizadas em iluminação pública, devido às vantagens que apresentam em relação às lâmpadas HPM, também a nível ambiental, uma vez que as HPM, por conterem mercúrio, são agressivas para o ambiente aquando da sua inutilização.

Recentemente, com o avançar da tecnologia, é possível aplicar a tecnologia LED à iluminação pública, obtendo-se vantagens a praticamente todos os níveis: não é necessário equipamento auxiliar (balastro) e obtém-se uma duração de vida média na ordem das 60000 horas, fortemente contrastante com as 12000 horas das lâmpadas HPS. Ao nível da manutenção, as instalações a LED têm um período de manutenção de 12 anos, que difere bastante dos 3 a 4 anos de uma instalação composta por lâmpadas HPS.

Como outras vantagens, salientam-se:

- Alta resistência a vibrações;
- Ausência de radiação IV e UV no espectro luminoso emitido;
- Um LED apenas se apaga caso ocorra falha caótica.

Contudo, esta tecnologia apresenta algumas desvantagens:

- Inconstância de cor, brilho/fluxo e de vida;
- Quanto mais alta for a temperatura de cor, mais eficiente é, mas também mais fria é a luz;
- Na prática, verifica-se em instalações relativamente recentes, bastantes luminárias com falha caótica;
- A tecnologia LED evolui quase diariamente.

Relativamente às luminárias, o objectivo primordial é otimizar a utilização de um determinado tipo de lâmpada. Os principais componentes que constituem uma luminária são:

- Suporte das lâmpadas;
- Corpo da luminária;
- Órgão de fixação da luminária;
- Sistema óptico (reflectores, refractores e difusores);
- Dispositivos de regulação.

O rendimento global de uma luminária está directamente relacionado com o seu *design*, nomeadamente, com a forma e qualidade do difusor, permitindo aumentar a eficiência energética.

As luminárias podem ser consideradas ineficientes ou eficientes, consoante emitam ou não, respectivamente, fluxo luminoso no hemisfério superior.

A eficiência energética na iluminação pública está a ser cada vez mais considerada como fundamental, para ser possível atingir-se os objectivos impostos a nível europeu. Há muitos aspectos que podem ser melhorados e há resultados importantes que daí podem advir. Existem já instalações que visam melhorar a eficiência energética, associadas a uma redução nos consumos, contribuindo para a obtenção de uma poupança energética significativa em iluminação pública. A questão da manutenção é igualmente importante, visto que, caso não seja correctamente programada, pode contribuir para um subaproveitamento da eficiência da instalação, associado a um consumo de energia constante.

O proveito máximo que é possível obter-se numa instalação de iluminação pública ocorre mediante utilização de equipamento auxiliar eficiente (balastro electrónico), com função de regulação de fluxo luminoso. A regulação de fluxo luminoso permite a redução do fluxo nas horas em que o fluxo de tráfego é substancialmente inferior (essencialmente das 02h00 às 06h00), não sendo necessário, portanto, ter-se a iluminação na potência total. Como vantagens, tem-se, naturalmente, uma redução nos consumos e, conseqüentemente, nos custos associados, e também um aumento do tempo de vida da lâmpada, que se traduz numa diminuição das emissões de CO₂.

O conceito de telegestão associado a uma instalação de iluminação pública possibilita a monitorização em tempo real das características de cada lâmpada, o que possibilita saber quando uma lâmpada está na eminência de falhar, sendo possível substituí-la mesmo antes de a falha ocorrer.

Como complemento à telegestão, a utilização de sensores de movimento permite adequar as necessidades de iluminação em tempo real e tendo em consideração o real fluxo de tráfego num dado momento. Como desvantagens, há a possibilidade de o sensor detectar movimento na estrada que não seja proveniente de tráfego - um animal, por exemplo.

A implementação de instalações com telegestão acarreta um investimento inicial mais elevado, mas o retorno do investimento atinge-se relativamente cedo (cerca de 4 a 5 anos), tendo em consideração as vantagens que proporciona.

Capítulo 5

Estudo de três casos práticos

Neste capítulo, será dada ênfase ao estudo de três casos práticos. O primeiro engloba a análise de dados referentes à cidade do Porto, de 2007 a 2011, nomeadamente, às horas de funcionamento da iluminação pública nos diferentes meses do ano, ao número e tipo de lâmpadas existentes, aos consumos de energia verificados e ao equivalente na factura. No final, será efectuada uma estimativa dos consumos no final do ano de 2011, bem como a análise dos mesmos tendo em consideração as medidas implementadas de poupança energética. O segundo e terceiro casos dizem respeito à análise de uma proposta de substituição de uma solução existente por outra que apresenta melhor desempenho (HPS e LED), permitindo obter uma poupança energética considerável, aliada à obtenção de melhores características luminotécnicas.

5.1 - Cidade do Porto

5.1.1 - Horas de funcionamento da iluminação pública e consumos mensais em 2010

Os dados relativos às horas de funcionamento mensal da iluminação pública em 2010, segundo a EDP Distribuição, estão apresentados no gráfico 5.1, sendo HN o funcionamento em horário normal e HR o funcionamento em horário reduzido (desliga às 01h00).

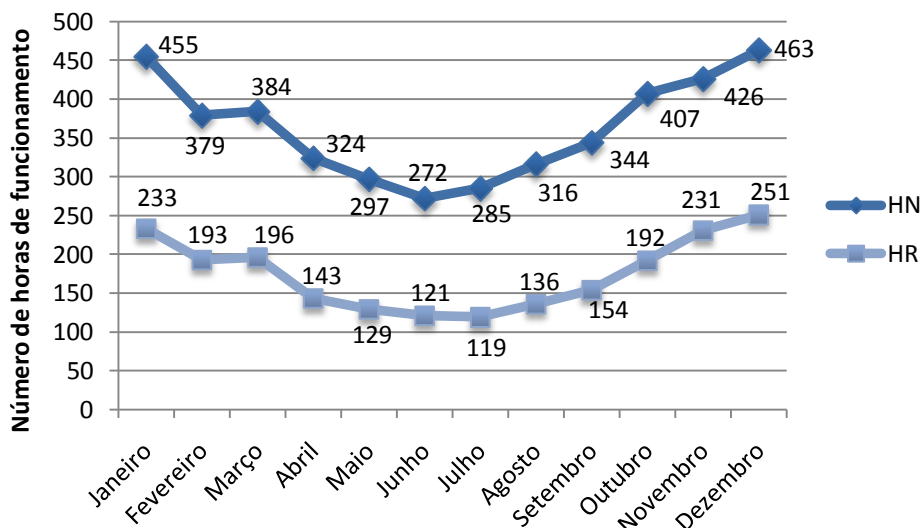


Gráfico 5.1 - Número de horas de funcionamento mensal da iluminação pública em 2010, na cidade do Porto

Pela análise do gráfico 5.1, é possível constatar que o consumo mais elevado regista-se, naturalmente, nos meses em que há menos sol. O diferencial máximo verificado é de 191 horas para o HN, entre o mês de Dezembro e Junho e de 132 horas para o HR, nos mesmos meses.

O valor médio mensal de horas de funcionamento é de 363 horas para o HN e 175 para o HR.

O gráfico 5.2 apresenta os consumos mensais totais registados na cidade do Porto em 2010.

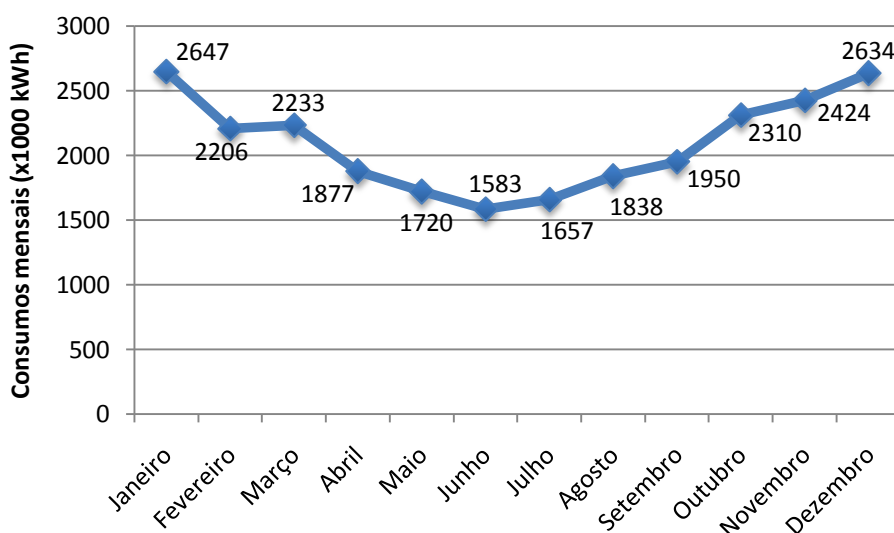


Gráfico 5.2 - Consumos mensais totais em iluminação pública em 2010, referentes à cidade do Porto

5.1.2 - Número de lâmpadas em serviço, de 2007 a 2011

A tabela 5.1 apresenta uma síntese do tipo de lâmpadas utilizadas na iluminação pública, em 2010. Nesta tabela, En representa a eficiência energética, i.e., luminárias com lâmpadas eficientes e balastros electrónicos.

Tabela 5.1 - Tipo de lâmpadas utilizadas em iluminação pública, na cidade do Porto, de 2007 a 2010 e consumos associados

Ano	Número de lâmpadas em serviço				Focos em serviço	Potência instalada	Potência média por lâmpada	Consumo de energia
	HPM	HPS	En	Total	N	[kW]	[W]	[GWh]
2007	1826	28544	588	30958	29910	5543	179,05	25,91
2008	1600	29060	1041	31701	30653	5606	176,84	26,51
2009	1534	29338	1387	32259	31212	5657	175,36	26,84
2010	1458	28716	1725	31899	30982	5529	173,33	26,74
2011 ⁹	343	29789	1759	31891	30974	5513	172,87	7,81

O gráfico 5.3 ilustra o número de lâmpadas utilizadas em iluminação pública, na cidade do Porto, de 2007 a 2011.

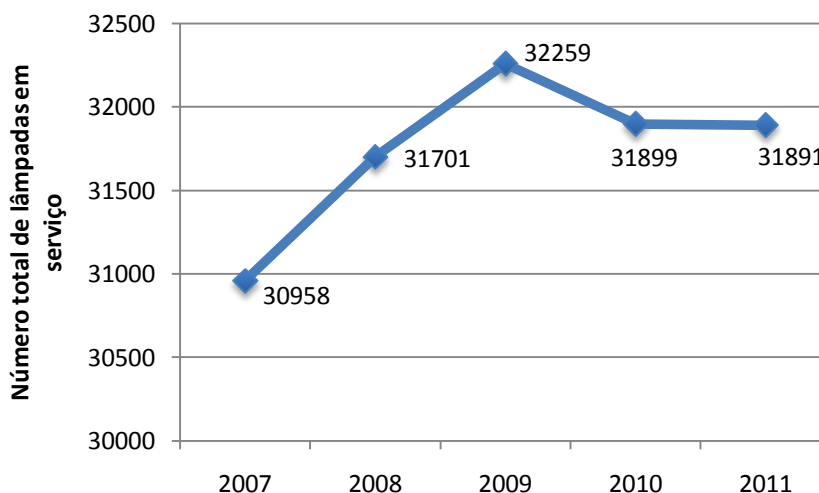


Gráfico 5.3 - Número de lâmpadas utilizadas em iluminação pública de 2007 a 2011, na cidade do Porto

A informação constante no gráfico 5.3 permite concluir que, até 2009, houve um aumento do número de lâmpadas utilizadas em iluminação pública, sendo que, em 2010 e 2011, o mesmo tem vindo a diminuir.

O gráfico 5.4 representa os dados constantes na tabela 5.1, relativamente ao número de lâmpadas em serviço, agrupados por tipo de lâmpada.

⁹ Dados a 28-02-2011.

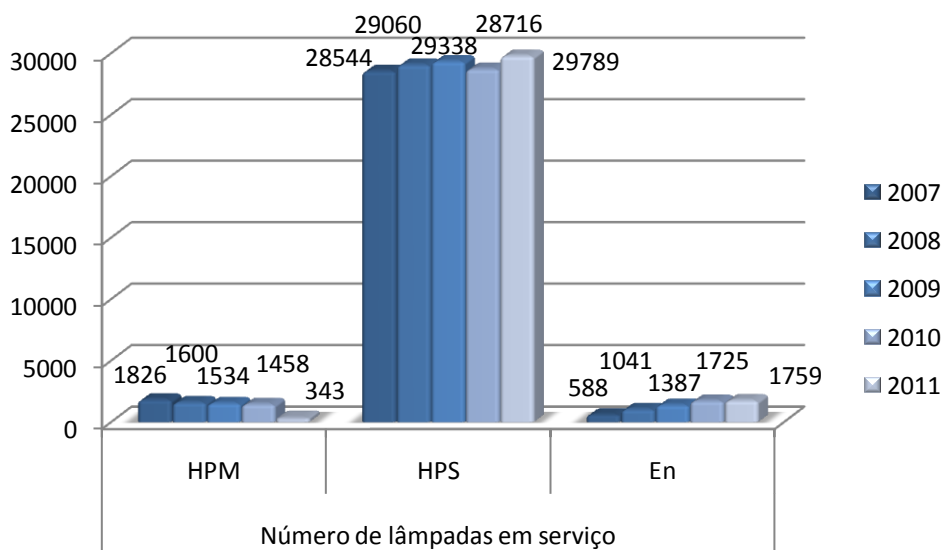


Gráfico 5.4 - Número de lâmpadas em serviço na iluminação pública de 2007 a 2011, na cidade do Porto

O gráfico 5.5 ilustra a evolução da utilização de lâmpadas HPM na iluminação pública, de 2007 a 2011.

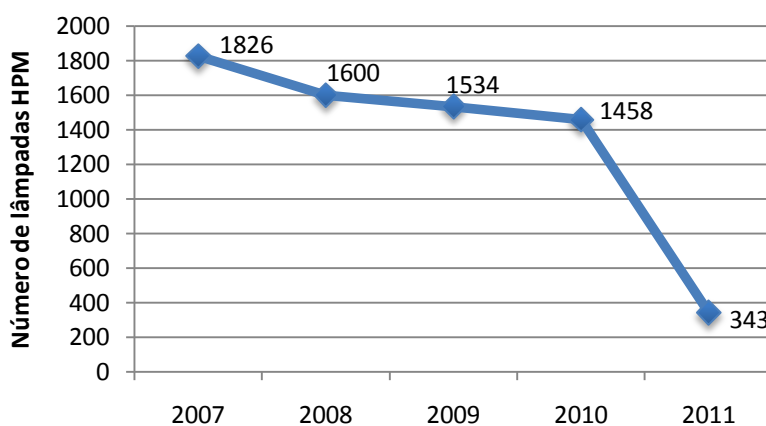


Gráfico 5.5 - Número de lâmpadas HPM utilizadas em iluminação pública de 2007 a 2011, na cidade do Porto

A análise do gráfico 5.5 permite constatar um decréscimo na utilização de lâmpadas contendo mercúrio.

O gráfico 5.6 apresenta o número de lâmpadas HPS utilizadas na iluminação pública, de 2007 a 2011, na cidade do Porto.

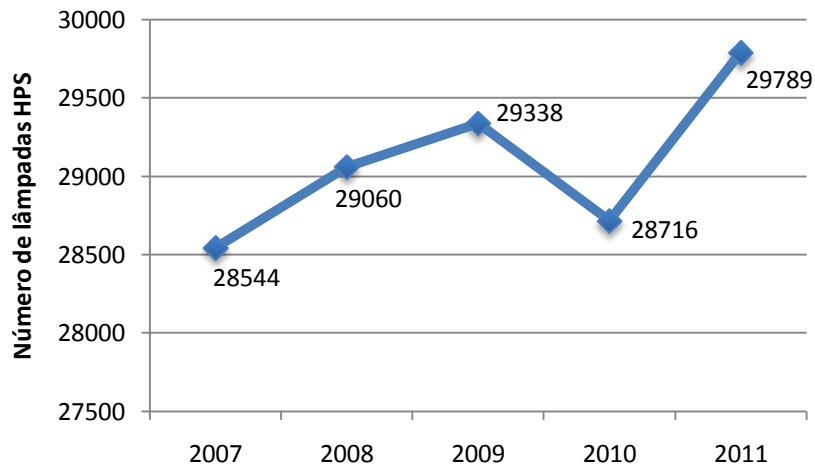


Gráfico 5.6 - Número de lâmpadas HPS utilizadas em iluminação pública de 2007 a 2011, na cidade do Porto

O gráfico 5.7 ilustra o número de lâmpadas energeticamente eficientes utilizadas em iluminação pública, de 2007 a 2011.

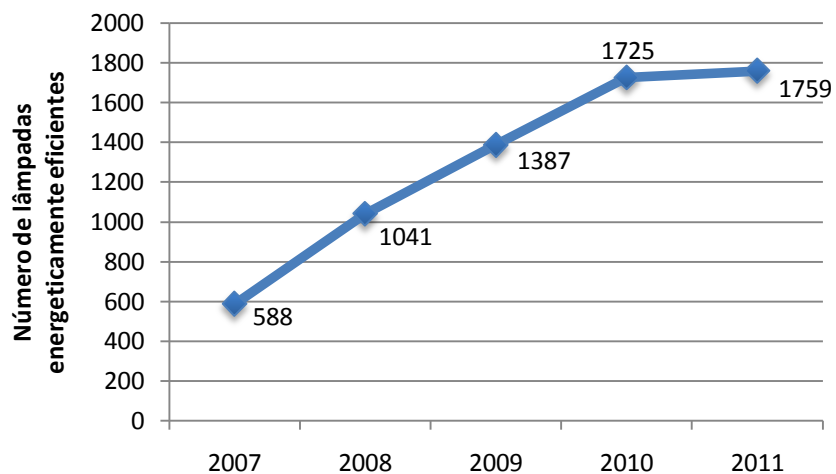


Gráfico 5.7 - Número de lâmpadas energeticamente eficientes utilizadas em iluminação pública de 2007 a 2011, na cidade do Porto

Pela análise do gráfico 5.7, verifica-se um aumento gradual da utilização de lâmpadas energeticamente eficientes na iluminação pública da cidade do Porto.

5.1.3 - Consumos em iluminação pública, de 2007 a 2010

O gráfico 5.8 representa os consumos de energia verificados de 2007 a 2010. O ano de 2011 não foi incluído, visto os dados disponíveis serem referentes ao consumo registado apenas até Fevereiro.

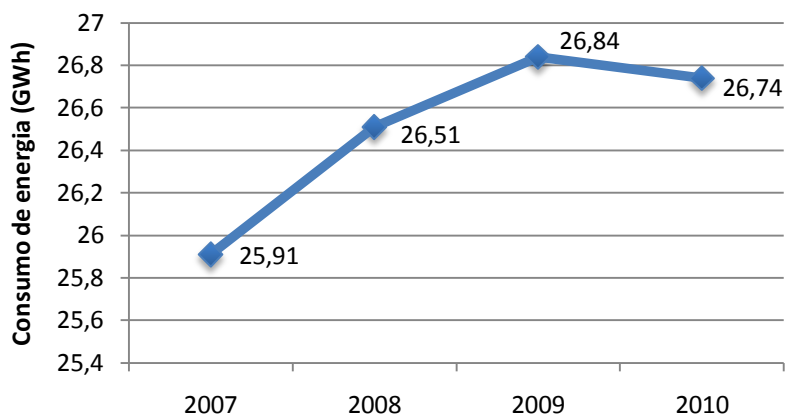


Gráfico 5.8 - Consumo de energia na iluminação pública referente ao período de 2007 a 2010, na cidade do Porto

O gráfico 5.8 permite constatar que o consumo sofreu um aumento gradual de 2007 até 2009, verificando-se o oposto de 2009 para 2010.

O gráfico 5.9 apresenta os consumos em iluminação pública referentes ao gráfico 5.8, traduzidos em custos, tendo por base o valor da tarifa de iluminação pública constante no gráfico 2.4.

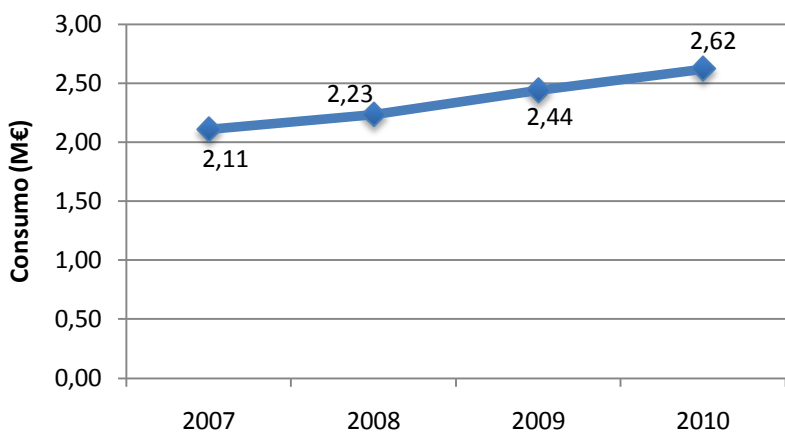


Gráfico 5.9 - Consumo em iluminação pública na cidade do Porto, de 2007 a 2010

O gráfico 5.10 representa o aumento do consumo registado de 2007 a 2010, em anos consecutivos.

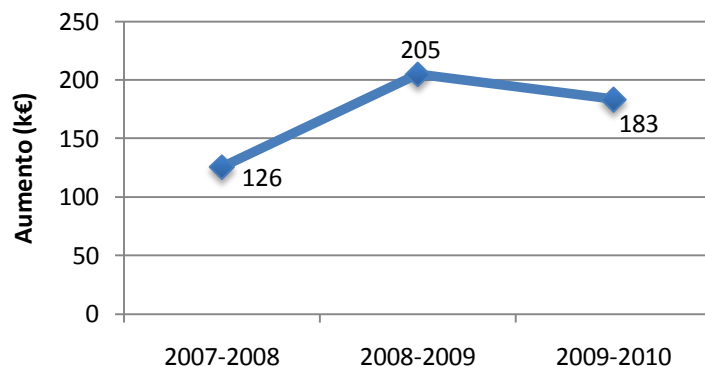


Gráfico 5.10 - Aumento do consumo na cidade do Porto, de 2007 a 2010, em anos consecutivos

O gráfico 5.11 representa a potência média por lâmpada.

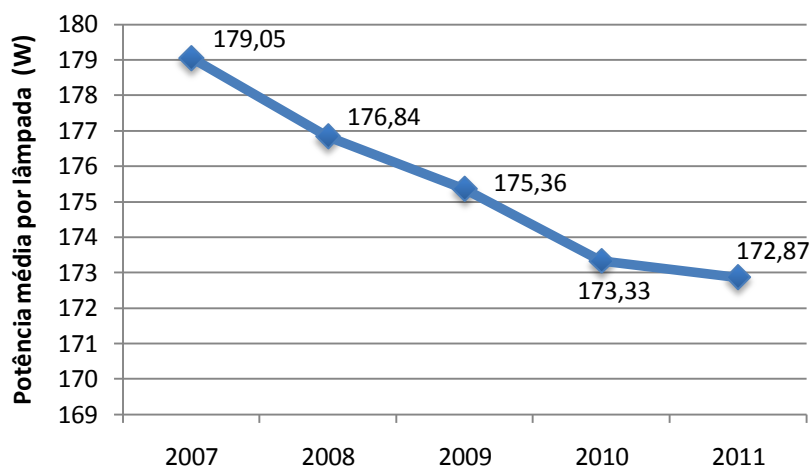


Gráfico 5.11 - Potência média por lâmpada, de 2007 a 2011, na cidade do Porto

Pela análise do gráfico 5.11, conclui-se que a potência média por lâmpada tem vindo a sofrer um decréscimo gradual desde 2007.

O gráfico 5.12 ilustra a evolução da potência instalada na cidade do Porto.

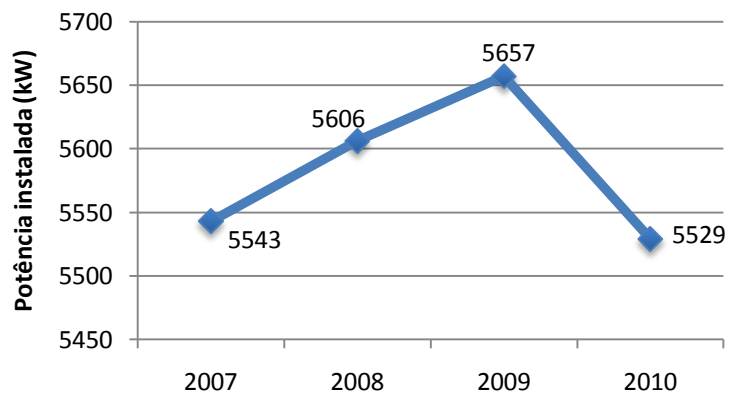


Gráfico 5.12 - Evolução da potência instalada na cidade do Porto, de 2007 a 2010

Pela análise dos gráficos 5.3 a 5.12, constata-se que, de 2007 a 2011, houve um decréscimo considerável da utilização de lâmpadas HPM, resultantes da substituição faseada destas por lâmpadas HPS, em simultâneo com um aumento da utilização de lâmpadas energeticamente eficientes. A tendência é, efectivamente, tirar de serviço todas as lâmpadas HPM e substituí-las por lâmpadas HPS ou, então, por tecnologia LED.

Comparando os dados referentes a 2009 com os de 2010, é possível constatar uma diminuição do consumo na ordem dos 0,10 GWh, ou seja, 100.000 kWh (gráfico 5.8). Em complemento a esta diminuição, regista-se um decréscimo na utilização de lâmpadas HPM e HPS e um aumento da utilização de lâmpadas energeticamente eficientes (gráfico 5.4). Em relação ao número de lâmpadas utilizadas, verificou-se uma diminuição, de 2009 para 2010.

Apesar de, de 2009 para 2010, se ter verificado uma diminuição no consumo de energia (gráfico 5.8), houve um aumento na factura energética (gráfico 5.9), justificado pelo aumento de tarifa aplicável à iluminação pública (gráfico 2.4).

Por outro lado, apesar de a factura energética ter aumentado consecutivamente de 2007 a 2010, o aumento verificado de 2009 para 2010 foi inferior ao verificado de 2008 para 2009 (gráfico 5.10).

Pela análise do gráfico 5.12, é possível constatar que ocorreu um decréscimo na potência instalada de 2009 para 2010, a par com uma diminuição do número de lâmpadas HPM e HPS em serviço, e um aumento de cerca de 25% do número de lâmpadas energeticamente eficientes. Esta medida permitiu, portanto, obter uma diminuição da potência instalada bem como uma redução de 100.000 kWh em termos de consumo de energia. Pela análise do gráfico 5.11, constata-se que a potência média por lâmpada sofreu um decréscimo de cerca de 2 W.

5.1.4 - Estimativa para 2011

Relativamente aos dados de 2011, os valores da tabela 5.1 são referentes apenas até ao mês de Fevereiro, pelo que se fará uma estimativa dos valores até ao final do ano.

Pela análise da tabela 5.1, é possível verificar que o número de lâmpadas HPM em serviço passou de 1458, em 2010, para apenas 343. De igual modo, este decréscimo reflectiu a substituição de lâmpadas HPM por lâmpadas HPS, que se traduziu num aumento de 1073 unidades de HPS, no período homólogo.

Tomando, agora, em consideração o gráfico 5.1, onde o total de horas de funcionamento em HN é 4352, e sabendo, mediante a tabela 5.1, que a potência instalada é de 5513 kW, é possível calcular o consumo associado, multiplicando estas duas variáveis. O consumo de energia previsto para 2011 é de aproximadamente 24 GWh, representando um decréscimo de cerca de 2,75 GWh em relação a 2010, que, por sua vez, resulta numa diminuição de 160.000 € na factura energética anual. As tabelas 5.2 e 5.3 ilustram o resumo dos cálculos efectuados e os gráficos 5.13 e 5.14 representam os resultados obtidos.

Tabela 5.2 - Estimativa do consumo em iluminação pública para 2011 na cidade do Porto

Potência instalada em 2011	5513 kW
Horas de funcionamento (HN)	4352
Consumo previsto para 2011	≈ 24 GWh

Tabela 5.3 - Estimativa da factura energética em iluminação pública para 2011 na cidade do Porto

Tarifa aplicada à iluminação pública (ERSE - 2011)	0,1027 €/kWh
Consumo previsto para 2011	24.000.000 kWh
Factura (€)	2.464.000
Factura (M€)	≈ 2,46

Deste modo, podem actualizar-se os gráficos 5.8 e 5.9, com a estimativa de consumos para 2011 obtidos nas tabelas 5.2 e 5.3. O gráfico 5.13 representa uma actualização do gráfico 5.8 e o gráfico 5.14 representa uma actualização do gráfico 5.9.

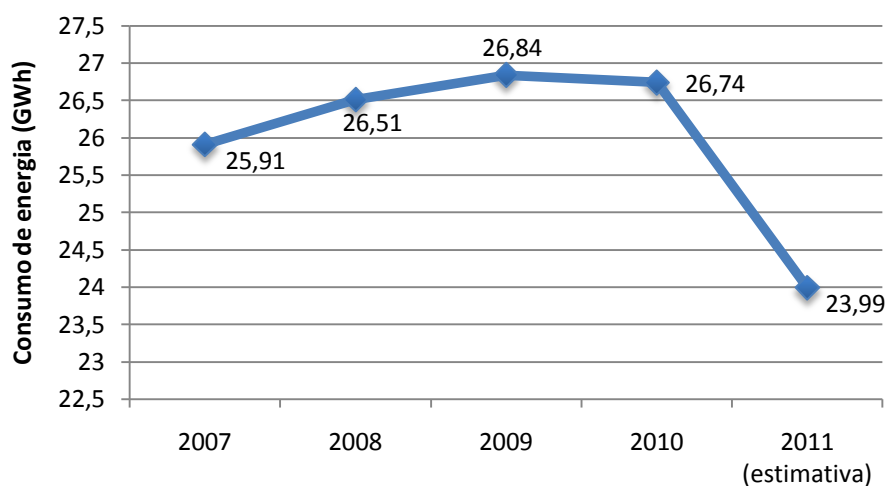


Gráfico 5.13 - Consumo de energia em iluminação pública na cidade do Porto, de 2007 a 2011 (estimativa)

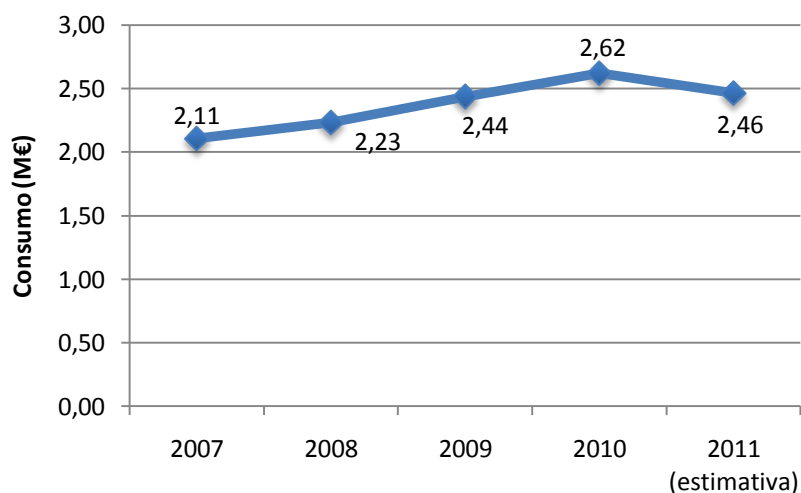


Gráfico 5.14 - Consumo em iluminação pública na cidade do Porto, de 2007 a 2011 (estimativa)

O gráfico 5.15 representa uma actualização do gráfico 5.10.

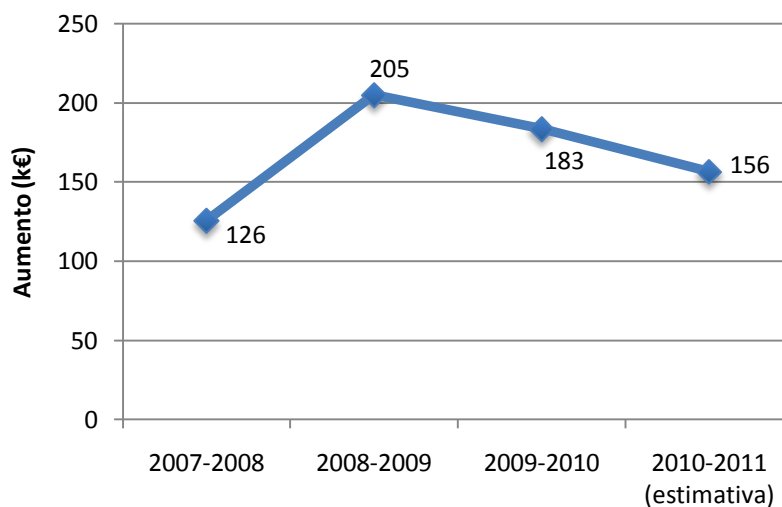


Gráfico 5.15 - Aumento do consumo na cidade do Porto, em anos consecutivos, de 2007 a 2011 (estimativa)

Pela análise dos gráficos 5.13, 5.14 e 5.15, conclui-se, mediante a estimativa efectuada, que a implementação de lâmpadas energeticamente eficientes permite uma poupança energética e de factura energética significativas. O gráfico 5.13 ilustra que, de 2010 para 2011, o consumo de energia sofre um decréscimo de cerca de 2,75 GWh, ou seja, 2.750.000 kWh, que se traduz num decréscimo de cerca de 160.000 €. O aumento da factura energética, em anos consecutivos, sofre igualmente um decréscimo de cerca de 27.000 €.

5.2 - Substituição de uma solução HPS existente por tecnologia HPS e luminária eficiente

Nesta secção e na seguinte, será efectuada uma análise da poupança obtida mediante substituição de uma solução existente por outra que apresente melhores características, nomeadamente, a necessidade de menor potência para obtenção das mesmas especificações luminotécnicas, menor consumo, menor custo e menos emissões de CO₂.

Para a elaboração deste estudo, serão considerados alguns parâmetros fixos, constantes na tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Parâmetros fixos a considerar no estudo

Tarifa de iluminação pública - 2011 (ERSE)	0,1027 €/kWh
Perdas na rede	12%
Perdas ferromagnéticas (balastros existentes)	20%
Horas anuais de funcionamento (HN)	4.380
Horas anuais de funcionamento (HR)	2.190

5.2.1 - Análise da solução existente

O caso em estudo diz respeito a várias ruas do concelho de Amarante, onde estão instaladas 139 luminárias idênticas à ilustrada na figura 5.1.



Figura 5.1 - Luminária actualmente existente

As características da solução actualmente implementada estão apresentadas na tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Características da solução existente

Solução	Quantidade	Lâmpada (W)	Potência (W)	Energia (kWh)	Custo (€)	TCO ₂
existente	78	150	180	68.875	7.073,46	32,37
	61	100	120	35.909	3.687,85	16,88
Total	139	-	-	104.784	10.761,31	49,25

A determinação da potência obedece à equação 5.1:

$$\text{Potência (W)} = \text{Potência lâmpada (W)} \times (1 + \text{perdas ferromagnéticas}), \quad (5.1)$$

obtendo-se

$$\text{Potência (W)} = 150 \times (1 + 0,20) = 180 \text{ W};$$

$$\text{Potência (W)} = 100 \times (1 + 0,20) = 120 \text{ W}.$$

A Energia (kWh) é calculada mediante aplicação da equação 5.2.

$$\text{Energia (kWh)} = \text{Potência (W)} \times (1 + \text{perdas rede}) \times \frac{\text{HN}}{1000} \times \text{Quantidade}, \quad (5.2)$$

obtendo-se

$$\text{Energia} = 180 \times (1 + 0,12) \times \frac{4380}{1000} \times 78 = 68.875 \text{ kWh};$$

$$\text{Energia} = 120 \times (1 + 0,12) \times \frac{4380}{1000} \times 61 = 35.909 \text{ kWh}.$$

O custo associado obtém-se pela aplicação da equação 5.3.

$$\text{Custo (€)} = \text{Tarifa (€/kWh)} \times \text{Energia (kWh)}, \quad (5.3)$$

obtendo-se

$$\text{Custo} = 0,1027 \times 68.875 = 7.073,46 \text{ €};$$

$$\text{Custo} = 0,1027 \times 35.909 = 3.687,85 \text{ €}.$$

O valor de TCO₂ obtém-se mediante aplicação da equação 5.4.

$$\text{TCO}_2 = \text{Energia (kWh)} \times \text{Energia combinada (kg CO}_2\text{/kWh)} \times 0,001, \quad (5.4)$$

onde o valor da energia combinada é de 0,47 kg CO₂/kWh.

Obtém-se, assim, os valores:

$$\text{TCO}_2 = 68.875 \times 0,47 \times 0,001 = 32,37;$$

$$\text{TCO}_2 = 35.909 \times 0,47 \times 0,001 = 16,88.$$

5.2.2 - Análise da solução proposta

A solução proposta, composta por lâmpadas HPS, engloba componentes cujas características permitem obter melhor desempenho luminotécnico, ao mesmo tempo que permite obter poupanças significativas.

A figura 5.2 ilustra a luminária da solução proposta.



Figura 5.2 - Luminária da solução proposta [65]

A tabela 5.6 ilustra as características desta solução.

Tabela 5.6 - Características da solução proposta

Solução	Quantidade	Preço (€)	Potência (W)	Energia (kWh)	Custo (€)	TCO ₂	Subtotal (€)
proposta	106	205	100	38.999,52	4.005,30	18,33	21.730
	33	205	70	8.498,95	872,80	3,99	6.765
Total	139	-	-	47.498,47	4.878,10	22,32	28.495

Nesta solução, visto ser possível aplicar regulação de fluxo luminoso, a fórmula de cálculo da Energia é a apresentada na equação 5.5.

$$\text{Energia (kWh)} = \frac{[(\text{Potência (W)} \times \text{HR}) + (\text{Potência (W)} \times 0,5 \times \text{HR})]}{1000} \times \text{Quantidade} \times (1 + \text{Perdas rede}), \quad (5.5)$$

obtendo-se

$$\text{Energia} = \frac{[(100 \times 2190) + (100 \times 0,5 \times 2190)]}{1000} \times 106 \times (1 + 0,12) = 38.999,52 \text{ kWh};$$

$$\text{Energia} = \frac{[(70 \times 2190) + (70 \times 0,5 \times 2190)]}{1000} \times 33 \times (1 + 0,12) = 8.498,95 \text{ kWh}.$$

O subtotal é obtido mediante multiplicação do preço de cada luminária pela quantidade pretendida.

5.2.3 - Comparação da solução proposta com a solução existente

A tabela 5.7 apresenta a comparação das características da solução proposta com as da solução existente.

Tabela 5.7 - Comparação das características de ambas as soluções

	Quantidade	Preço por lâmpada (€)	Lâmpada (W)	Potência (W)	Energia (kWh)	Custo (€)	TCO ₂
Solução existente	78	-	150	180	68.875	7.073,46	32,37
	61	-	100	120	35.909	3.687,85	16,88
Total	139	-	-	-	104.784	10.761,31	49,25
Solução proposta	106	205	-	100	38.999,52	4.005,30	18,33
	33	205	-	70	8.498,95	872,80	3,99
Total	139	-	-	-	47.498,47	4.878,10	22,32

A tabela 5.8 apresenta um balanço em termos de poupança.

Tabela 5.8 - Balanço da poupança obtida

Subtotal (€)	Poupança (€/ano)	Poupança TCO ₂
28.495	5.883,21	26,93

A poupança reflecte a diferença entre o custo da solução existente com o custo da solução proposta e a poupança TCO₂ é calculada mediante a diferença de TCO₂ da solução existente com a solução proposta.

Pela análise da tabela 5.8, constata-se que, mediante um investimento de aproximadamente 28.500 €, é possível obter-se uma poupança de aproximadamente 5.900 €/ano, aliado à poupança de quase 27 toneladas de CO₂.

O retorno do investimento calcula-se mediante aplicação da equação 5.6.

$$\text{Retorno do investimento} = \frac{\text{Investimento global}}{\text{Poupança anual expectável}}, \quad (5.6)$$

obtendo-se

$$\text{Retorno do investimento} = \frac{28.495}{5.883,21} \approx 5 \text{ anos}$$

5.3 - Substituição de uma solução existente por tecnologia LED

À semelhança da secção anterior, esta secção contempla um estudo que visa a substituição de uma solução existente, igualmente na cidade de Amarante, por tecnologia LED, no sentido de estudar-se as vantagens e poupanças associadas.

Os parâmetros fixos a tomar em conta neste estudo são os mesmos considerados na secção anterior, e podem ser consultados na tabela 5.4.

5.3.1 - Análise da solução existente

Neste caso, o objectivo é proceder-se à substituição de 131 luminárias idênticas à ilustrada na figura 5.3.



Figura 5.3 - Luminária actualmente existente

As características desta solução estão apresentadas na tabela 5.9.

Tabela 5.9 - Características da solução existente

Solução existente	Quantidade	Lâmpada (W)	Potência (W)	Energia (kWh)	Custo (€)	TCO ₂
	131	80	96	61.693	6.335,90	29

5.3.2 - Análise da solução proposta

A solução proposta engloba tecnologia LED, cuja luminária está ilustrada na figura 5.4.



Figura 5.4 - Luminária da solução proposta [66]

A tabela 5.10 representa as características obtidas com esta solução.

Tabela 5.10 - Características da solução proposta

Solução proposta	Quantidade	Preço por lâmpada (€)	Potência (W)	Energia (kWh)	Custo (€)	TCO ₂	Subtotal (€)
	131	245	19,289	9.296,77	954,8	4,37	32.095

A potência por luminária, por se tratar de tecnologia LED, é calculada de modo diferente, sendo obtida mediante aplicação da equação 5.7.

$$\text{Potência (W)} = \frac{\text{Número de LED} \times \text{Tensão (V)} \times \text{Corrente consumida (A)}}{\text{Rendimento da luminária}}, \quad (5.7)$$

obtendo-se

$$\text{Potência} = \frac{16 \times 3,1 \times 0,35}{0,9} = 19,289 \text{ W.}$$

Os dados referentes a cada LED, nomeadamente, tensão, corrente consumida e rendimento da luminária são facultados pelo próprio fabricante e podem, portanto, variar. Neste caso, os dados dizem respeito à empresa Schréder.

5.3.3 - Comparação da solução proposta com a solução existente

Na tabela 5.11 apresenta-se a comparação das características de ambas as propostas.

Tabela 5.11 - Comparação das características de ambas as soluções

	Quantidade	Preço por lâmpada (€)	Lâmpada (W)	Potência (W)	Energia (kWh)	Custo (€)	TCO ₂
Solução existente	131	-	80	96	61.693	6.335,90	29
Solução proposta	131	245	-	19,29	9.296,77	954,8	4,37

A tabela 5.12 apresenta um balanço em termos de poupança.

Tabela 5.12 - Balanço da poupança obtida

Subtotal (€)	Poupança (€/ano)	Poupança TCO ₂
32.095	5.381,10	24,63

Pela análise da tabela 5.12, é possível concluir que, mediante um investimento de aproximadamente 32.100 €, obtém-se uma poupança anual de quase 5.400 €, juntamente com uma poupança de quase 25 toneladas de CO₂.

O retorno do investimento é de, aproximadamente, 6 anos.

Relativamente aos custos relacionados com manutenção, os mesmos não foram considerados, nesta secção e na anterior, tendo em conta que o tempo de vida expectável para as luminárias LED é claramente superior a 15 anos (4.380 h x 15 anos = 65.700 h), pelo que não se prevê qualquer necessidade de manutenção nesse período. Em relação aos balastros electrónicos, o tempo de vida médio expectável é superior às 65.700 horas, pelo que também não se prevê a necessidade de manutenção. Relativamente às lâmpadas de descarga, a manutenção é assegurada pela EDP, sendo que não haverá quaisquer custos a considerar.

5.4 - Conclusão

A utilização de lâmpadas energeticamente eficientes permite obter um melhor rendimento, aliado à obtenção de melhores características de iluminação. A substituição de lâmpadas HPM por lâmpadas HPS permite uma redução nos consumos na ordem dos 50%, sendo que, quando se substitui as HPM directamente por lâmpadas energeticamente eficientes (por exemplo, LED), o consumo verificado pode diminuir em cerca de 80%.

Na cidade do Porto, tem vindo a verificar-se um aumento gradual da utilização de lâmpadas energeticamente eficientes, aliado à diminuição do número total de lâmpadas em serviço. As lâmpadas HPM estão a ser alvo de retirada gradual de serviço, devido, tal como já mencionado anteriormente, à agressão que provocam ao ambiente, aquando da sua inutilização e também devido às características de iluminação menos eficientes do que, por exemplo, as lâmpadas HPS.

Relativamente ao consumo de energia, verifica-se um aumento gradual de 2007 a 2009, e uma diminuição de 2009 para 2010. Contudo, a factura energética sofreu um aumento gradual, devido ao aumento anual da tarifa para a iluminação pública, imposta pela ERSE.

De acordo com as medidas descritas no que refere à substituição de lâmpadas, o município obteve uma diminuição do aumento da factura energética de 2009 para 2010, contrariando a tendência verificada desde 2007 (gráfico 5.10).

No que refere às estimativas para 2011, verifica-se a diminuição do consumo de energia em cerca de 2,75 GWh, que representa uma diminuição de cerca de 160.000 € na factura energética. Verifica-se, igualmente, um decréscimo do consumo, em anos consecutivos, de cerca de 27.000 €. Estes resultados são um espelho das medidas implementadas, nomeadamente o aumento de lâmpadas HPS e energeticamente eficientes e a diminuição do

número de lâmpadas HPM. Caso estas medidas continuem a ser implementadas, verificar-se-á uma diminuição gradual da factura energética, associada a um aumento de eficiência energética e, provavelmente, a uma diminuição do número de lâmpadas em serviço, dada a comprovada eficácia das lâmpadas energeticamente eficientes.

No estudo que engloba a substituição de uma solução existente por outra com melhores características e desempenho, verificou-se que as poupanças são significativas (mais de 5.000 €/ano mediante substituição de pouco mais de 135 luminárias), aliadas à poupança de aproximadamente 25 toneladas de CO₂ por ano. O investimento inicial da solução LED revela-se, contudo, mais elevado, dado que o preço de cada luminária é um pouco superior ao das HPS, verificando-se uma diferença de cerca de 40 €/lâmpada. Por outro lado, o retorno do investimento constitui uma mais-valia para ambas as soluções, sendo de 6 anos para a solução LED e 5 anos para a solução HPS.

A constante evolução que tem vindo a verificar-se, não apenas ao nível das lâmpadas, mas também ao nível das luminárias, permitirá, num futuro próximo, alcançar-se níveis de eficiência energética satisfatórios, dada a sucessiva evolução do sistema óptico da luminária. Estas medidas vão responder à problemática actual, dado que mais de 50% da energia consumida em iluminação pública não resulta em luz útil, devido, maioritariamente, à ineficiência de algumas lâmpadas utilizadas e às características das luminárias, que permitem que parte da iluminação seja projectada para o hemisfério superior, provocando um desperdício energético e conseqüente ineficiência das instalações.

Muitos municípios estão a adoptar o sistema de apagar alguns candeeiros, para obterem uma redução no consumo energético, dado que mais de 70% das facturas municipais dizem respeito à iluminação pública, mas esta solução não é, de todo, viável, dado que viola os parâmetros luminotécnicos calculados e coloca em causa a segurança da via pública. A solução passa por optar pela implementação de uma instalação eficiente, que permitirá uma redução nos consumos e um aumento da eficiência energética, sendo o retorno do investimento obtido em aproximadamente 5 anos.

Capítulo 6

Conclusões

O primeiro candeeiro destinado à iluminação pública, alimentado a gás, foi instalado em 1878, em Lisboa, oferecido pelo Rei D. Luiz I à Câmara Municipal, e o último foi apagado em 1965, dando lugar à iluminação pública alimentada a electricidade.

Com o avançar e evoluir do tempo, foram impostas metas aos Estados-Membros que compõem a UE, cujo intuito é contribuir, entre outros aspectos, para a obtenção de instalações de iluminação pública energeticamente sustentáveis, associada a uma redução nos consumos energéticos e na factura energética. A criação da ENE 2020 visa, entre outros aspectos, reduzir a dependência energética do país face ao exterior para 74% em 2020, tornar possível que, em 2020, 60% da electricidade produzida tenha origem em fontes renováveis e o consumo de energia final seja reduzido em 20%. No que respeita à iluminação pública, as medidas a adoptar devem englobar a utilização de equipamentos e soluções mais eficientes que proporcionem a obtenção de uma melhoria da eficiência energética das instalações, tais como a instalação de reguladores de fluxo luminoso, a substituição de luminárias ineficientes (ou com mais de 10 anos de utilização), substituição de lâmpadas HPM por fontes de luz mais eficientes, instalação de tecnologias de controlo, gestão e monitorização e implementação de tecnologia LED nas instalações semaforicas.

O PNAEE prevê a retirada total de serviço de lâmpadas HPM até 2015, a substituição de globos por equipamento com melhor capacidade de reflexão e necessidade de lâmpadas de menor potência, bem como a instalação de reguladores de fluxo, substituição de luminária e instalação de balastro electrónico em instalações com mais de 10 anos.

A iluminação pública representa o quinto de sete sectores onde se verifica o maior consumo energético em Portugal, depois do sector da indústria, doméstico, não doméstico e edifícios do estado, respectivamente. A evolução dos consumos em iluminação pública tem sido gradual, tendo perfeito um total de 1.673 GWh em 2009, correspondendo a um total de aproximadamente 152 milhões de Euros respeitante à factura energética.

A questão da situação da dependência energética de Portugal respeitante ao carvão e derivados é igualmente preocupante, dado que Portugal apresenta valores acima da média europeia e relativamente perto de 100%. No caso do petróleo, os valores situam-se igualmente acima da média europeia e também relativamente perto dos 100%, embora com

um diferencial inferior. No que respeita à importação de electricidade, os valores têm sofrido um aumento gradual, tendo-se situado nos 9.431 GWh em 2008. A taxa de dependência energética em 2005 situava-se nos 99,4%, valor que suscita preocupações e medidas a serem implementadas.

Uma instalação de iluminação pública está sujeita ao cumprimento de determinadas normas, nomeadamente a EN 13201, que determina a classificação da classe de iluminação da via mediante a caracterização dos seus parâmetros.

O Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública estabelece algumas medidas que, a serem implementadas, proporcionam um aumento de eficiência energética nas instalações de iluminação pública, aliadas à obtenção de uma diminuição do valor do consumo energético bem como da factura energética. O documento foi editado em Janeiro de 2011, no seguimento de uma proposta realizada pela RNAE em parceria com o CPI e a Ordem dos Engenheiros à SEEI/MEID.

Para ser possível obter valores importantes de eficiência energética é necessário conjugar correctamente a utilização de um determinado tipo de lâmpada com uma luminária, sendo que esta última deverá potenciar o aproveitamento das características da lâmpada. Os principais tipos de lâmpadas utilizados em iluminação pública são a lâmpada HPM, HPS, iodetos metálicos e lâmpadas energeticamente eficientes, como a tecnologia LED. As lâmpadas HPM estão a ser substituídas de modo faseado por lâmpadas HPS, que proporcionam melhores características de iluminação aliadas a um menor consumo e à obtenção de maior luminância e período de manutenção mais alargado (3 a 4 anos, ao contrário dos 2 anos das HPM). A tecnologia LED constitui, indubitavelmente, a tecnologia que permite obter uma maior eficiência energética, visto a duração média ser de cerca de 60.000 horas e o período de manutenção poder chegar aos 12 anos, aliado à vantagem de não necessitar de balastos.

Relativamente às luminárias, o aspecto mais importante a tomar em consideração é a escolha correcta do sistema óptico, que permitirá tirar o melhor partido possível das características da lâmpada, bem como evitar que haja propagação de fluxo luminoso para o hemisfério superior, que constitui um desperdício. Este último aspecto estabelece a diferença entre luminária eficiente, parcialmente ineficiente e totalmente ineficiente.

A questão da manutenção das luminárias é muitas vezes descurada, mas, na verdade, a inadequada manutenção é responsável por parte do desperdício de energia eléctrica nas luminárias. Se não se efectuar uma manutenção adequada, por exemplo, ao nível do difusor, este pode ficar com aspecto amarelado, contribuindo para a diminuição do fluxo emitido, subaproveitando as características da lâmpada utilizada, aliado ao facto de o consumo energético manter-se constante.

A eficiência energética aplica-se também às instalações de iluminação pública, incentivando o uso racional de energia, no sentido de dar resposta às novas exigências energéticas.

A telegestão, quando aplicada à iluminação pública, permite obter uma optimização da utilização de uma instalação de iluminação pública, uma vez que torna possível a monitorização em tempo real de cada uma das lâmpadas e das suas características, tornando possível, por exemplo, “prever” quando uma lâmpada vai falhar, sendo possível proceder à sua substituição mesmo antes de a falha ocorrer. A telegestão permite obter poupanças realmente significativas, dado que, por exemplo, não são necessárias rondas para se verificar

o estado das lâmpadas, uma vez que é possível identificar-se automaticamente as falhas nas lâmpadas e balastros. Com esta tecnologia é também possível aplicar o efeito *dimming*, que proporciona um aumento do tempo de vida das lâmpadas e redução dos custos de manutenção.

A possibilidade de aliar sensores de movimento a um sistema de telegestão na iluminação pública constitui o máximo proveito que se consegue tirar da instalação, uma vez que, quando o sensor detecta movimento, o fluxo passa para os 100%, sendo que, quando não é detectado movimento, o mesmo passa para 40%, cujo objectivo é iluminar apenas o tráfego pedestre. A única desvantagem ocorre quando o movimento detectado não é proveniente de tráfego, mas, por exemplo, de um animal que atravesse a via.

O estudo realizado tendo em conta os dados relativos à cidade do Porto, nomeadamente aos consumos, horas de funcionamento e número e tipo de lâmpadas utilizadas em iluminação pública, permitiu concluir que as medidas que têm vindo a ser implementadas estão de acordo com os objectivos impostos. A diminuição de utilização de lâmpadas HPM em prol de lâmpadas HPS e energeticamente eficientes está a contribuir para a diminuição do aumento da factura energética, aliado à diminuição do consumo de energia.

A verificar-se esta tendência, será possível, numa perspectiva de médio prazo, obter-se valores satisfatórios de eficiência energética.

Para o caso da substituição de uma solução existente por outra que apresente melhores características e permita, em simultâneo, uma poupança considerável, conclui-se que a solução LED, por ter um preço por lâmpada ainda um pouco superior quando comparado com a solução HPS, o retorno do investimento não é tão rápido. Contudo, os valores obtidos são bastante satisfatórios, sendo de aproximadamente 6 anos para a solução LED e 5 anos para a solução HPS. Os valores de poupança de emissões de CO₂ são igualmente consideráveis, sendo de aproximadamente 25 toneladas de CO₂ por ano em cada uma das soluções.

Portugal tem ainda um longo caminho a percorrer até se tornar verdadeiramente competitivo no cenário europeu. Em relação à iluminação pública, estão já a ser implementados alguns projectos-piloto que visam potencializar a eficiência dessas instalações, englobando, inclusive, a utilização de telegestão, obtendo-se uma redução considerável nos custos de manutenção, para além das vantagens já referidas.

A consciencialização para a importância da eficiência energética está a ser gradual, estando a obter-se respostas favoráveis por parte dos municípios, que passaram a considerar fundamentais os investimentos nas instalações de iluminação pública, dado que cerca de 70% da factura municipal diz respeito aos consumos relacionados com este sector.

Para o futuro, prevê-se uma evolução constante da tecnologia, que permitirá, a médio e longo prazo, a concretização de projectos que englobam funções avançadas de controlo e supervisão da utilização da rede de iluminação pública, como é o caso da telegestão associada à utilização de reguladores de fluxo e sensores de movimento.

Outro aspecto a ter em consideração é a importância das *smart grids*¹⁰, que permitem uma maior abrangência no controlo e supervisão do sector eléctrico, visto proporcionarem

¹⁰ Rede eléctrica inteligente

monitorização em tempo real do comportamento e acções de todos os utilizadores que estiverem conectados, como é o caso de geradores e consumidores, cujo propósito é fornecer a electricidade de forma eficiente, económica e segura.

As *smart grids*, ao proporcionarem maior eficiência, permitem um menor consumo de energia, em simultâneo com a obtenção de níveis de qualidade de serviço iguais ou superiores, ao mesmo tempo que torna possível a redução dos custos e das emissões de CO₂. Esta rede inteligente irá permitir, de igual forma, a detecção de anomalias na rede que levariam a interrupções, permitindo que sejam tomadas medidas mesmo antes de a falha ocorrer. Outra vantagem relevante é a possibilidade de diminuir o número de clientes afectados aquando da ocorrência de uma falha de energia.

Para se poder tirar o máximo partido da interacção deste sistema com os clientes, nomeadamente, do sector doméstico, é necessária a instalação de contadores electrónicos (telecontagem) que substituam os actuais, permitindo a monitorização dos consumos em tempo real. Para Portugal, a data prevista de instalação abrangendo todos os clientes, segundo a ERSE, é no final de 2015 [64].

Perspectivam-se, assim, novos projectos, novas metas energéticas e a crescente consciencialização dos cidadãos para o uso racional de energia.

Anexo A

Tabelas referentes à EN 13201 [7]

Tabela A.1 - Classificação das vias e selecção da categoria de iluminação

Tipo	Descrição	Limites de velocidade (km/h)	Categoria de iluminação
A1	Auto-estrada	130-150	ME1
	Vias equiparadas	130	ME1
A2	Serviços de conservação e manutenção em auto-estradas	70-90	ME3a
	Serviços de conservação e manutenção em vias equiparadas	50	ME3a
B	Itinerário Complementar	110	ME3a
	Serviços de manutenção e conservação em Itinerários Complementares	70-90	ME4a
C	Itinerários Principais	50	ME4b
	Serviços de manutenção e conservação em Itinerários Principais	70-90	ME3a
D	Vias rápidas	70	ME3a
	Vias rápidas	50	ME3a
E	Estradas Nacionais	50	ME3a
	Estradas distritais	50	ME3c
	Via extra-urbana	70-90	ME3c
	Via extra-urbana	50	ME3a
	Via extra-urbana	30	ME4b
	Via urbana	50	S3
	Via urbana (baixas da cidade)	30	ME4b
F	Via urbana: outras situações	30	CE4
	Via urbana: áreas pedestres	5	CE5/S3
	Via urbana: baixas da cidade (principais utilizadores: peões e outros admitidos)	5	CE5/S3
	Vias de acesso local	50	-
-	Ciclovias	Não declarado	S3
-	Vias de acesso local	30	-

Tabela A.2 - Comparação de categorias de iluminação

-	ME1	ME2	ME3	ME4	ME5	ME6	-	-
CE0	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	-	-	-
-	-	-	S1	S2	S3	S4	S5	S6

Tabela A.3 - Categoria de iluminação adicional

Categoria de iluminação de referência	CE0	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	-	-	-
Categoria de iluminação de referência	-	-	-	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Categoria de iluminação de referência	-	EV3	EV4	EV5	-	-	-	-	-

Tabela A.4 - Influência dos parâmetros (se relevante) a considerar para referência das categorias de iluminação mencionadas na tabela A.1, para definir a categoria de iluminação do projecto

Tipo de via	Parâmetro de influência							Peões
	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	
A1		Alta						
A2		Normal						
B								
C								
D	Máximo	-	Inexistente					
E								
F		Normal		Inexistente	Normal			
Ciclovia		-	-	-	-	≤ 2%	Urbana	Não permitido

Sendo:

- (A) - Volume de tráfego;
- (B) - Complexidade da percepção da via;
- (C) - Zona de conflitos;
- (D) - Lombas de abrandamento de velocidade;
- (E) - Risco de ataque;
- (F) - Declive médio;
- (G) - Tipo de iluminação aplicável.

Tabela A.5 - Categorias de iluminação da Classe ME: Vias para veículos motorizados onde o cálculo de luminância é aplicável. Tabela válida para condições atmosféricas secas

Classe da via	Luminância da superfície da via em condições secas			Encandeamento perturbador	Iluminação envolvente
	Luminância média	Uniformidade global	Uniformidade longitudinal	Aumento limiar	Relação
	L_{med} [cd/m^2]	U_0	U_1	TI (%)	entorno SR
ME1	2	0,4	0,7	10	0,5
ME2	1,5	0,4	0,7	10	0,5
ME3	a	1	0,7	15	0,5
	b		0,6		
ME4	a	0,75	0,6	15	0,5
	b		0,5		
ME5	0,5	0,35	0,4	15	0,5
ME6	0,3	0,35	0,4	15	Sem requisitos

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

a - É permitido um aumento de 5% no valor do TI quando forem usadas fontes de iluminação com baixa luminância (lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão e fluorescentes tubulares, ou então fontes de luz com luminância idêntica ou inferior);

b - Significa que este critério apenas poderá ser aplicado em locais onde não existam zonas de tráfego com os seus próprios requisitos adjacentes às faixas de rodagem. É um valor não óptimo (com uma uniformidade longitudinal mais baixa) normalizado.

Em situações onde não seja aconselhável a medição da luminância, será utilizada a conversão de candelas para lux na relação de 1 para 15.

Tabela A.6 - Categoria de iluminação MEW - Vias para veículos motorizados onde o cálculo de luminância é aplicável. Tabela válida para condições atmosféricas húmidas

Categoria	Luminância da superfície da via				Encandeamento perturbador	Iluminação envolvente
	Condições secas			Condições húmidas	Aumento limiar	Relação
	(H)	(I)	(J)	(K)	TI (%)	entorno SR
MEW1	2	0,4	0,6	0,15	10	0,5
MEW2	1,5	0,4	0,6	0,15	10	0,5
MEW3	1	0,4	0,6	0,15	15	0,5
MEW4	0,75	0,4	Sem requisitos	0,15	15	0,5
MEW5	0,5	0,35	Sem requisitos	0,15	15	0,5

Sendo:

(H) - Luminância média L_{med} [cd/m^2];

(I) - Uniformidade global U_0 ;

(J) - Uniformidade longitudinal U_1 ;

(K) - Uniformidade global U_0 .

Tabela A.7 - 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 de 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 CIE115, 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.

Note-se 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].

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

- Moderada ou reduzida: de 0 km/h a 70 km/h;
- Alta: de 70 km/h a 100 km/h;
- Muito alta: superior a 100 km/h.

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

- Muito baixo: inferior a 4000 veículos por dia;
- Baixo: de 4000 a 15000 veículos por dia;
- Moderado: de 15000 a 25000 veículos por dia;
- Alto: de 25000 a 40000 veículos por dia;
- Muito alto: superior a 40000 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 iluminação pública 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, como por exemplo, estacionamento.

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 reduzidos;
- Zonas de centros comerciais, etc.

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

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

De acordo com a CIE 115, estas zonas deverão ter um índice um nível superior às estradas adjacentes, devendo ser utilizada a tabela A.8.

Tabela A.8 - Relação entre as classes da estrada adjacente e da área de conflito

Classe da estrada adjacente	Classe da área de conflito
ME1	ME1
ME2	ME1
ME3a	ME2
ME4a	ME3a
ME5	ME4a
ME6	ME5

Tabela A.9 - Categorias de iluminação CE: vias para veículos motorizados onde o cálculos de luminância não é aplicável

Categoria	Iluminação horizontal	
	$E_{\text{méd}}$ mínimo mantido (lux)	E_{min} mantido (lux)
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

Esta tabela é aplicável a zonas de conflito, cruzamentos, ruas comerciais, ciclovias e vias para peões quando as categorias A e S não forem adequadas.

Tabela A.10 - Categoria de iluminação S: ciclovias e vias para peões

Categoria	Iluminação horizontal	
	$E_{\text{méd min}}$ mantido (lux) (para obter $E_{\text{méd}} < 1,5 E_{\text{min}}$)	E_{min} mantido (lux)
S1	15	5
S2	10	3
S3	7,5	1,5
S4	5	1
S5	3	0,6
S6	2	0,6
S7	Desempenho não especificado	Desempenho não especificado

Tabela aplicável a passeios, ciclovias, vias para peões, áreas de estacionamento, etc.

Tabela A.11 - Categoria de iluminação A: ciclovias e vias para peões

Categoria	Iluminação hemisférica	
	$E_{hs\ min}$ mantido (lux)	E_{min} mantido (lux)
A1	5	0,15
A2	3	0,15
A3	2	0,15
A4	1,5	0,15
A5	1	0,15
A6	Desempenho não especificado	Desempenho não especificado

Tabela aplicável a passeios, ciclovias, vias para peões, áreas de estacionamento, etc.

Tabela A.12 - Categoria de iluminação ES: iluminação hemisférica

Categoria	$E_{sc\ min}$ mantido (lux)
ES1	10
ES2	7,5
ES3	5
ES4	3
ES5	2
ES6	1,5
ES7	1
ES8	0,75
ES9	0,5

A categoria ES terá que ser devidamente auxiliada pelas tabelas referentes às categorias A e S quando o projectista pretender reduzir a criminalidade e insegurança.

Tabela A.13 - Categorias de iluminação EV: identificação de superfícies verticais

Categoria	$E_{v\ min}$ mantido (lux)
EV1	50
EV2	30
EV3	10
EV4	7,5
EV5	5
EV6	0,5

Esta categoria é usada nas situações em que é necessário investigar/analisar superfícies verticais, como por exemplo, cruzamentos ou zonas de conflito entre utilizadores diferentes.

Tabela A.14 - Variação da categoria de iluminação relacionada com a influência dos parâmetros

Parâmetros de influência	Variação da categoria de iluminação	Não aplicável a
Condições normais		
Condições sem ocorrência de conflitos	-1	A1
Volume de tráfego < 50% em relação ao máximo		
Volume de tráfego < 25% em relação ao máximo	-2	
Sinais activos em zonas de conflito	-1	
IRC ≥ 60%	-1 (opcional)	
IRC < 30		
Perigo de ataque (assalto)		-
Zonas de cruzamentos	+1	
Proximidade de atravessamento de peões		
Aproximação de lombas redutoras de velocidade		

Glossário

Eficiência luminosa - é a relação entre o fluxo luminoso total emitido pela fonte (ϕ) e a potência por ela absorvida (P).

$$\eta = \frac{\phi}{P} \text{ (lm/W)}$$

Este rácio é, também, muitas vezes utilizado como o Índice de Eficiência Energética.

Encandeamento perturbador (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 contraste, correspondendo este incremento ao TI.

Factor de manutenção (FM) - é o rácio da iluminância num determinado momento ($E(t)$), com a iluminância inicial (E_0).

Factor de manutenção da luminosidade da lâmpada (FMLL) - é o rácio entre o fluxo luminoso da lâmpada num dado momento da sua vida ($\phi(t)$) e o fluxo luminoso inicial (ϕ_0).

Factor de sobrevivência da lâmpada (FSL) - é definido pela fracção do número total de lâmpadas que continuam a funcionar num dado momento e sob determinadas condições.

Factor de manutenção da luminária (FML) - 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).

Factor de utilização (FU) - é o rácio do fluxo luminoso recebido pela superfície que se pretende iluminar (fluxo útil - $\phi_{\text{útil}}$), com a soma dos fluxos individuais de cada fonte de luz da instalação.

Fluxo luminoso (ϕ) - é a quantidade de luz emitida em todas as direcções por uma fonte de luz e a unidade é o *lúmen* (lm).

Fonte de luz - define-se como sendo o elemento físico, sólido ou gasoso que, quando alimentado por energia eléctrica, emite radiações visíveis ao olho humano.

Iluminância (E) - é o quociente entre o fluxo luminoso incidente num elemento da superfície ($\partial\phi$) e a área (∂A) desse elemento, ou seja, é a quantidade de fluxo luminoso recebido pela unidade de área iluminada.

$$E = \frac{\partial\phi}{\partial A} = \int_{2\pi sr} L \times \cos(\theta) \times \partial\Omega$$

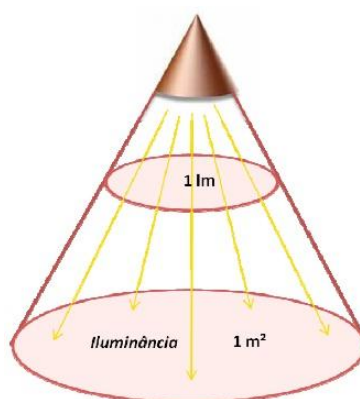
Legenda:

E - Iluminância;

L - Luminância num dado ponto nas várias direcções dos raios elementares incidentes do ângulo sólido;

$\partial\Omega$ - Ângulo sólido;

θ - Ângulo entre qualquer um dos raios incidentes e a normal à superfície num dado ponto.



Existem quatro medidas de iluminância possíveis:

- Horizontal (E_h), vulgarmente apenas designada por Iluminância (E);
- Vertical (E_v);
- Semi-cilíndrica (E_{sc});
- Hemisférica (E_{hem}).

Quanto maior for o fluxo luminoso incidente sobre uma superfície, maior será a iluminância. Do mesmo modo, mantendo-se o fluxo luminoso, a iluminância será tanto maior quanto menor for a área a iluminar.

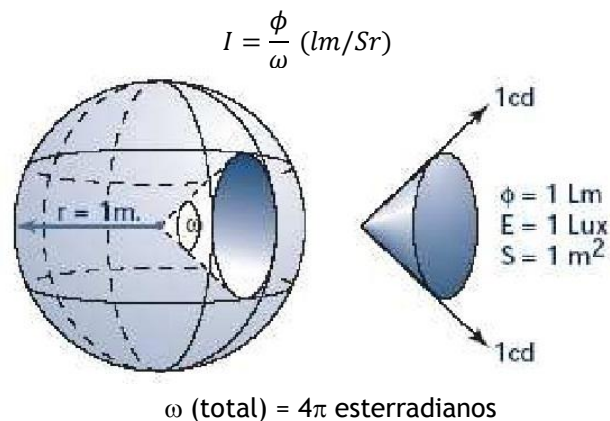
Iluminância média (E_{med}) - é a média aritmética de todos os pontos de iluminância calculados sobre a superfície da via e a unidade é o Lux.

Iluminância mínima (E_{min}) - é o valor mínimo de iluminância calculado sobre a superfície da via e a unidade é o Lux.

Índice de protecção (IP) - é um parâmetro que define quais as características de um aparelho de iluminação, que deve ser considerado em função do local de instalação da mesma, nomeadamente quanto à agressividade do ambiente e condições de intempérie.

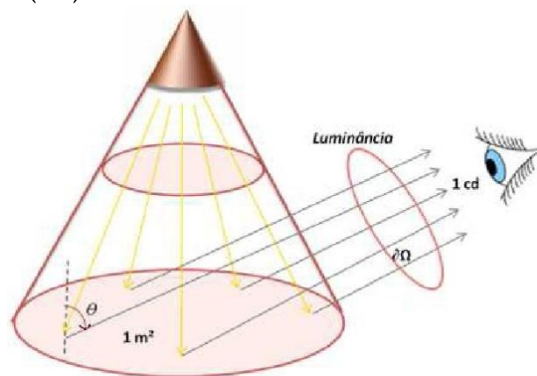
Índice de Reprodução de Cores (IRC) - é a capacidade de reprodução cromática do objecto iluminado por uma fonte de luz, sendo por isso um valor indicativo da capacidade da fonte de luz para reproduzir cores, em comparação com a reprodução obtida por uma fonte de luz padrão, tomada como referência, e que é a luz solar, que apresenta IRC = 100.

Intensidade luminosa (I) - corresponde ao fluxo emitido numa direcção por unidade de ângulo sólido nessa direcção e a unidade é a candela (cd).



A candela pode 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 $1/683$ W por esterradiano.

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 ($\partial\Omega$). A unidade é cd/m^2 .



A luminância pode entendida como sendo o quociente entre a intensidade luminosa (I) e a área (A) que a reflecte segundo uma determinada direcção (θ):

$$L = \frac{I}{A \times \cos \theta} \text{ (cd/m}^2\text{)}$$

Ao denominador desta equação dá-se o nome de área aparente, que é a área projectada na direcção do observador, correspondente à área da superfície iluminada.

Luminância média (L_{med}) - é a média aritmética de todos os pontos de luminância calculados sobre a superfície da via. A unidade é cd/m^2 .

Poluição luminosa - é 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.

Ponto de luz - define-se como sendo um elemento que permite a iluminação de uma área, sendo constituído por um aparelho de iluminação, fonte de luz e apoio.

Rácio de saída de fluxo luminoso - *Light Output Ratio* (LOR) - o rácio de saída de fluxo luminoso (LOR) é o quociente entre o fluxo luminoso (ϕ) total de uma luminária (medido em condições práticas específicas com a sua fonte de luz e equipamento auxiliar) e a soma dos fluxos luminosos individuais dessas mesmas fontes de luz, quando operadas fora da luminária com o mesmo equipamento auxiliar e condições práticas.

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

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 fontes de luz quando operadas fora da luminária.

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

Regulador de fluxo luminoso - é um equipamento previsto para controlar o processo de arranque, estabilização e redução do consumo da potência instalada, referente a uma instalação de iluminação, funcionando após a aplicação de uma “ordem” com origem local ou remota. O processo pode ser efectuado através da regulação, por tensão, por corrente ou variação da frequência, através de equipamentos electromecânicos ou electrónicos.

Rendimento de um ponto de luz (%) - é a relação entre o fluxo luminoso emitido pelo aparelho de iluminação e o fluxo luminoso da(s) respectiva(s) fonte(s) de luz, em iguais condições de funcionamento.

Rendimento luminoso de uma fonte de luz (ϵ) - é a relação entre o fluxo luminoso emitido pela mesma e a unidade de potência eléctrica consumida para o obter. A unidade é lm/W.

$$\epsilon = \frac{\phi}{P} \text{ (lm/W)}$$

Resistência aos impactos (IK) - é a capacidade de o material resistir à força de um impacto repentino.

Temperatura de cor (K) - é uma característica que indica a cor aparente da luz emitida e é expressa em Kelvin - K. Quando a temperatura de cor aumenta, a cor da luz emitida passa de uma tonalidade mais quente (avermelhado) para uma tonalidade mais fria (azulado).

Temperatura cor (K)	Classificação	Tonalidade de cor
< 3300 K	Quente	Branco quente
Entre 3300 K e 5300 K	Intermédio	Branco neutro
> 5300 K	Fria	Branco frio

Uniformidade global (U_0) - é a relação entre o valor de luminância mínima e o valor de luminância média de uma instalação de iluminação e a unidade é %.

$$U_0 = \frac{L_{min}}{L_{med}}$$

Uniformidade longitudinal (U_1) - no sentido de deslocação do observador, é a relação entre o valor de luminância mínima e o valor de luminância máxima longitudinal, de uma instalação de iluminação e a unidade é %.

$$U_1 = \frac{L_{min}L}{L_{max}L}$$

Uniformidade média (U_m) - é a relação entre o valor de luminância mínima e o valor de luminância média de uma instalação de iluminação e a unidade é %.

$$U_m = \frac{E_{min}}{E_{med}}$$

Visão escotópica - é a visão produzida pelo olho em condições de baixa luminosidade. No olho humano, os cones não funcionam em condições de baixa luminosidade (nocturna), o que determina que a visão escotópica seja produzida exclusivamente pelos bastonetes, o que impossibilita a percepção das cores.

Visão fotópica - é a designação dada à sensibilidade do olho em condições de intensidade luminosa que permitam a distinção das cores. Na generalidade, corresponde à visão diurna.

No olho humano, a visão fotópica faz-se principalmente pela activação dos cones que se encontram na retina.

Visão mesópica - é a designação dada à combinação da visão fotópica e da visão escotópica, que ocorre em situações de luminosidade baixa, mas não tão baixa que elimine de todo a componente fotópica da visão.

Referências

- [1] EDP - Energias de Portugal. Disponível em <http://www.edp.pt/pt/Pages/homepage.aspx>. Acesso em 25/Fevereiro/2011.
- [2] PORDATA - Base de Dados sobre Portugal Contemporâneo. Disponível em <http://www.pordata.pt>. Acesso em 12/Março/2011.
- [3] Secretaria de Estado da Energia e da Inovação do Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento (SEEI/MEID), “Eficiência energética na iluminação pública - Documento de referência” (2011). Disponível em <http://www.anmp.pt/files/dpeas/2010/pactoautarcas/p02/diversos/Eficiiluminapublica.pdf>. Acesso em 15/Março/2011.
- [4] Blogue da Família Real Portuguesa. Disponível em <http://realfamiliaportuguesa.blogspot.com/2009/10/rei-dom-luiz-i-oferece-candeeiros-c.html>. Acesso em 01/Março/2011.
- [5] Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento (2010), “Estratégia Nacional de Energia ENE 2020 - Uma inspiração para Portugal e uma ideia para o mundo”. Disponível em http://www.governo.gov.pt/pt/GC18/Documentos/MEID/Plano_Novas_Energias.pdf. Acesso em 15/Março/2011.
- [6] EUROSTAT - *European statistics*, “Energy, transport and environment indicators (2010)”. Disponível em http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-DK-10-001/EN/KS-DK-10-001-EN.PDF. Acesso em 12/Março/2011.
- [7] *European Committee for Standardization*, “Road lighting - Part 2: Performance requirements (2003)”. Disponível em <http://wenku.baidu.com/view/bf733c563c1ec5da50e2707c.html>. Acesso em 16/Maio/2011.
- [8] *European Committee for Standardization*, “Road lighting - Part 3: Calculation of performance (2003)”. Disponível em <http://wenku.baidu.com/view/80a315e2524de518964b7d7c.html>. Acesso em 16/Maio/2011.

- [9] *European Committee for Standardization*, “*Road lighting - Part 4: Methods of measuring lighting performance (2003)*”. Disponível em <http://wenku.baidu.com/view/ad61d34bcf84b9d528ea7a7c.html>. Acesso em 16/Maio/2011.
- [10] *McDonald Observatory*. Disponível em mcdonaldobservatory.org. Acesso em 26/Maio/2011.
- [11] Sofia Isabel Ressano Garcia Vasques Seabra Águas, “*Design de candeeiros de iluminação pública para a sustentabilidade do espaço público*”, Tese de Doutoramento, Faculdade de Belas Artes, Universidade de Barcelona, Barcelona, 2009.
- [12] Catarina Branco Leite da Silva, “*Estudo da eficiência luminosa e energética do sistema de iluminação pública da cidade do Porto*”, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2007.
- [13] *Renewables & energy - Portugal*. Disponível em <http://renovaveis-energia-pt.blogspot.com/2011/02/estrategia-nacional-de-energia-2020.html>. Acesso em 10/Março/2011.
- [14] INE - Instituto Nacional de Estatística. Disponível em <http://ine.pt>. Acesso em 12/Março/2011.
- [15] ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. Disponível em <http://www.erse.pt>. Acesso em 12/Março/2011.
- [16] NASA - *National Aeronautics and Space Administration*. Disponível em <http://www.nasa.gov/>. Acesso em 13/Março/2011.
- [17] Dependência e ineficiência energética em Portugal. Disponível em http://resistir.info/e_rosa/crise_energetica.html. Acesso em 25/Abril/2011.
- [18] Armínio Teixeira, “*Norma Europeia de Iluminação Pública EN13201*”. Disponível em http://paginas.fe.up.pt/~arminio/lumiind/Norma_Ilum_Pub_EN13201.pdf. Acesso em 11/Maio/2011.
- [19] EN13201 *tables*. Disponível em <http://www.ltblight.com/English.lproj/LTBLhelp/pages/EN13201.html>. Acesso em 16/Maio/2011.
- [20] Schröder Portugal. Disponível em <http://www.schreder.com>. Acesso em 30/Maio/2011.
- [21] Schröder Portugal, “*Dossier - A iluminação sustentável*.” Disponível em http://www.schreder.com/documents/_Dossier/PDF/Portuguese/200912101426629/DossierLumiereDurablePT.pdf. Acesso em 30/Maio/2011.
- [22] *Wikipedia* - Luminotecnia. Disponível em <http://pt.wikipedia.org/wiki/Luminot%C3%A9cnica> Acesso em 24/Maio/2011.
- [23] Emmanuel Loureiro Garrido, “*Concepção e certificação de nova geração de candeeiros de iluminação pública*”. Disponível em

- http://paginas.fe.up.pt/~ee03096/index_ficheiros/Page704.htm. Acesso em 24/Maio/2011.
- [24] ISR - Universidade de Coimbra, “Manual Técnico de Gestão de Energia”. Disponível em <http://146.164.33.61/termo/Regras%20trabalhos/manual.pdf>. Acesso em 31/Maio/2011.
- [25] Armínio Teixeira, “Circuitos de Iluminação”. Disponível em <http://paginas.fe.up.pt/~arminio/lumiind/Circllum.pdf>. Acesso em 29/Maio/2011.
- [26] Armínio Teixeira, “Eficiência energética das instalações de iluminação”. Disponível em http://paginas.fe.up.pt/~arminio/EFIC_ENERGET_INST_ILUM.pdf. Acesso em 29/Maio/2011.
- [27] Armínio Teixeira, “Armaduras de iluminação pública”. Disponível em <http://paginas.fe.up.pt/~arminio/lumiind/ArmlIPub.pdf>. Acesso em 30/Maio/2011.
- [28] Guia EM da NBR5410. Disponível em http://www.joinville.ifsc.edu.br/~roberto.sales/IEI/NBR%205410%20comentada/02_influencias.pdf. Acesso em 29/Maio/2011.
- [29] Electrónica. Disponível em <http://www.electronica-pt.com/index.php/content/view/256/169/>. Acesso em 24/Maio/2011.
- [30] Armínio Teixeira, “Tipos de lâmpadas”. Disponível em http://paginas.fe.up.pt/~arminio/lumiind/Fontes_Lumin.pdf. Acesso em 30/Maio/2011.
- [31] Tipos de lâmpadas. Disponível em http://www.ecivilnet.com/artigos/lampadas_e_reatores.htm. Acesso em 24/Maio/2011.
- [32] *Wikipedia* - Lâmpada de vapor de sódio. Disponível em http://pt.wikipedia.org/wiki/Lâmpada_de_vapor_de_sódio. Acesso em 24/Maio/2011.
- [33] Tipos de lâmpadas. Disponível em <http://www.fazendovideo.com.br/vtluz8.asp>. Acesso em 28/Maio/2011.
- [34] LNEG, “Compras públicas sustentáveis - Iluminação pública LED”. Disponível em <http://www.lneg.pt/download/1880>. Acesso em 28/Maio/2011.
- [35] OSRAM Portugal. Disponível em http://www.osram.pt/osram_pt/index.html. Acesso em 15/Abril/2011.
- [36] Ambiente *Online*. Disponível em <http://ambienteonline.pt>. Acesso em 24/Maio/2011.
- [37] Iluminação pública com LEDs. Disponível em <http://jborgesalmeida.wordpress.com/2009/04/20/iluminacao-publica-com-leds/>. Acesso em 24/Maio/2011.
- [38] *Blog Dolo Eventual*. Disponível em odoloeventual.blogspot.com. Acesso em 28/Maio/2011.
- [39] *Skyscraper City*. Disponível em skyscrapercity.com. Acesso em 28/Maio/2011.
- [40] Semanário Transmontano. Disponível em semanariotransmontano.com. Acesso em 28/Maio/2011.

- [41] Armínio Teixeira, “Balastros”. Disponível em <http://paginas.fe.up.pt/~arminio/lumiind/BalElect.pdf>. Acesso em 30/Maio/2011.
- [42] Armínio Teixeira, “Circuitos de iluminação”. Disponível em <http://paginas.fe.up.pt/~arminio/teci/Circllum.pdf>. Acesso em 30/Maio/2011.
- [43] Philips Portugal, “Iluminação energeticamente eficiente”. Disponível em http://remodece.isr.uc.pt/workshops/portugal/PHILIPS_IluminacaoEficiente.pdf. Acesso em 28/Maio/2011.
- [44] Paulo Candura, “Iluminação pública - visão humana”. Disponível em http://www.lumearquitetura.com.br/pdf/ed03/ed_03_Ilum.pdf. Acesso em 28/Maio/2011.
- [45] Exporlux - Soluções de iluminação. Disponível em exporlux.pt. Acesso em 28/Maio/2011.
- [46] Energia Viva. Disponível em <http://www.energiaviva.pt/A-consagracao-da-UrbanLED-na-iluminacao-publica-Primeira-auto-estrada-iluminada-com-tecnologia-LED-n56.htm>. Acesso em 28/Maio/2011.
- [47] *Blog Melich LED*. Disponível em <http://ledluxled.blogspot.com>. Acesso em 28/Maio/2011.
- [48] *Lighting Research Center*. Disponível em <http://www.lrc.rpi.edu/programs/nlpip/lightinganswers/lightpollution/cutoffShielded.asp>. Acesso em 28/Maio/2011.
- [49] *Blog Fotos do Pinhas*. Disponível em <http://fotosdopinhas.blogspot.com>. Acesso em 28/Maio/2011.
- [50] *Cabeça Web*. Disponível em <http://cabecaweb.blogspot.com/>. Acesso em 28/Maio/2011.
- [51] Tor Mjøs, “*Intelligent street lighting in Oslo, Norway*”. Disponível em <http://www.e-streetlight.com/Documents/presentation/ECEEE.PDF>. Acesso em 23/Fevereiro/2011.
- [52] Mundo da impermeabilização. Disponível em <http://mundodaimpermeabilizacao.blogspot.com/2010/12/poste-de-iluminacao-publica-100.html>. Acesso em 29/Maio/2011.
- [53] *Semiconductor today*. Disponível em http://www.semiconductor-today.com/news_items/2009/APRIL/LUMILEDS_170409.htm. Acesso em 28/Maio/2011.
- [54] Câmara Municipal de Torres Vedras. Disponível em <http://www.cm-tvedras.pt>. Acesso em 28/Maio/2011.
- [55] Armínio Teixeira, “Iluminação pública. Poupança de energia eléctrica”. Disponível em <http://paginas.fe.up.pt/~arminio/lumiind/PoupEnIP.pdf>. Acesso em 30/Maio/2011.
- [56] António Amorim, “*Workshop Eficiência Energética na Iluminação - Novas tecnologias na iluminação pública*” (2009). Acesso em 14/Maio/2011.
- [57] ENERGAIA, “*Newsletter N.º 8 - Janeiro 2008*”. Disponível em http://www.energia.pt/belief/newsletters/newsletter_8/index.html. Acesso em 30/Maio/2011.

- [58] Inovagaia. Disponível em <http://www.inovagaia.pt/gaia/portal/user/anon/page/DBA0.psml?contentid=7F95805480CO&nl=pt>. Acesso em 30/Maio/2011.
- [59] Algébrica. Disponível em http://www.algebrica.pt/Arquivo/Newsletters/modos_ee/17/index.htm. Acesso em 30/Maio/2011.
- [60] Município de Vila Nova de Gaia, “Relatório e Contas de 2010”. Disponível em <http://www.gaianima.pt/gaia/imagescmg/RelatorioeConta2010.pdf>. Acesso em 30/Maio/2011.
- [61] Gonçalo Paiva & Pedro Antunes. “Sistemas de Telegestão”. Disponível em http://users.isr.ist.utl.pt/~pjcro/courses/api0910/Sem_A5.pdf. Acesso 05/Junho/2011.
- [62] Sistema Inteligente de Gestão de Iluminação Pública. Disponível em <http://www.enlight.pt/intelligent.htm>. Acesso em 05/Junho/2011.
- [63] *Wikipedia - Smart Grid*. Disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Smart_grid. Acesso em 22/Junho/2011.
- [64] ERSE, “Funcionalidades mínimas e plano de substituição dos contadores de energia eléctrica”. Disponível em http://www.erse.pt/pt/electricidade/mibel/compatibilizacaoregulatoria/Documents/Func_Plano_Subs_contadores_final1.pdf. Acesso em 22/Junho/2011.
- [65] Schréder Portugal, “Características das luminárias MC 12, MC 2 e MC 3”. Disponível em http://www.schreder.com/documents/MC/Portuguese/Brochure/200608011050/MC_PO.pdf. Acesso em 23/Junho/2011.
- [66] Schréder Portugal, “NANO LED - A luz sustentável”. Disponível em http://www.schreder.com/documents/NANO%20LED/Portuguese/Brochure/201103041459142/NANO%20LED-Novembro_2010.pdf. Acesso em 23/Junho/2011.