



Diogo Manuel de Oliveira Pinto

# Sistemas de Controlo de Iluminação Pública

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Fevereiro de 2016



UNIVERSIDADE DE COIMBRA





FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

**Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores**



## **Sistemas de Controlo de Iluminação Pública**

**Diogo Manuel de Oliveira Pinto**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Eletrotécnica e de Computadores**

**Júri**

**Presidente:** Professor Doutor Álvaro Filipe Peixoto Cardoso de Oliveira Gomes

**Orientador:** Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge

**Vogal:** Professora Doutora Rita Cristina Girão Coelho da Silva

**Coimbra, Fevereiro de 2016**



**"A verdadeira generosidade para com o futuro consiste em dar tudo ao presente."**

**Albert Camus**



## AGRADECIMENTOS

Em jeito de agradecimento, gostaria de deixar aqui umas palavras a todos aqueles que me ajudaram e apoiaram de alguma forma a atingir esta importante meta.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador, o Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge, por toda a ajuda durante a realização desta dissertação e pela disponibilidade sempre revelada para tirar dúvidas e discutir ideias.

Agradeço também a todos os professores do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores que contribuíram para a minha formação académica.

A todos os amigos, colegas, conhecidos, que fiz ao longo do curso e da minha estadia por Coimbra, um muito obrigado, sem eles esta experiência não teria sido tão enriquecedora do ponto de vista humano e social.

Ao meu padrinho de curso, Filipe Ferreira, agradeço a disponibilidade e ajuda.

Aos meus primos, Ana e José Sargento, agradeço todo o apoio prestado nos meus primeiros tempos por Coimbra, pois sem eles a adaptação não teria sido tão fácil.

À Catarina agradeço o apoio incondicional, por me ter feito companhia nestes últimos anos e por “me dar na cabeça” sempre que necessário.

Às minhas irmãs um enorme obrigado pela disponibilidade sempre demonstrada para me ajudar em tudo que fosse necessário e pelo apoio emocional constante.

Por último, mas não menos importante, agradeço aos meus pais, pois sem eles nada disto teria sido possível. Agradeço todos os sacrifícios despendidos para que nunca me faltasse nada de essencial e todo o apoio prestado nos bons e maus momentos.

A todos um **Muito Obrigado**.



## Resumo

A Iluminação Pública (IP) faz parte do nosso quotidiano, sendo um fator determinante na nossa qualidade de vida.

O crescimento dos custos para as autarquias com a IP conjugado com as metas definidas pela União Europeia para a redução da emissão de gases de efeito de estufa (CO<sub>2</sub>) até 2020 e a crise económica, têm levado à criação de programas de incentivos que visam o aumento da eficiência energética nos sistemas de IP.

As tecnologias usadas na IP têm tido um forte desenvolvimento nos últimos anos, desde o aparecimento de lâmpadas e luminárias mais eficientes, como a luminária LED, ao aparecimento de novos sistemas de controlo e gestão de IP, nomeadamente a telegestão e novos sistemas de controlo de regulação de fluxo em lâmpadas convencionais.

Ao longo desta dissertação são analisadas as tecnologias usadas em Portugal na IP, desde as lâmpadas convencionais até às novas luminárias LED. São também descritas as medidas usadas para reduzir custos e aumentar a eficiência energética na IP.

Como ilustrativo da aplicação de novas tecnologias em IP são apresentados dois casos de estudo distintos. O primeiro visa demonstrar as vantagens da substituição de um sistema de IP obsoleto e desajustado ao local em que se encontra por uma tecnologia mais eficiente, fazendo um estudo luminotécnico e apresentando soluções LED com e sem controlo. O segundo visa demonstrar que, com os novos balastros reguláveis, é possível obter grandes poupanças e reduções de CO<sub>2</sub> sem fazer substituições massivas de tecnologia e, conseqüentemente, sem um investimento inicial tão avultado, aproveitando a tecnologia instalada que ainda tem um tempo de vida útil considerável.

## Palavras-Chave

Iluminação Pública, Eficiência Energética, Gestão e Controlo, Telegestão, Luminárias, Lâmpadas.



# Abstract

Street lightning is part of our daily life playing a key role on shaping our quality of life.

The economic costs of street lightning supported by municipalities, together with the low carbon emission goals set by the European Union for 2020, and the economic crisis, as led to the creation of incentive programs promoting the implementation of technologies aiming the street lighting energy efficient improvement.

During the last years, the technologies associated with street lighting have seen several developments, such as the development of more efficient lamps and luminaires, and LED lamps. Moreover, new systems for the control and management of street lightning have been developed, namely remote management and dimming systems for conventional lamps.

In this dissertation, the different Street Lightning technologies being used in Portugal, from conventional lamps to the new LED lamps, are analysed. Furthermore, the set of schemes being used to reduce costs and to increase the energy efficient of Street Lightning are analysed.

Two illustrative case studies of the application of new technologies to Street Lightning are considered. The first case study aims demonstrating the advantages of replacing an obsolete and unadjusted street lightning system by a system using newer technology, after a technical lighting study considering LED lamps with and without control system. The second case study aims to demonstrate that by installing new dimmable ballasts it is possible to achieve a significant reduction of the energy cost as well as of the carbon dioxide emissions, without a full replacement of the installed technology. In this case, the start investment is kept low by preserving the installed technology in-use taking advantage of its remaining lifetime.

## Keywords

Street Lightning, Energy Efficiency, Management and Control, Telemanagement, Luminaires, Lamps.



# Índice

1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento e Motivação .....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Estruturação .....	2
2. Iluminação Pública e Programas para a Eficiência Energética .....	3
2.1 Introdução .....	3
2.2 Panorama atual e evolução da IP em Portugal.....	5
2.3 Contratos e Concessões .....	8
2.4 Conclusão.....	9
3. Luminárias.....	11
3.1 Introdução .....	11
3.2 Lâmpadas .....	12
3.2.1 Conceitos luminotécnicos.....	12
3.2.2 Comparação entre os diversos tipos de lâmpadas usados em IP.....	14
3.2.3 Lâmpadas convencionais.....	16
3.3 Equipamentos auxiliares .....	18
3.3.1 Balastros .....	18
3.3.2 Arrancadores.....	20
3.3.3 Condensadores.....	20
3.4 Tecnologia LED.....	21
3.4.1 Introdução.....	21
3.4.2 Vantagens e Desvantagens .....	22
3.4.3 Luminárias LED .....	23
3.5 Conclusão.....	26
4. Métodos de Controlo e Gestão de Iluminação Pública .....	27

4.1	Introdução .....	27
4.2	Medidas de Eficiência.....	27
4.2.1	Desligar focos e circuitos de IP .....	27
4.2.2	Substituição de equipamentos por mais eficientes .....	28
4.2.3	Manutenção dos sistemas de iluminação.....	28
4.3	Métodos de Controlo de IP .....	29
4.3.1	Interruptores crepusculares.....	29
4.3.2	Relógios Astronómicos .....	29
4.3.3	Reguladores de Fluxo .....	30
4.3.4	Sistemas de Telegestão.....	31
4.4	Integração de novas tecnologias nos Sistemas de IP .....	35
4.5	Análise de Caso (Segurança vs Poupança).....	37
4.5.1	Introdução.....	37
4.5.2	Caso analisado .....	37
4.6	Conclusão.....	41
5.	Estudo de Caso .....	43
5.1	Caracterização da IP do Município de Coimbra.....	43
5.2	Parque urbano .....	44
5.2.1	Introdução.....	44
5.2.2	Classificação da Via .....	45
5.2.3	Cálculo luminotécnico e projeto no DIALux .....	46
5.2.4	Soluções implementadas .....	49
5.2.5	Análise Económica.....	51
5.2.6	Emissões de CO <sub>2</sub> .....	53
5.2.7	Conclusões.....	54
5.3	Via Rápida .....	55
5.3.1	Introdução.....	55
5.3.2	Perfil da Iluminação .....	56

5.3.3	Análise de Potências e consumo.....	56
5.3.4	Análise Económica.....	58
5.3.5	Emissões de CO <sub>2</sub> .....	58
5.3.6	Conclusões.....	59
6.	Conclusões e Trabalhos futuros.....	61
6.1	Conclusões.....	61
6.2	Trabalhos futuros.....	62
	Bibliografia.....	63
	Anexos.....	67
A	– Tabelas com informação usada na dissertação.....	67
B	– Dados complementares dos estudos de caso.....	69
C	– Características das luminárias Teceo 1.....	70
D	– Caraterísticas do Balastro Eletrónico HID-DV PROG Xt 250.....	71



## Lista de Figuras

<b>Figura 2.1</b> – Vista noturna do planeta Terra – 18/04/2012 [34].....	3
<b>Figura 2.2</b> – Península Ibérica à noite a 26/07/2015 [35] .....	4
<b>Figura 2.3</b> - Repartição do consumo de energia elétrica em Portugal em 2013 [6].....	5
<b>Figura 2.4</b> - Consumo de energia elétrica vs Iluminação de Vias Públicas [6] .....	6
<b>Figura 2.5</b> - Evolução da tarifa de IP [36].....	6
<b>Figura 2.6</b> - Consumo de energia em IP por município <i>per capita</i> [6].....	7
<b>Figura 3.1</b> - Exemplos de luminárias utilizadas em IP funcional .....	11
<b>Figura 3.2</b> - Luminárias utilizadas em iluminação decorativa .....	11
<b>Figura 3.3</b> - Iluminância [3] .....	13
<b>Figura 3.4</b> - Temperatura de cor.....	14
<b>Figura 3.5</b> - Evolução do rendimento luminoso em diversos tipos de lâmpadas [14] .....	14
<b>Figura 3.6</b> - Distribuição da radiação espectral típica das diversas lâmpadas usadas em IP [14].....	15
<b>Figura 3.7</b> - Tipos de lâmpadas usadas em IP .....	16
<b>Figura 3.8</b> - Balastro magnético para lâmpadas de vapor de mercúrio.....	19
<b>Figura 3.9</b> - Balastro eletrónico.....	19
<b>Figura 3.10</b> - Arrancador para lâmpadas de descarga .....	20
<b>Figura 3.11</b> - Condensador para lâmpadas de descarga .....	20
<b>Figura 3.12</b> - Lâmpada LED IP E27 30W com ângulo de abertura de 360° [37] .....	21
<b>Figura 3.13</b> - Estrutura da unidade eletrónica dentro de uma luminária LED [14] .....	24
<b>Figura 3.14</b> - Esquema de funcionamento eletrónico de uma luminária LED para iluminação exterior [14] .....	24
<b>Figura 3.15</b> - Sensor de temperatura numa placa LED [14] .....	25
<b>Figura 4.1</b> - Luminária desligada com autocolante da EDP [41].....	28
<b>Figura 4.2</b> - Interruptores crepusculares da Schneider [38] .....	29
<b>Figura 4.3</b> - Relógio astronómico [39].....	30
<b>Figura 4.4</b> - Exemplo de perfil de regulação de fluxo [19].....	32
<b>Figura 4.5</b> - Exemplo de funcionamento de um sistema de telegestão com sensores de movimento e direção [21] .....	32
<b>Figura 4.6</b> - Exemplo de funcionamento [21] .....	33
<b>Figura 4.7</b> - Comunicação wireless entre Luminárias [19].....	33
<b>Figura 4.8</b> - Estrutura do Sistema Inteligente de controlo de IP da Solidmation [22] .....	34
<b>Figura 4.9</b> - Exemplo de candeeiro com painel solar [24] .....	36

<b>Figura 4.10</b> - Comparação do consumo de energia anual por cenário [27] .....	39
<b>Figura 4.11</b> - Níveis de serviço e perda nos diferentes cenários [27] .....	40
<b>Figura 4.12</b> - Perdas financeiras nas duas soluções com base no cenário [27] .....	40
<b>Figura 5.1</b> - Distribuição do número de lâmpadas por tecnologia .....	43
<b>Figura 5.2</b> – Distribuição da potência instalada por tipo de tecnologia .....	44
<b>Figura 5.3</b> - Foto do parque, ilustrativa de má localização e orientação das luminárias .....	45
<b>Figura 5.4</b> - Luminária Teceo 1 [40] .....	47
<b>Figura 5.5</b> - Perfil de iluminação implementado para o horário de Inverno .....	49
<b>Figura 5.6</b> - Perfil de iluminação implementado para o horário de Verão.....	50
<b>Figura 5.7</b> - Comparação de consumos anuais das 3 soluções, em kWh .....	50
<b>Figura 5.8</b> - Comparação da emissão de CO <sub>2</sub> nas 3 soluções, em toneladas .....	53
<b>Figura 5.9</b> - HID-DV PROG Xt 250 SON C2 208-277V [30].....	55
<b>Figura 5.10</b> - Perfil de iluminação para o horário de Inverno .....	56
<b>Figura 5.11</b> - Perfil de iluminação para o horário de Verão.....	56
<b>Figura 5.12</b> - Variação do fluxo luminoso em função da potência numa lâmpada de HPS [32].....	57
<b>Figura 5.13</b> - Comparação do consumo anual (MWh).....	57
<b>Figura 5.14</b> - Emissões de CO <sub>2</sub> (toneladas) nas duas soluções .....	59

## Lista de Tabelas

<b>Tabela 4.1</b> - Poupança energética com regulação de fluxo por tipo de lâmpada [17]....	31
<b>Tabela 4.2</b> - Comparação entre os 3 tipos de telegestão.....	35
<b>Tabela 4.3</b> - Soluções existente e recomendadas.....	38
<b>Tabela 4.4</b> - Definição dos perfis para comparação de soluções [27] .....	38
<b>Tabela 4.5</b> - Comparação das características dos Sistemas de Controlo [17] .....	41
<b>Tabela 5.1</b> - Tabela usada para seleção da classe de iluminação do parque [3].....	46
<b>Tabela 5.2</b> - Zonas projetadas e dados obtidos no DIALux .....	48
<b>Tabela 5.3</b> - Comparação de soluções .....	53
<b>Tabela 5.4</b> - Potência por equipamento a 100% e com regulação de fluxo.....	57
<b>Tabela 5.5</b> - Comparação entre a solução existente e a solução com <i>dimming</i> .....	58
<b>Tabela A.1</b> - Poupanças alcançadas com o programa “Eficiência Energética do Estado” no PNAEE 2016 (execução até 2013) [1] .....	67
<b>Tabela A.2</b> - Impacto da medida “Iluminação Pública Eficiente” no PNAEE 2016 (execução até 2013) [1].....	67
<b>Tabela A.3</b> - Classes P [3] .....	67
<b>Tabela A.4</b> - Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada (FMLL) [3].....	68
<b>Tabela A.5</b> - Fator de Sobrevivência da Lâmpada (FSL) [3] .....	68
<b>Tabela A.6</b> - Fator de Manutenção da Luminária (FML) [3] .....	68
<b>Tabela A.7</b> - Custos de equipamento no caso de estudo 1 .....	69
<b>Tabela A.8</b> - Custos por solução no caso de estudo 1 .....	69
<b>Tabela A.9</b> - Contribuição para a emissão de CO <sub>2</sub> no caso de estudo 1.....	69
<b>Tabela A.10</b> - Custos no caso de estudo 2.....	69
<b>Tabela A.11</b> - Contribuição para a emissão de CO <sub>2</sub> no caso de estudo 2.....	69



## Lista de Acrónimos

BT	Baixa Tensão
CFL	Lâmpada Fluorescente Compacta
DREEIP	Documento de Referência à Eficiência Energética na Iluminação Pública
ENE	Estratégia Nacional para a Energia
FM	Fator de Manutenção
HID	Lâmpadas de Alta Intensidade de Descarga
HPM	Vapor de Mercúrio de Alta Pressão
HPS	Vapor de Sódio de Alta Pressão
IP	Iluminação Pública
IRC	Índice de Reprodução de Cor
IV	Infravermelho
LED	Díodo Emissor de Luz
LPS	Vapor de Sódio de Baixa Pressão
MH	Iodetos Metálicos
PNAEE	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
PT	Posto de Transformação
UE	União Europeia
UV	Ultravioleta



# 1. Introdução

## 1.1 Enquadramento e Motivação

A visão é, dos cinco sentidos, o que nos dá mais informação sobre o ambiente que nos rodeia, cerca de 80%. Sem esse sentido, estamos privados de boa parte das nossas capacidades de percepção e interação com o que nos rodeia.

Assim, desde há vários séculos o Homem tem procurado formas de ter iluminação durante a noite e em espaços escuros, como grutas, caves e túneis. Várias tecnologias foram sendo desenvolvidas, desde a tocha, passando pelos candeeiros a gás até à atual iluminação elétrica.

Nos últimos séculos a iluminação pública foi-se expandindo, dando mais qualidade de vida à população e possibilitando outro tipo de vida noturna. Outros temas que são frequentemente relacionadas com a iluminação pública são o índice de criminalidade, o crescimento do comércio e do turismo, o realce da arquitetura das cidades e a segurança rodoviária.

Em Portugal, a Iluminação Pública (IP) é responsável por 3% do consumo energético. No entanto, tem-se verificado nos últimos anos uma tendência de aumento da rede de IP (cerca de 4 a 5% por ano), o que implica um conjunto de medidas direccionadas ao aumento da eficiência energética no parque de IP. [1]

Este elevado consumo de energia na IP faz com que esta seja uma parte bastante significativa das despesas dos municípios. Por outro lado também tem havido uma preocupação de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>, sendo a “Estratégia 20-20-20” [2] da União Europeia a sua grande impulsionadora. Deste modo nos últimos anos tem-se procurado implementar medidas que levem a uma maior eficiência energética, sendo isto possível através de novas tecnologias de iluminação, como luminárias LED e/ou sistemas de controlo e gestão de IP.

Em Portugal foi editado o Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública (DREEIP) [3], que embora não sendo legislação a aplicar na IP, “tem como objectivo estabelecer, como referência, uma série de parâmetros técnicos que deve seguir um projecto de IP de modo a se obter uma maior eficiência energética desta tipologia de instalações e, conseqüentemente, conduzir a uma diminuição das emissões de CO<sub>2</sub> durante o período de utilização das mesmas.”

Por esta razão muitas Camâras Municipais estão a fazer intervenções nas suas redes de IP, sendo apoiadas pela Estratégia Nacional para a Energia 2020 [4]. Esta dissertação foi elaborada,

pretendendo estudar as soluções e tecnologias existentes e projetar soluções, de forma a obter uma melhor eficiência energética e redução da despesa com IP.

## **1.2 Objetivos**

Os objetivos desta dissertação consistem em explorar a possibilidade de instalação de novas tecnologias na IP para melhorar a eficiência energética. Serão apresentados casos de estudo, de forma a quantificar possíveis poupanças energéticas e financeiras, ao mesmo tempo que contribuem para a redução da emissão de gases de efeito de estufa, tal como exigido na Estratégia 20-20-20 para 2020.

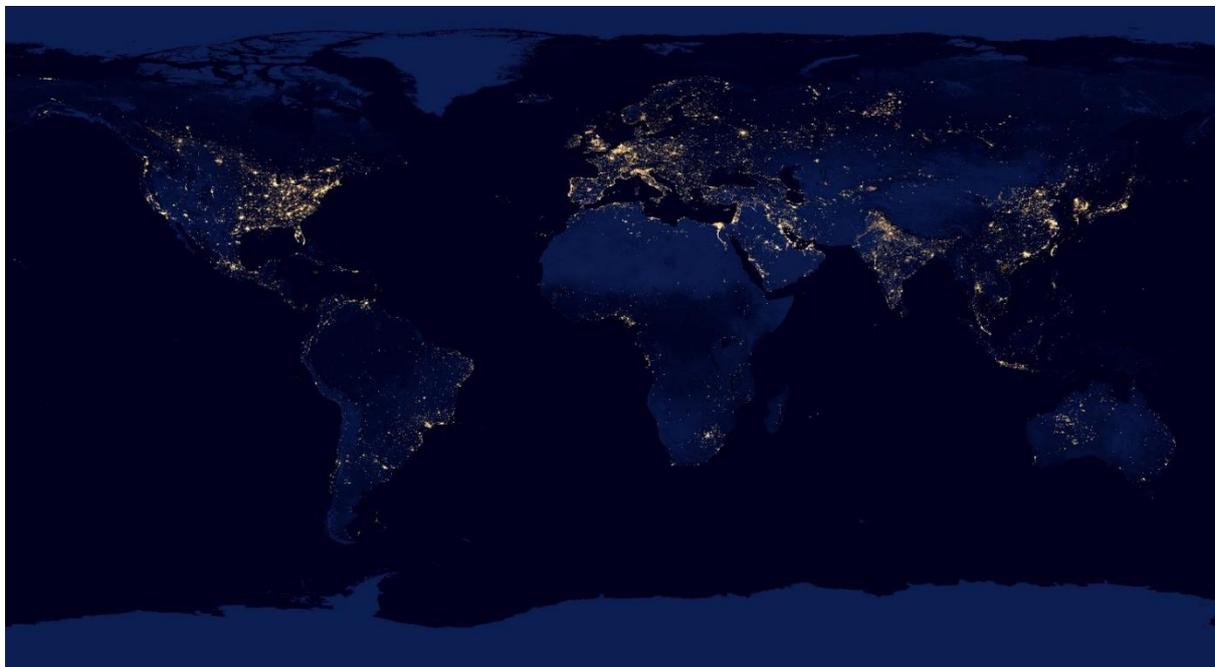
## **1.3 Estruturação**

A dissertação apresentada divide-se em 6 capítulos: o primeiro introduz o tema e apresenta os objetivos a alcançar; o segundo aborda a IP em geral, analisa programas para melhoria da eficiência energética e evolução dos consumos e preços da IP em Portugal; no terceiro são apresentadas os equipamentos normalmente usados na iluminação, abordando também as novas tecnologias das luminárias LED; o quarto aborda métodos possíveis para a eficiência energética, tal como os novos sistemas de controlo e gestão de IP, e um caso com dados concretos, comparando segurança e poupança; no quinto capítulo são apresentados os dois estudos de caso; por fim, no sexto, são apresentadas as conclusões.

## 2. Iluminação Pública e Programas para a Eficiência Energética

### 2.1 Introdução

A partir do fim do século XIX e, principalmente, no século XX a eletricidade foi-se expandindo por todo o mundo, podendo-se fazer uma analogia entre a qualidade de vida das populações com a sua expansão. Na figura 2.1 pode-se observar que as zonas mais iluminadas no nosso planeta correspondem às zonas mais desenvolvidas e ricas, como a Europa, América do Norte e a zona sudeste da Ásia. Esta iluminação à noite deve-se em grande parte à iluminação pública, mas também em parte à iluminação de painéis publicitários e à própria poluição luminosa originada pelos edifícios.



**Figura 2.1** – Vista noturna do planeta Terra – 18/04/2012 [34]

Observando mais em pormenor o nosso país, na figura 2.2, pode-se também constatar que as principais zonas iluminadas correspondem às zonas metropolitanas e onde há maior densidade populacional, como seria previsível.



**Figura 2.2** – Península Ibérica à noite a 26/07/2015 [35]

Este elevado crescimento do consumo de eletricidade fez disparar os níveis de poluição atmosférica, chegando a um ponto de graves prejuízos para o planeta e para a saúde das populações. Assim, várias medidas têm sido tomadas de maneira a tentar reduzir essas emissões, nomeadamente de gases de efeitos de estufa (CO<sub>2</sub>). Na União Europeia (UE) uma das principais medidas foi a “Estratégia Europa 2020” [2]. Esse plano, para além de outras metas de carácter social e financeiro, tem como objetivo para as “Alterações climáticas e sustentabilidade energética” reduzir as emissões de gases de efeito de estufa em 20% relativamente aos níveis registados em 1990, obter 20% da energia a partir de fontes renováveis e aumentar em 20% a eficiência energética.

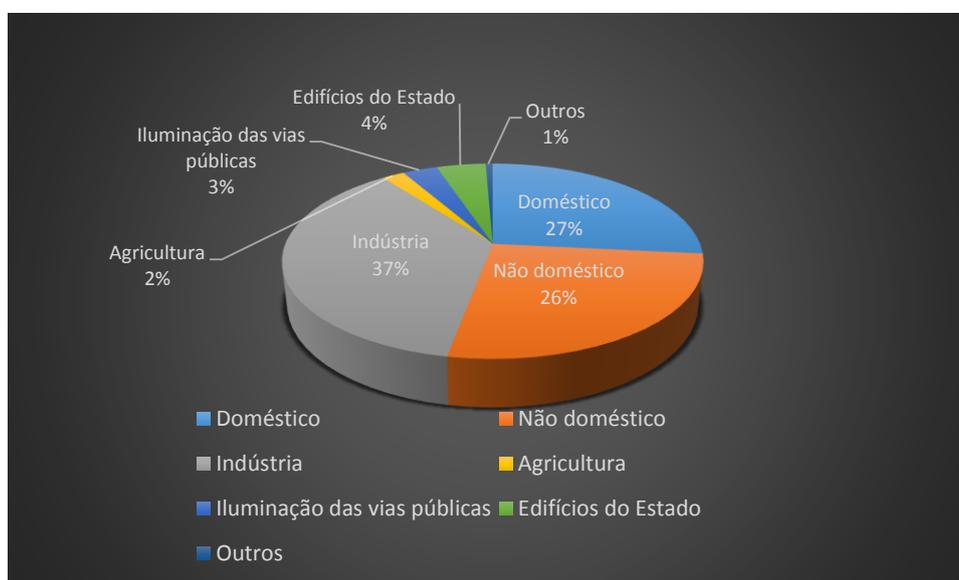
Este plano a nível europeu traduziu-se em vários planos nos diversos países da UE. Em Portugal, têm sido tomadas medidas ao nível governativo no sentido de atingir as metas estipuladas, tal como a ENE 2020, estipulada em Resolução do Conselho de Ministros em 2010, onde no eixo 3 da promoção da eficiência energética, se procura uma otimização dos modelos de iluminação pública [5]. Posteriormente, em 2013, foi aprovado o PNAEE 2016 e feito um diagnóstico da execução do PNAEE 2008-2015 [1]. Ao nível do programa Eficiência Energética do Estado verificou-se que só se se tinha 20% da energia economizada em relação à meta de 2016 e 13% face à meta de 2020, como se pode ver na tabela em anexo, verificando-se que ainda há muito a fazer nesta área de forma a atingir as metas estipuladas. Nesta área de estudo, das medidas

relativas à Iluminação Pública Eficiente, foram aprovadas em particular, as medidas: Instalação de reguladores de fluxo (E8M8), *Phase-out* de lâmpadas de vapor de mercúrio (E8M11) e Sistemas de controlo de tráfego (tecnologia LED nos semáforos) (E8M13).

## 2.2 Panorama atual e evolução da IP em Portugal

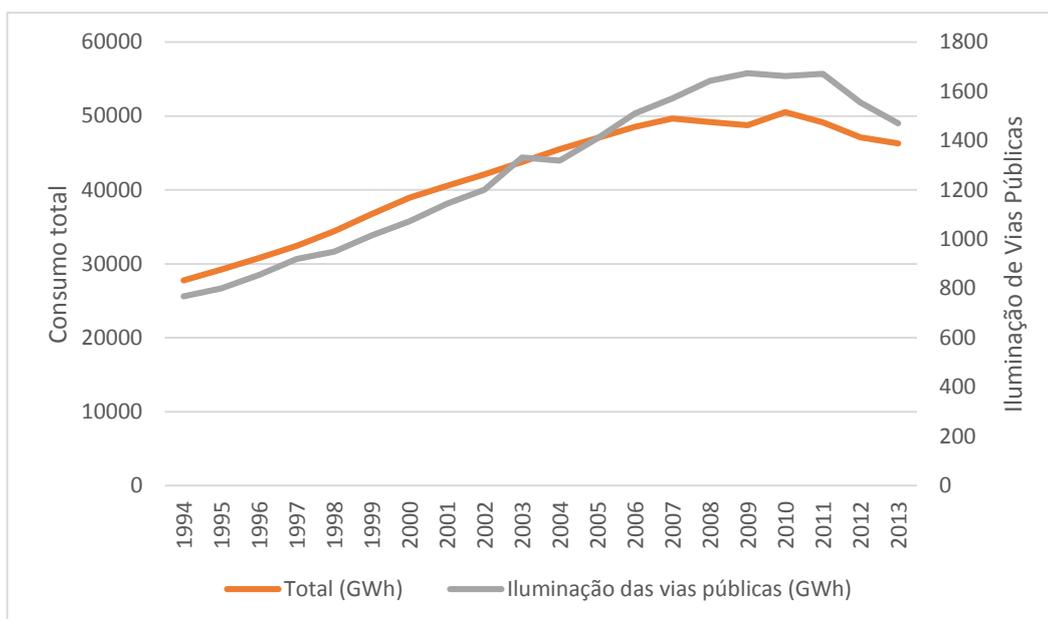
Em Portugal, nas últimas décadas, deram-se grandes alterações ao nível do consumo, da instalação de IP e dos preços de eletricidade. Neste subcapítulo pretende-se demonstrar estas mudanças de paradigma.

Na figura 2.3 pode-se observar a distribuição do consumo de energia elétrica em 2013 por sector de atividade em Portugal. Pode-se constatar que na IP se consome cerca de 3% de toda a energia consumida no país, o que é uma fatia significativa.



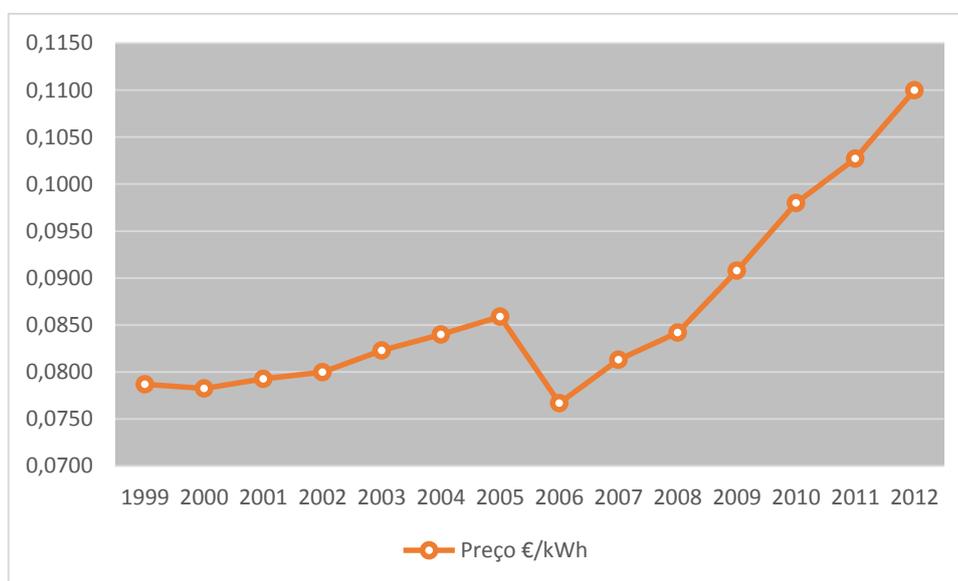
**Figura 2.3** - Repartição do consumo de energia elétrica em Portugal em 2013 [6]

O consumo de energia elétrica está diretamente relacionado com o aumento de qualidade de vida da população. Na figura 2.4, apresenta-se um gráfico onde se tem a evolução do consumo de energia elétrica em Portugal entre 1994 e 2013, observando-se um crescimento próximo entre o consumo na IP e o consumo total. A partir de 2007 observa-se uma estagnação, com ligeira queda do consumo de energia elétrica, proporcionado pela crise financeira, o que não foi seguido pelo consumo de energia na IP. Este facto deve-se à constante expansão do número de circuitos de IP. Só a partir de 2011 se dá uma efetiva queda do consumo na IP, conseguido através das medidas implementadas no PNAEE 2008-2015 e pelo facto de muitos municípios terem começado a desligar luminárias ou circuitos durante uma parte da noite de forma a diminuir custos.



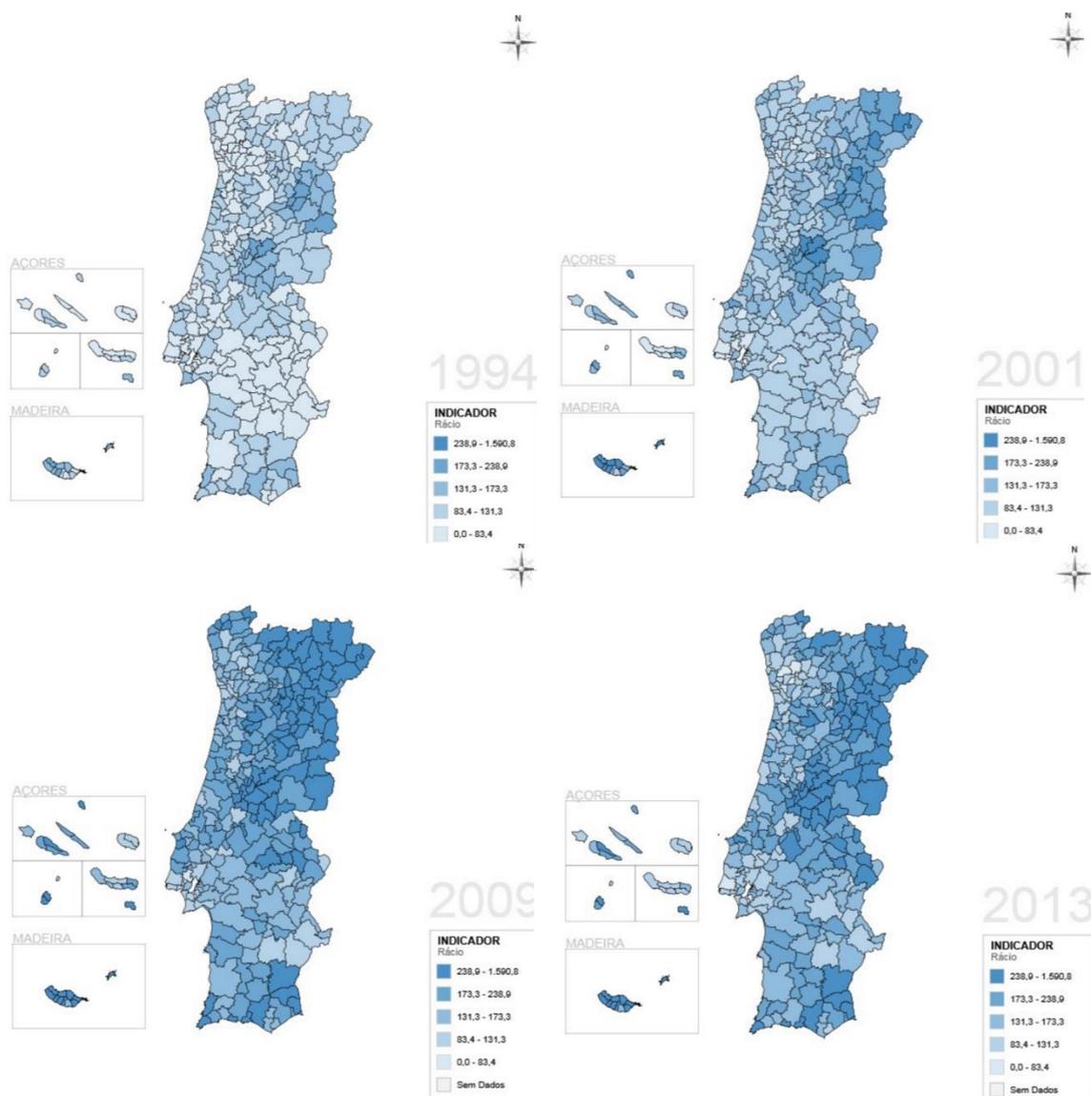
**Figura 2.4** - Consumo de energia elétrica vs Iluminação de Vias Públicas [6]

Ao nível da tarifa de IP, tendo como base o gráfico da figura 2.5, pode-se observar que entre 1999 e 2007, apesar de haver oscilações, o preço da tarifa por kWh se manteve próximo, sendo que a partir de 2008 se deu uma elevada inflação da tarifa de IP até 2012. A partir de 1 de Janeiro de 2013, na sequência do previsto nos Regulamentos Tarifário e das Relações Comerciais, a tarifa de IP foi extinta, sendo aplicada a opção tarifária mais favorável aos clientes, neste caso os municípios [7].



**Figura 2.5** - Evolução da tarifa de IP [36]

Outro parâmetro que convém destacar é o consumo *per capita*. Este indicador é muito importante, pois boa parte da receita das câmaras municipais é diretamente proporcional ao nº de habitantes e não à sua área. Assim, municípios com uma densidade populacional menor têm tendência a ter circuitos de iluminação mais extensos, logo terão um maior consumo por habitante. Com a figura 2.6 pretende-se exatamente demonstrar isso. Assim, pode-se observar a evolução do consumo por habitante (em kWh) entre 1994 até 2013, constatando-se que as zonas interiores do país, as menos densamente povoadas, sejam onde se tem um rácio kWh por habitante gasto em IP maior. Em alguns casos mais de 50% das despesas dos municípios em energia são com IP. [8]



**Figura 2.6** - Consumo de energia em IP por município *per capita* [6]

## 2.3 Contratos e Concessões

A distribuição de energia elétrica em Baixa Tensão é da responsabilidade de cada um dos municípios, sendo que estes podem fazer a distribuição em regime de exploração direta ou em regime de concessão. Caso seja efetuada em regime de exploração direta, fica a cargo dos municípios toda a gestão da rede. Caso pretendam que seja em regime de concessão, são celebrados contratos de concessão entre os municípios e um operador de rede, como por exemplo a EDP Distribuição, criados nos termos definidos por lei. Esses contratos de concessão têm, normalmente, um período de validade correspondente a 20 anos, sendo possível renová-los [9].

A IP está inserida dentro da distribuição de energia elétrica em BT, seguindo todas as regras definidas por decreto de lei ao nível das concessões. Assim, analisando o que interessa para este trabalho, tem-se:

- A gestão da IP é da inteira responsabilidade da Câmara no que respeita a níveis e horários de iluminação e ao tipo e número de aparelhos de iluminação e lâmpadas em serviço.
- O concessionário obriga-se a implementar o sistema de comando de iluminação pública que for acordado com a Câmara, bem como a mantê-lo atualizado e em bom estado de funcionamento, garantindo a necessária assistência à rede de iluminação pública, salvo se outra solução for acordada. [10]
- Ao nível da conservação das instalações de IP também compete ao concessionário a manutenção das instalações de IP e respetivos aparelhos e equipamentos, desde que sejam do tipo corrente, sendo que se a Câmara optar por material não padronizado, os encargos ficarão todos ao seu encargo. [10]

Analisando a Portaria 454/2001, observa-se que a lei é omissa, de acordo com os novos sistemas de controlo e possível manutenção, não obrigando os concessionários a fazer a sua gestão adequada, ficando isso ao encargo das Câmaras Municipais, sendo que boa parte destas não têm recursos (técnicos e financeiros) para uma adequada gestão da IP.

## **2.4 Conclusão**

Atualmente a necessidade de diminuir o consumo de energia elétrica é por demais evidente. Foram estabelecidas metas pela UE no que diz respeito à eficiência energética e redução da emissão dos gases de efeito de estufa. Assim, têm vindo a surgir programas de financiamento de modo a obter as metas estipuladas, estando a IP incluída nesses programas.

Em Portugal, o consumo de energia elétrica na IP teve um considerável aumento nas últimas duas décadas, sendo necessário intervir, de modo a conseguir reduzir consumos.

Relativamente ao preço da tarifa de IP, esta quase que duplicou entre 2006 e 2012, fazendo com que a fatura a pagar pelas Câmaras Municipais seja cada vez maior.

Assim, juntando a elevada fatura energética paga pelos municípios aos programas de apoio à eficiência energética com as novas tecnologias que estão a surgir no mercado e que serão abordadas neste trabalho, têm vindo a ser projetadas e implementadas soluções de IP mais eficientes de modo a cumprir as metas estipuladas pela UE e diminuir custos.

Ao nível da gestão da IP ainda existem muitas barreiras a dificultar uma gestão mais eficiente, tal como as concessões. Em geral uma Câmara Municipal não tem técnicos qualificados com conhecimentos para as questões da rede, limitando-se, muitas vezes, a pagar as faturas e analisá-las do ponto de vista financeiro, levando a que se comecem a desligar por vezes circuitos de iluminação ou luminárias, o que não garante uma iluminação adequada.

Do ponto de vista dos concessionários também não existe um interesse muito forte na eficiência energética da IP, pois estes simplesmente têm de fazer uma manutenção técnica aos circuitos, sendo a gestão destes da responsabilidade dos municípios.

Posto isto era importante surgir algum tipo de legislação, ou uma entidade a nível nacional, ou regional, que tomasse conta da gestão da IP de modo a torna-la o mais eficiente possível.



### 3. Luminárias

Uma luminária tem como função a distribuição da luz emitida por uma ou mais lâmpadas, devendo incluir todos os elementos necessários para a fixação e proteção das lâmpadas e para a sua ligação ao circuito de alimentação. Assim uma luminária é constituída por lâmpadas, balastos, refletores, arrancadores, difusores, etc. Neste capítulo serão abordados alguns desses constituintes, dando maior ênfase às lâmpadas, visto serem os principais constituintes de uma luminária, e que mais afeta a eficiência energética da luminária. Também serão abordadas as luminárias LED, onde o foco será nos componentes eletrônicos.

#### 3.1 Introdução

O DREEIP [3] tem definido os principais conceitos luminotécnicos e eletrotécnicos usados nas luminárias, não se fazendo aqui uma descrição exaustiva de todos estes por uma questão de espaço.

Ao nível das luminárias pode-se distinguir luminárias decorativas e funcionais, sendo que as decorativas não seguem as mesmas regras das funcionais, tanto ao nível de eficiência luminosa como eficiência energética. Neste trabalho ter-se-á sempre em foco iluminação pública funcional. Nas figuras 3.1 e 3.2 tem-se exemplos de luminárias funcionais e decorativas.



**Figura 3.1** - Exemplos de luminárias utilizadas em IP funcional



**Figura 3.2** - Luminárias utilizadas em iluminação decorativa

## 3.2 Lâmpadas

Desde as lâmpadas incandescentes até aos LEDs, vários tipos de lâmpadas foram sendo desenvolvidas para uso nos sistemas de iluminação, melhorando a sua eficiência e outras características luminotécnicas. Neste ponto será feito uma análise dos diversos tipos de lâmpadas usadas na IP em Portugal.

### 3.2.1 Conceitos luminotécnicos

Os tipos de lâmpadas usados atualmente são numerosos e podem ser usados para diversos tipos de aplicação. No entanto cada tipo de lâmpadas possui características diferentes que devem ser tidas em conta para a sua escolha. As principais características luminotécnicas de uma lâmpada são: índice de reprodução de cor, fluxo luminoso, rendimento luminoso, luminância, iluminância tempo de vida, fator de manutenção e temperatura de cor.

O **índice de reprodução de cor (IRC)** é a capacidade de reprodução cromática do objeto 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 [3].

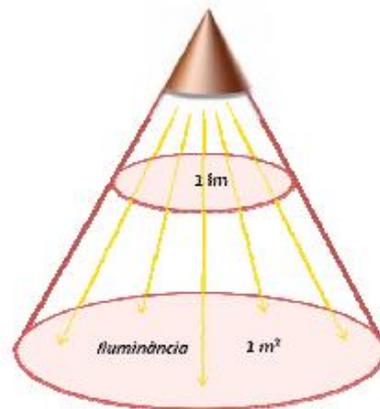
O IRC varia entre 0 e 100, sendo 100 o valor que corresponde à máxima fidelidade em relação às cores originais, correspondendo o 0 a nenhuma fidelidade. Quanto maior o IRC, melhor o equilíbrio entre a aparência das cores. Quanto maior a diferença na aparência de cor do objeto iluminado em relação ao padrão, menor será o seu IRC.

O **fluxo luminoso ( $\Phi$ )** é a quantidade de luz emitida em todas as direções por uma fonte de luz. A unidade é o lúmen (lm). [3]

O **rendimento luminoso ( $\epsilon$ )** de uma fonte de luz é a relação entre o fluxo luminoso emitido pela mesma e a unidade de potência elétrica consumida para o obter. A unidade é lm/W. [3]

A **luminância (L)** é uma medida da densidade da intensidade da luz refletida numa dada direção, que descreve a quantidade de luz que atravessa ou é emitida de uma superfície, segundo um ângulo sólido. Tem como unidade SI a candela por metro quadrado ( $\text{cd/m}^2$ ), igualmente conhecida por nit (nt). [3]

A **iluminância (E)** tem como unidade o lux (lx) e, segundo a norma EN 12665, é o quociente entre o fluxo luminoso incidente num elemento da superfície e a área desse elemento. [3]



**Figura 3.3** - Iluminância [3]

Existem quatro medidas de iluminância possíveis:

- **Horizontal (E<sub>h</sub>)**, vulgarmente designada apenas por Iluminância (E).
- **Vertical (E<sub>v</sub>)**.
- **Semi-cilíndrica (E<sub>sc</sub>)**.
- **Hemisférica (E<sub>hem</sub>)**.

A **iluminância média (E<sub>med</sub>)** é a média aritmética de todos os pontos de iluminância calculados sobre a superfície da vida. A unidade é o lux. [3]

A **iluminância mínima (E<sub>min</sub>)** é o valor mínimo de iluminância calculado sobre a superfície da via. A unidade é o lux. [3]

O **tempo de vida** é o tempo de funcionamento esperado numa lâmpada, em horas. Para se obter são efetuados testes, sendo este o número de horas resultantes em que 50% das lâmpadas ensaiadas ainda permanecem acesas. A unidade é horas (h).

O **fator de manutenção (FM)** de uma instalação é o rácio entre a iluminância num determinado momento (E(t)), com a iluminância inicial (E(0)).

O valor do fator de manutenção poderá afetar significativamente a potência da fonte de luz a instalar, bem como o número de luminárias iluminância/luminância especificados. [3] Pode ser calculado da seguinte forma:

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

Sendo:

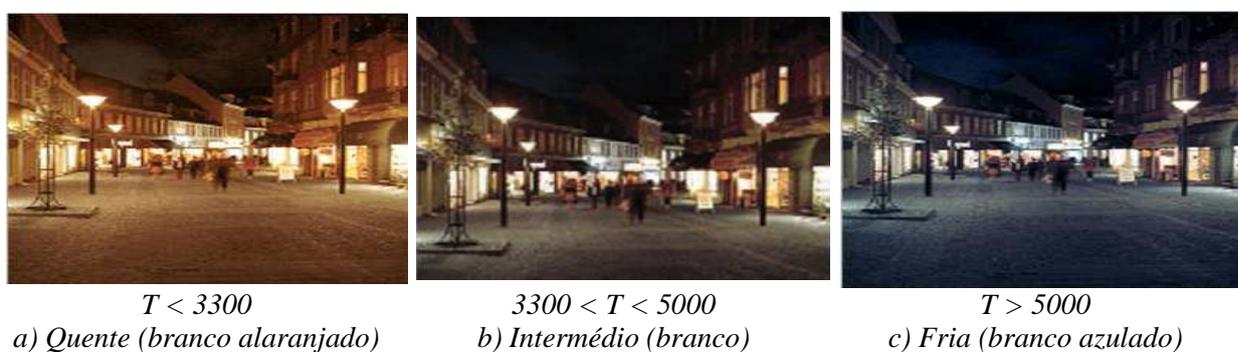
- FMLL – Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada,
- FSL – Fator de Sobrevivência da Lâmpada,

- FML – Fator de manutenção da Luminária.

A **temperatura de cor (K)** é uma característica da luz visível, determinada pela comparação da sua saturação cromática com a de um corpo negro radiante ideal, ou seja, é a temperatura a que um corpo negro irradiaria a mesma cor da fonte luminosa (usualmente medida em Kelvin – K).

O conceito de luz quente ou fria relaciona-se com a tonalidade de cor que a fonte de luz apresenta ao ambiente. Quanto mais alta a temperatura de cor, mais clara é a tonalidade de cor da luz.

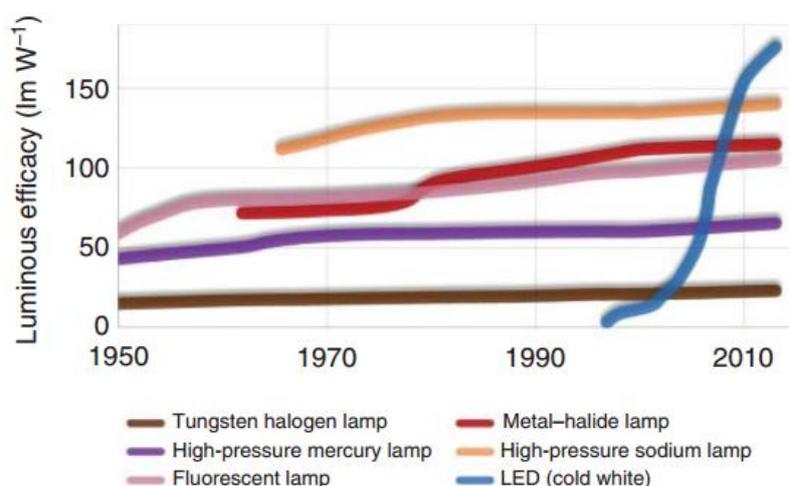
As fontes luminosas podem variar entre 2000 K até mais de 10000 K. Do ponto de vista técnico a tonalidade da luz que irradia uma fonte de luz conhece-se pela sua temperatura de cor [3]. Na figura 3.4 tem-se uma comparação de três diferentes temperaturas de cor.



**Figura 3.4** - Temperatura de cor

### 3.2.2 Comparação entre os diversos tipos de lâmpadas usados em IP

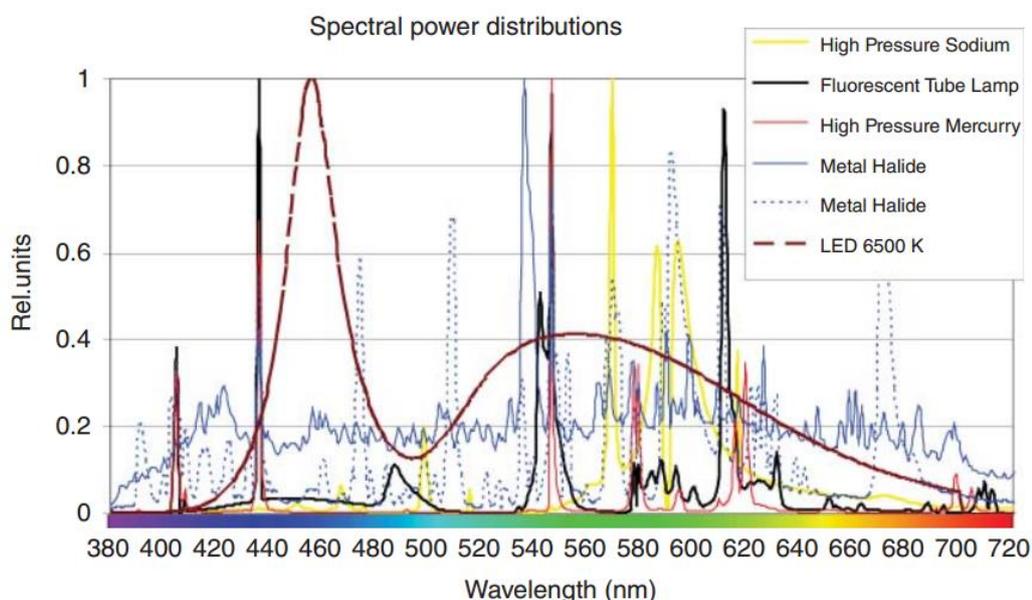
Ao longo das últimas décadas a evolução das lâmpadas ao nível do rendimento luminoso foi enorme. Na figura 3.5 pode-se observar essa evolução.



**Figura 3.5** - Evolução do rendimento luminoso em diversos tipos de lâmpadas [14]

Ao nível do espectro de radiação os diversos tipos de lâmpadas também têm distintos espectros, sendo por isso que as diversas lâmpadas normalmente têm uma cor associada a cada uma. Observando a distribuição da radiação espectral dos diversos tipos de lâmpadas, na figura 3.6, pode-se constatar que:

- As lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão têm a maior parte da emissão entre 560 e 660 nm (amarelo-vermelho), sendo por isso que caracteristicamente têm uma cor “amarelo-alaranjada”.
- As lâmpadas de vapor de mercúrio têm um pico de emissão nos 435 nm.
- O LED frio (6500 K) normalmente tem um máximo entre 450 e 460 nm e um segundo por volta dos 560 nm, permitindo por isso obter duas cores diferentes de emissão de luz.



**Figura 3.6** - Distribuição da radiação espectral típica das diversas lâmpadas usadas em IP [14]

Na tabela 3.1, em baixo, são comparadas os tipos de lâmpadas usados em Portugal na IP, de acordo com os parâmetros ditos anteriormente.

Observa-se claramente que as lâmpadas que apresentam um rendimento superior são as de Vapor de Sódio e as LED. As LED, comparativamente com os outros tipos de lâmpadas, apresentam boas características em todos os parâmetros comparados, sendo o único problema o seu maior custo inicial.

**Tabela 3.1** - Características das lâmpadas usadas em IP [11]

Tipo de Lâmpada	Tempo de vida (horas)	Rendimento luminoso (lm/W)	Temperatura de cor (K)	IRC	Tempo de ignição	Observações
Vapor de Mercúrio	12000 – 24000	13 – 48	4000K	15 – 55	Até 15 minutos	Muito ineficiente, radiação ultravioleta, contém mercúrio
Iodetos Metálicos	10000 – 15000	60 – 100	3000K – 4300K	80	Até 15 minutos	Radiação UV de alta manutenção, contém mercúrio e chumbo, risco de explosão no final da vida
Vapor de Sódio de Alta Pressão	12000 – 36000	45 – 130	2000K	25	Até 15 minutos	IRC baixo com luz amarela, contém mercúrio e chumbo
Vapor de Sódio de Baixa Pressão	10000 – 18000	80 – 180	1800K	0	Até 15 minutos	IRC baixo com luz amarela, contém mercúrio e chumbo
LED	50000 – 100000	70 – 150	3200K – 6500K	85 – 90	Instantâneo	Custo inicial relativamente mais caro

Na figura 3.7 pode-se comparar os diversos tipos de lâmpadas.



**Figura 3.7** - Tipos de lâmpadas usadas em IP

### 3.2.3 Lâmpadas convencionais

Seguidamente apresenta-se uma breve descrição dos 4 tipos de lâmpadas convencionais usados na IP em Portugal, sendo conhecidas como lâmpadas de alta intensidade de descarga (HID).

### **3.2.3.1 Lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão (HPM)**

Este tipo de lâmpada tem como princípio de funcionamento a descarga entre dois elétrodos, localizados no interior de um tubo no qual existe uma mistura de mercúrio, sob alta pressão, e árgon. Durante o processo de aquecimento, o mercúrio vaporiza-se gradualmente, sendo emitida uma luz de fraca intensidade. Alguns modelos têm também uma camada de pó fluorescente, com o intuito de produzir radiação vermelha na parte interior do invólucro, cujo objetivo é transformar parte da radiação UV emitida em luz visível. Esta prática constitui uma melhoria significativa no aspeto da luz emitida, mas não se traduz numa melhoria expressiva do rendimento luminoso, nem do IRC. Existem também lâmpadas de luz mista em que o tubo de descarga com o mercúrio se encontra ligado a um filamento de lâmpada incandescente, como forma de melhoramento do espectro luminoso. No entanto, para evitar a redução drástica da vida útil da lâmpada, é necessário reduzir a temperatura de funcionamento do filamento, o que leva, inerentemente, a uma redução do rendimento luminoso.

Neste tipo de lâmpadas apenas 15% da energia é convertida em radiação visível, sendo os restantes 85% transformados em perdas por convecção e condução e em radiação Infravermelha (IV) e ultravioleta (UV).

Como equipamentos auxiliares são necessários o balastro e o condensador. [12]

Em Portugal, com as medidas aplicadas pelo PNAEE, esperava-se que até ao final de 2015 já não existam destas lâmpadas em termos de iluminação pública [1].

### **3.2.3.2 Lâmpadas de vapor sódio de baixa pressão (LPS)**

As lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão têm como princípio de funcionamento a descarga num tubo de vidro especial em forma de U, contendo uma atmosfera composta de néon e árgon, além do sódio, onde se forma o arco elétrico, com um eletrodo em cada extremidade, desenhado para refletir a radiação IV, cujo objetivo é garantir uma temperatura suficientemente elevada para que seja possível a vaporização do sódio, permitindo assim a emissão de luz visível.

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.

Este tipo de lâmpadas possui a capacidade de manter um fluxo luminoso constante ao longo da sua vida útil, aumentando ligeiramente o consumo à medida que se aproxima do fim de vida.

Para o seu funcionamento são necessários o arrancador, o balastro e condensador como equipamentos auxiliares. [12]

### **3.2.3.3 Lâmpadas de vapor sódio de alta pressão (HPS)**

Neste tipo de lâmpada, uma pequena quantidade de sódio misturada com mercúrio é colocada numa cápsula de vidro contendo xénon no seu interior. 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. Quanto maior for a potência da lâmpada, maior será a temperatura no seu interior e quanto maior for a temperatura, maior será a pressão do vapor e menor a resistência elétrica da lâmpada.

Este tipo de lâmpada emite radiação em grande parte do espectro visível, cerca de 30%, e muito pouca radiação na região dos UV.

Tal como as lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão, necessitam de balastro, arrancador e condensador como equipamentos auxiliares. [12]

### **3.2.3.4 Lâmpadas de iodetos metálicos (MH)**

Este tipo de lâmpada tem, essencialmente, a mesma constituição que as lâmpadas de vapor de mercúrio, diferindo 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, respetivamente.

Este tipo de lâmpada possui um elevado rendimento luminoso, apesar de inferior aos das lâmpadas de vapor de sódio, e apresenta uma excelente restituição cromática. A luz emitida é clara, semelhante à luz do dia. [12]

## **3.3 Equipamentos auxiliares**

### **3.3.1 Balastros**

Os balastros são equipamentos necessários para o funcionamento de lâmpadas de descarga (todas as lâmpadas convencionais descritas neste trabalho). Servem para limitar a corrente e adequar as tensões para o perfeito funcionamento das lâmpadas. Estes dispositivos podem ser magnéticos ou eletrónicos.

Os **balastos eletromagnéticos** são tipicamente constituídos por uma bobina enrolada num núcleo ferromagnético, sendo portanto um circuito indutivo.



**Figura 3.8** - Balastro magnético para lâmpadas de vapor de mercúrio

Os **balastos eletrônicos** são geralmente mais eficientes que os anteriores e permitem acumular também as funções de arrancador e regulador no fluxo no mesmo dispositivo, dispensando normalmente o uso de condensadores de compensação de fator de potência. São constituídos basicamente por uma fonte comutada. Quando a frequência de comutação é elevada consegue-se anular o efeito estroboscópico e ainda aumentar a eficiência da lâmpada, o que constitui também uma vantagem face aos balastos eletromagnéticos. [13]

Há dois tipos de balastos eletrônicos: o convencional e o regulável. Os reguláveis permitem proporcionar *dimming* às lâmpadas de alta intensidade de descarga, sendo possível serem usados como reguladores de fluxo luminoso.



**Figura 3.9** - Balastro eletrônico

### 3.3.2 Arrancadores

Trata-se de um dispositivo que visa promover o arranque em lâmpadas de descarga. Para tal o arrancador gera impulsos de tensão de valor superior ao valor de tensão de alimentação da lâmpada após o seu arranque. Os impulsos de tensão de valor elevado facilitam o início da descarga no gás. [13]



**Figura 3.10** - Arrancador para lâmpadas de descarga

### 3.3.3 Condensadores

Os circuitos de alimentação de lâmpadas de descarga, quando se utiliza o conjunto arrancador e balastro eletromagnético, tendem a ter um fator de potência fortemente indutivo, pelo que é comum utilizar-se condensadores para gerar energia reativa tendo em vista a correção do fator de potência. [13]



**Figura 3.11** - Condensador para lâmpadas de descarga

## 3.4 Tecnologia LED

### 3.4.1 Introdução

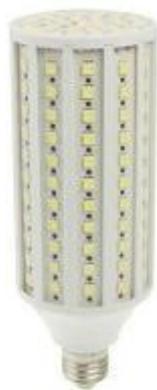
Os LEDs são usados há muito tempo, e com sucesso, nos mais diversos equipamentos eletrônicos. Mais recentemente começaram a ser usados na sinalização viária, estando agora a ser bastante aplicados na IP.

O LED é baseado no díodo semicondutor que, quando polarizado, faz com que os elétrons se recombinem no interior do dispositivo, libertando energia na forma de fótons. A luz é emitida numa banda espectral relativamente estreita e é produzida pelas interações energéticas dos elétrons. Os LEDs de cor branca tem vindo a evoluir rapidamente, quer em potência, quer em restituição cromática, de tal forma que, hoje em dia, já conseguem ser uma boa alternativa à iluminação convencional em todas as suas vertentes.

O fluxo luminoso emitido por um LED depende da temperatura de cor e da densidade de corrente elétrica que o alimenta. Quanto mais corrente o chip semicondutor do LED conseguir administrar, mais fluxo luminoso será emitido. No entanto, a eficiência da transformação da corrente em luz é reduzida, mas melhor comparativamente com as outras tecnologias.

A manutenção do fluxo luminoso é expresso em horas e é definido da forma  $LxBy$ , onde  $x$  representa a percentagem de luz emitida pelo LED, e  $y$  representa a percentagem de LEDs que deixaram de cumprir os critérios mínimos de emissão de luz. Para os LEDs é normal considerar 60000 horas L70B10, isto significa que após 60000 horas de uso a luminária LED vai fornecer 70% do seu fluxo luminoso e que apenas 10% dos LEDs não atingirá esse nível. [12]

O ângulo de abertura das lâmpadas LED também já deixou de ser um problema, já se conseguindo obter ângulos de abertura de  $360^\circ$  como se pode observar na figura 3.12 em baixo.



**Figura 3.12** - Lâmpada LED IP E27 30W com ângulo de abertura de  $360^\circ$  [37]

Ao nível da implementação propriamente dita em IP, convém distinguir os dois métodos distintos possíveis de utilizar LEDs num poste de IP. Alguns fabricantes estão a produzir lâmpadas LED, exemplo da lâmpada da figura 3.12, mas o facto é que, mesmo que uma lâmpada LED se encaixe numa luminária existente, a luz emitida e desempenho não podem ser comparados com os de uma luminária LED. A carcaça de uma luminária LED é projetada especialmente para as necessidades dos LEDs, para maximizar o seu tempo de vida, eficiência e desempenho. Por outro lado “carcaças” tradicionais não oferecem uma condição de funcionamento otimizado, especialmente do ponto de vista do controlo de temperatura. [11]

### 3.4.2 Vantagens e Desvantagens

Esta tecnologia apresenta vantagens em aspetos económicos, de segurança, ecológicos, elétricos e luminosos [8].

Os benefícios são de natureza:

- **Económicos:**
  - Poupança entre 30% a 70%, dependendo da aplicação da lâmpada;
  - Dispensa de utilização de balastro, eliminando as perdas de potência no balastro, correspondente entre 15 a 25% da energia consumida por armadura;
  - Não necessitam de reactância ou arrancador pelo que se reduz ainda mais as perdas de potência;
  - Tempo de vida útil;
  - Manutenção quase nula;
  - 2 anos de garantia.
- **Segurança:**
  - Lâmpada segura, com os índices de proteção correspondentes;
  - Anti explosiva, dado que não gera incandescência por aquecimento de filamentos;
  - Calor emitido inferior a 80°C;
  - Compatibilidade eletromagnética (standard EN55105 e GB17743-199);
  - Elevada resistência a choques e vibrações;
  - Peso reduzido.
- **Elétricos e luminosos:**
  - Acende instantaneamente;
  - Redução de 10% dos harmónicos produzidos;
  - Fator de potência superior a 95%;

- Boa eficiência luminosa e IRC;
  - Adequado para utilização em interiores e exteriores;
  - Admite a possibilidade de regulação de fluxo luminoso;
  - Irradiação de cores intensas com uma enorme eficiência;
  - Funciona em corrente contínua sem necessidade de converter a tensão para 230 V/AC, evita-se o inversor e a perda de potência no mesmo;
  - Possibilidade de criar diferentes tonalidades de luz (verde, azul, amarelo, vermelho – sistema RGB);
  - Possível *dimming* entre 0% e 100% da sua intensidade.
- **Ecológicos:**
    - Baixas emissões de raios UV;
    - Reduzidas emissões de raios na gama IV;
    - Contribuição para a diminuição de emissões de CO<sub>2</sub>, consequência dos seus baixos consumos energéticos;
    - Vantagens ambientais e de gestão de resíduos.

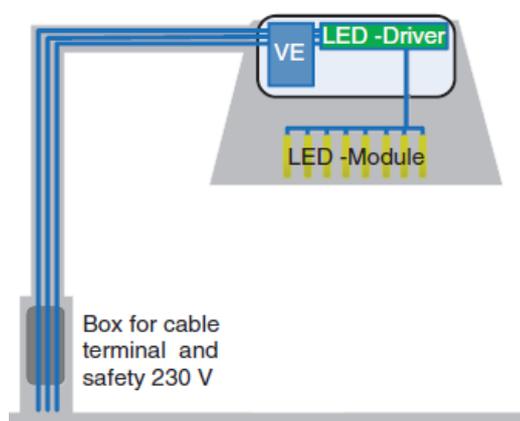
As desvantagens dos LEDs prendem-se principalmente com o preço de compra, sendo de notar que a atual evolução dos novos métodos de fabrico, maior conhecimento e evolução na procura desta tecnologia têm vindo a fazer com que a diferença de preço entre as tecnologias convencionais e os LEDs tenha diminuído. Por outro lado, apesar da forte evolução nos últimos anos, o facto desta tecnologia ainda não estar numa fase de maturação da tecnologia, abre a possibilidade que a tecnologia atual LED dentro de alguns anos fique desatualizada, devendo-se ter alguma precaução quando se pretende fazer substituições em massa de lâmpadas convencionais para lâmpadas ou luminárias LED, devendo-se analisar bem qual o tipo de LED a escolher, pois existem muitos LEDs de fraca qualidade no mercado. [11]

### **3.4.3 Luminárias LED**

Uma luminária LED para utilização em IP é construída de acordo com diversos aspetos técnicos e componentes, tal como componentes mecânicos (dissipador de calor, carcaça, etc), LEDs e componentes elétricos, aspetos luminosos e componentes óticas (lentes, refletores, etc). O exterior da carcaça deve ser uma superfície convexa de forma a evitar ao máximo o depósito de lixo, o que faria com que a dissipação de calor não fosse tão eficaz, prejudicando gravemente a eficácia luminosa e tempo de vida dos LEDs e dos componentes eletrónicos dentro da carcaça. Neste ponto serão focados principalmente os componentes eletrónicos de uma luminária LED.

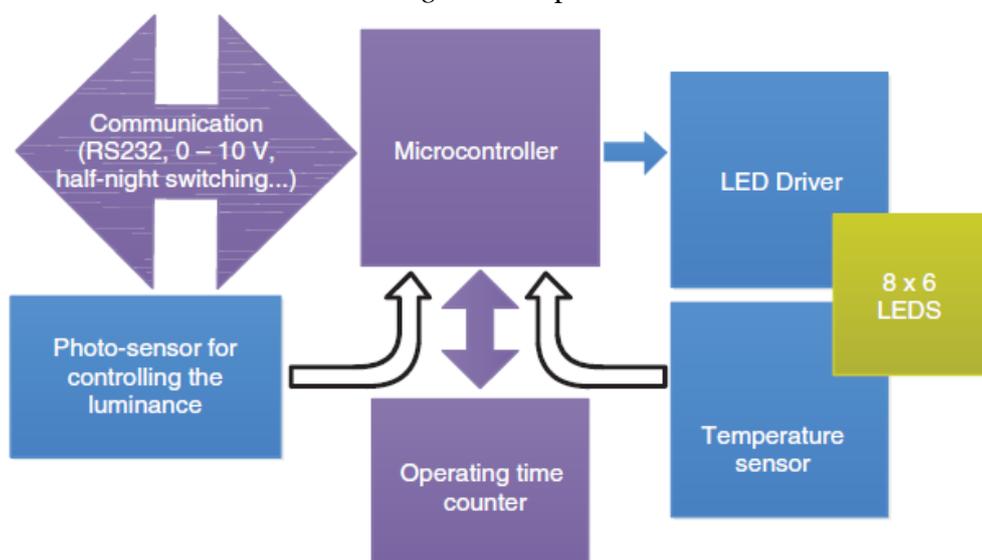
A componente eletrónica contém a fonte de tensão do circuito, a unidade de controlo (por exemplo um microcontrolador), drivers eletrónicos e circuitos impressos com LEDs brancos soldados. Todos estes grupos estão ligados, com a possibilidade de ter sensores opcionais, como sensores de temperatura, sensores de deteção de movimento ou sensores de luminosidade. O microcontrolador supervisiona o funcionamento, regulação e monitoriza toda a luminária.

Na Figura 3.13, apresenta-se um esquema de uma unidade eletrónica de uma luminária LED típica de rua. A tensão 230 V/AC de alimentação (em Portugal) pode ser convertida diretamente no interior de uma caixa no pé do poste para uma tensão contínua (DC) de 12, 24 ou 48 V, sendo essa a melhor solução, o que permite operar em baixa tensão na luminária. A opção alternativa é converter a tensão AC em DC no interior da luminária montada na cabeça do poste.



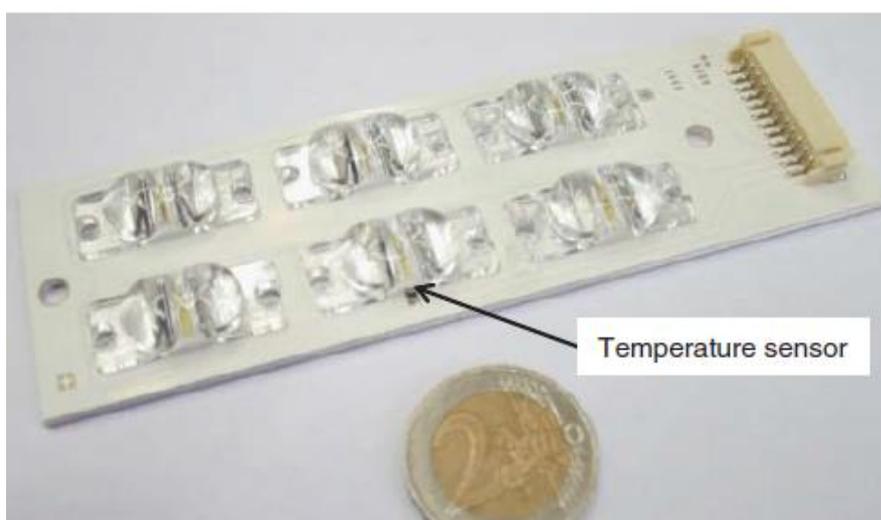
**Figura 3.13** - Estrutura da unidade eletrónica dentro de uma luminária LED [14]

O funcionamento e operação eletrónica de uma luminária LED moderna, apresentada no esquemático da figura 3.14, são caracterizados pelo seguinte: Comunicação e controlo; fornecimento elétrico com ou sem *dimming* dos componentes LED.



**Figura 3.14** - Esquemático de funcionamento eletrónico de uma luminária LED para iluminação exterior [14]

Nas tarefas de comunicação e controlo de diferentes interfaces analógicos e digitais podem ser utilizados: RS232, uma tensão analógica ente 1 e 10 V, uma linha de alimentação ou um interface DALI e um circuito para a ativação do *dimming* durante a noite. Com estes interfaces, o nível da iluminação de rua, a distribuição da intensidade luminosa ou, opcionalmente, (futuramente), a distribuição espectral das fontes de luz da luminária LED, podem ser alterados dependendo da frequência de tráfego, o tempo (chuva, nevoeiro, de neve) e com o evoluir da noite. A curto prazo será possível ter um contador de tempo incorporado, o que permitirá monitorizar e compensar a depreciação do fluxo luminoso devido ao envelhecimento de todos os componentes no interior da luminária. Com um sensor de movimento ou com uma câmara de IV, será possível controlar o nível de iluminação na rua de acordo com o tráfego de pessoas e trânsito, aumentando o fluxo luminoso durante a sua presença para os níveis seguros recomendados e permitindo poupanças na sua ausência na ordem dos 18-20%. Também se pode aumentar a iluminação nas zonas pedestres de modo a prevenir crimes, como assaltos. Através de um sensor de temperatura construído sobre a placa eletrónica dos LEDs, figura 3.15, é possível controlar a temperatura dos LEDs, fazendo com que, ao atingir a temperatura máxima permitida, o controlador possa diminuir a sua corrente ou o ciclo de trabalho do PWM (modulação por largura de pulso), fazendo com que não haja danos. Isto é muito útil durante o Verão, por exemplo no nosso país, pois permite que durante o início da noite, quando as temperaturas do ar e da carcaça da luminária são elevadas, o fluxo luminoso emitido pela luminária seja controlado de modo a não haver danos nos componentes eléctricos, aumentando a corrente nos LEDs e conseqüente fluxo luminoso com o decrescer da temperatura ambiente ao longo da noite.



**Figura 3.15** - Sensor de temperatura numa placa LED [14]

Ao nível do fornecimento eléctrico e *dimming* dos componentes LED, o microcontrolador envia um sinal de controlo que ajusta a corrente e o ciclo de trabalho do PWM. O *dimming* é feito

de forma proporcional para todo o grupo LED, pois devido às baixas tensões dos LEDs (3 V ou menos), vários LEDs podem ser operados através da mesma unidade eletrónica de condução e construídos no mesmo circuito impresso. A vantagem disto é permitir que no caso de um LED avariar apenas um circuito impresso necessita de ser substituído, ficando todos os outros operacionais. O conversor eletrónico converte a tensão 230 V/AC para 24 V ou 48 V/DC e deve resistir a uma sobretensão de 4 kV. [14]

### **3.5 Conclusão**

Existem diversas tecnologias possíveis para uso em iluminação pública. Variando de acordo com o consumo e a luminosidade, devem-se optar por tecnologias mais eficientes e apropriadas aos diversos locais e sua normal utilização.

Ao nível de lâmpadas usadas em IP, atualmente a mais usada em Portugal é a lâmpada de vapor de sódio de alta pressão. Esta apresenta um bom rendimento luminoso e o preço é, comparativamente aos LEDs, acessível, sendo o maior problema o seu IRC. A lâmpada LED é a melhor tecnologia disponível entre as lâmpadas, mas levanta questões sobre a sua implementação ou não pois, ao substituir apenas uma lâmpada convencional por uma lâmpada LED numa carcaça de IP existente, simplesmente se terá uma boa redução de consumo e aumento de IRC, não aproveitando todas as potencialidades da tecnologia LED. É nesse contexto que a utilização de uma luminária LED apresenta várias vantagens, tanto a nível de consumo, como a nível das suas potencialidades, permitindo uma panóplia de funcionamentos muito diversa, como regulação de fluxo automático, através de sensores de movimento, e proteção da própria luminária através de sensores de temperatura. O grande entrave de momento a esta tecnologia, para uma substituição massiva, é ainda não ser uma tecnologia madura, sendo possível que a tecnologia atual fique ultrapassada dentro de poucos anos.

## **4. Métodos de Controlo e Gestão de Iluminação Pública**

A adoção de tecnologias energeticamente eficientes não deve, sob nenhuma hipótese, prejudicar o conforto e a satisfação dos utilizadores. Na sua forma mais simples, um sistema de iluminação eficiente pode ser obtido através da otimização de duas variáveis, o tempo de utilização e a potência instalada. [15]

### **4.1 Introdução**

O número de circuitos de IP têm continuado a crescer, tal como o preço da energia (como apresentado no ponto 2.2 deste trabalho), o que tem levado a elevadas faturas de energia para as autarquias devido à IP. Com a crise económica, o sobre-endividamento de uma grande parte dos municípios e a maior sensibilidade das populações para uma maior eficiência energética na IP, começaram a surgir novos intervenientes, novas tecnologias e variadas soluções, todas prometendo, mais ou menos, poupança de energia e, conseqüentemente, redução de custos. Uma passam por tirar o que existe e colocar novos equipamentos enquanto outras passam por aproveitar o que existe, substituindo um ou mais componentes para uma maior poupança de energia.

Uma das primeiras coisas a fazer ao nível da gestão da IP de um município deve passar pela elaboração do cadastro de IP, ou seja, fazer um levantamento de todos os componentes de IP instalados (nº de circuitos, luminárias, tipo de lâmpadas, consumos, balastos, sensores, etc). Foi com este propósito que o Centro Português de Iluminação (CPI) lançou o Manual de boas Práticas para Cadastro de IP, explicitando as metodologias e modelos de dados (organização, classes de objetos e atributos) que deverão ser contemplados. Apenas com um cadastro da Iluminação Pública de qualidade e integrado será possível tomar medidas de gestão conscientes e conducentes a uma efetiva eficiência energética na Iluminação Pública. [16]

### **4.2 Medidas de Eficiência**

#### **4.2.1 Desligar focos e circuitos de IP**

Uma das medidas implementadas em Portugal nos últimos anos para reduzir custos com a energia na IP tem sido simplesmente desligar luminárias, muitas vezes ficando com uma ligada e uma desligada alternadamente. Outra forma passa por desligar circuitos de iluminação inteiros (ruas, aldeias, etc). Estes métodos apesar de garantirem poupança energética, não podem ser considerados medidas de aumento de eficiência energética mas sim de apenas poupança energética.

Nos postes onde as luminárias estão desligadas propositadamente é comum encontrar um autocolante da EDP distribuição a dizer “foco desligado”, tal como o da figura 4.1.



**Figura 4.1** - Luminária desligada com autocolante da EDP [41]

#### **4.2.2 Substituição de equipamentos por mais eficientes**

A primeira coisa que se pensa quando se quer obter eficiência ao nível de uma luminária de IP é substituir a lâmpada por uma que garanta a mesma luminância, mas tenha uma eficiência energética superior. Isto vem a ser feito nos últimos anos, tendo sido substituídas as lâmpadas de HPM por HPS ou ultimamente começado a instalar-se lâmpadas ou luminárias LED em vez de HID. Isto permite eficiência através da poupança da diferença de energia consumida entre as duas tecnologias.

Outra forma de substituição de equipamentos consiste na substituição de balastos convencionais por balastos eletrónicos, o que permite poupanças consideráveis de energia ao aumentarem a eficiência das lâmpadas em cerca de 20%. Permitem a regulação do fluxo luminoso, que pode ser conseguida através de balastos eletrónicos reguláveis. Outra vantagem importante é o de proporcionarem arranques suaves às lâmpadas aumentando assim a sua vida útil e reduzindo os seus custos de manutenção. A principal desvantagem destes balastos é o seu preço superior.

#### **4.2.3 Manutenção dos sistemas de iluminação**

A operação e manutenção da IP é um enorme desafio devido ao vasto número de componentes inseridos numa rede. Todos os sistemas de iluminação irão deteriorar-se progressivamente a partir do instante inicial de funcionamento, em parte devido à acumulação de poeiras e lixo em todas as superfícies expostas das fontes de luz e/ou das luminárias. Uma manutenção regular é, então, extremamente importante para manter a eficiência de uma instalação, assegurando uma aparência satisfatória e segurança para os utilizadores. [17]

### 4.3 Métodos de Controlo de IP

Existem diversos sistemas de controlo de IP, estando a surgir novas tecnologias de gestão cada vez mais eficientes. Aqui serão abordados os principais usados. Existem os que simplesmente permitem controlar o momento a que se ligam e desligam os circuitos de IP, funcionando num sistema ON/OFF (Sensores crepusculares e Relógios Astronómicos), e os reguláveis (Reguladores de Fluxo e Sistemas de telegestão).

#### 4.3.1 Interruptores crepusculares

Utilizam sensores de luz ambiente, também conhecidos como sensores crepusculares, que permitem o controlo da IP. A célula fotoelétrica existente no interruptor crepuscular reage à mudança de luminosidade, ligando ou desligando a iluminação conforme o nível de luminosidade estipulado, permitindo, desta forma, gerir racionalmente o funcionamento dos circuitos de IP. A colocação da fotocélula poderá ser no PT, enviando o sinal a um conjunto de circuitos de luminárias, ou então poderá ser parte integrante de cada ponto de iluminação individual.



**Figura 4.2** - Interruptores crepusculares da Schneider [38]

#### 4.3.2 Relógios Astronómicos

Os relógios astronómicos são equipamentos que efetuam o cálculo diário, com base em fórmulas astronómicas, do número de horas de sol, da hora a que o sol nasce e se põe, para determinada latitude de qualquer lugar da Terra. A instalação de relógios astronómicos permite aos equipamentos de iluminação pública serem ligados ao pôr-do-sol e desligados com o nascer do sol. Estes equipamentos permitem ser programados de forma a ligarem ou desligarem após o pôr-do-sol ou antes do nascer do sol, respetivamente. Em Portugal, ultimamente, têm sido

programados relógios astronómicos para ligar 15 minutos após o ocaso e desligar 30 minutos antes do amanhecer, conseguindo assim poupança energética.



**Figura 4.3** - Relógio astronómico [39]

### **4.3.3 Reguladores de Fluxo**

São dispositivos que permitem a regulação da intensidade luminosa em períodos de menor necessidade de iluminação. Um regulador de fluxo pode estar integrado num sistema de telegestão complexo, utilizando quer balastros eletrónicos reguláveis para HID, quer drivers com regulação de fluxo para luminárias LED, ou então, de maneira centralizada, num dispositivo à cabeceira do PT.

Um regulador de fluxo à cabeceira do PT controla o fluxo de todas as luminárias de uma rede de IP aí situada. Estes equipamentos devem ser programados de acordo com a época do ano em que se encontram de modo a obter uma adequada regulação de fluxo. Estes equipamentos permitem obter poupanças variadas. Um dos problemas é que caso as lâmpadas de um circuito não sejam todas do mesmo tipo, não se conseguirá ter a melhor poupança possível ou ter-se-á má regulação. Para lâmpadas de HID poder-se-á obter poupanças energéticas até 50%, mas não se deve aplicar uma tensão abaixo do limite imposto pelo fabricante da lâmpada de modo a não afetar o seu funcionamento. [17]

Os reguladores de fluxo, para além de variarem a intensidade luminosa, têm também a função de estabilização da tensão que, para além de aumentar o tempo de vida da lâmpada, reduz os custos de manutenção, assegurando economias diretas no consumo de 5% a 7%, ao fazer a regulação da tensão que excede o seu valor nominal.

Na tabela 4.1 estão referenciadas as poupanças típicas atingidas, de acordo com cada tipo de lâmpada. Convém realçar que estas poupanças são ao nível das lâmpadas, tendo-se uma poupança geral inferior devido às perdas nos balastros, e ao aumento de tensão necessário durante

a regulação de forma a compensar as quedas de tensão na linha, no caso dos armários reguladores de fluxo à cabeceira dos PT, de forma a garantir que todas as lâmpadas no fim da linha acendem [18]. São também apresentados os valores para as lâmpadas fluorescentes compactas (CFL), apesar de estas serem pouco utilizadas na IP em Portugal.

**Tabela 4.1** - Poupança energética com regulação de fluxo por tipo de lâmpada [17]

Tipo de lâmpada	Tensão mínima	Poupança energética
HPM	200 V	26% - 30%
HPS	183 V	45% - 50%
LPS	190 V	35%
CFL	190 V	30% - 45%
MH	183 V	40%

#### 4.3.4 Sistemas de Telegestão

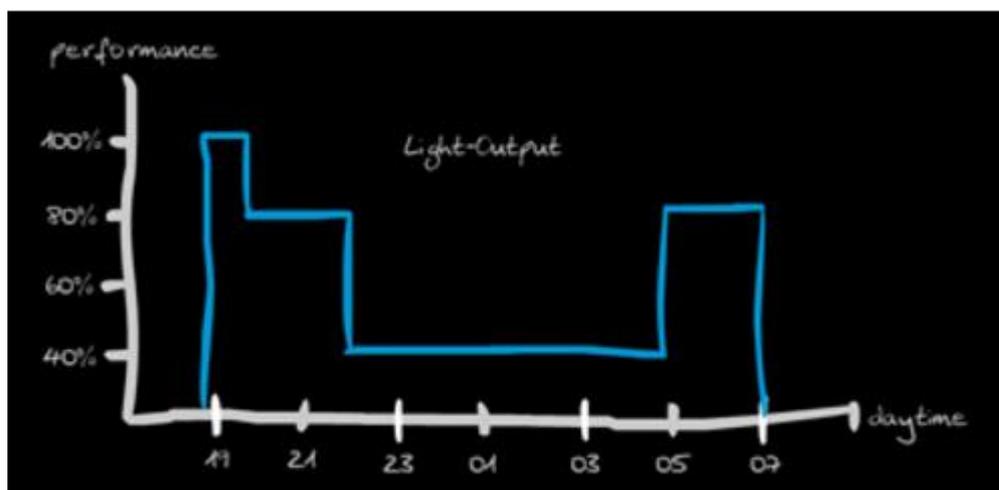
Os sistemas de telegestão são ferramentas usadas para gerir, controlar e monitorizar redes de IP. Estes sistemas de telecomunicações permitem gerir remota e individualmente as luminárias individuais fazendo pleno uso dos seus parâmetros operacionais. Oferecem novas maneiras de lidar com o uso eficiente da energia para IP. Quando combinada com outros componentes específicos, esta tecnologia facilita uma precisa e seletiva variação de intensidade luminosa de cada luminária. Cada luminária recebe individualmente informações de configuração que melhor se adaptem à sua função específica. É possível configurar com precisão a quantidade de luz necessária em quaisquer circunstâncias, controlando a quantidade de energia utilizada. [19]

O uso de LEDs em sistemas de telegestão é fulcral para maximizar o potencial destes sistemas, embora muitos deles funcionem com lâmpadas de HID.

Existem vários sistemas de telegestão desenvolvidos e vendidos por diversas empresas. Por exemplo a Schröder disponibiliza o sistema de telegestão OWLET cujas vantagens incluem a sua natureza *open-source*, transmissão bidirecional e o uso do protocolo ZigBee. Este sistema oferece três fatores de poupança de energia:

- **Fluxo Luminoso Constante** (*Constant Lumen Output - CLO*) que controla com maior precisão o fluxo luminoso ao longo da vida útil da luminária e fornece-lhe apenas a energia necessária (economia de 8-10%);
- **Potência Virtual de Saída** (*Virtual Power Output - VPO*) que permite variar a intensidade luminosa de uma luminária para que esta corresponda às necessidades, sem haver necessidade de ter um sobredimensionamento de iluminação devido às potências das lâmpadas serem definidas pelos fabricantes (economia de até 25%);

- **Saída Seletiva e Dinâmica do Lúmen** (*Selective Dynamic Lumen Output -SDLO*) que permite ajustar a intensidade luminosa em função da densidade de tráfego, fazendo regulação de fluxo, sendo uma forma muito eficaz de poupança de energia e manter segurança (economia de até 40% [20]). [19]



**Figura 4.4** - Exemplo de perfil de regulação de fluxo [19]

Estes sistemas de telegestão, para uma maior eficácia, têm agrupado vários tipos de equipamentos como sensores de luz, sensores de movimento, sensores de velocidade e direção que permitem uma melhor adaptabilidade da iluminação.



**Figura 4.5** - Exemplo de funcionamento de um sistema de telegestão com sensores de movimento e direção [21]

Os sistemas de telegestão, atualmente, podem-se dividir em 3: *Stand-Alone*, Rede Autônoma e Rede interativa.

#### **4.3.4.1 Soluções *Stand-Alone***

Neste tipo de solução cada luminária comporta-se de forma independente, graças à sua própria unidade de controlo. São soluções recomendadas para áreas de atividade não linear, como áreas pedonais e parques. O funcionamento da luminária pode ser desencadeado com recurso aos

sensores descritos anteriormente [21]. Um exemplo de funcionamento pode ver-se na figura 4.6, onde a luminária sobre o peão está a 100% da sua capacidade de iluminação, estando as restantes luminárias, sem ninguém, só a 50%.



**Figura 4.6** - Exemplo de funcionamento [21]

#### **4.3.4.2 Rede Autónoma**

Oferece mais flexibilidade que a solução *stand-alone* e um leque mais amplo de possibilidades em termos de interação. As luminárias comunicam entre si através de uma rede wireless, disponibilizando assim perfis dinâmicos de *dimming*. O cenário de *dimming* autónomo pode ser reforçado com recurso a detetores de movimento. Para comandar a instalação, os sensores podem ser centralizados ou descentralizados. Para garantir a segurança e conforto dos utilizadores, logo que o movimento é detetado, o cenário de deteção impõe-se sobre o cenário de *dimming*. A rede autónoma Owllet é perfeitamente adequada para praças, parques de estacionamento, parques urbanos, armazéns, campos desportivos, estradas, ruas... [21]



**Figura 4.7** - Comunicação wireless entre luminárias [19]

#### **4.3.4.3 Rede interativa**

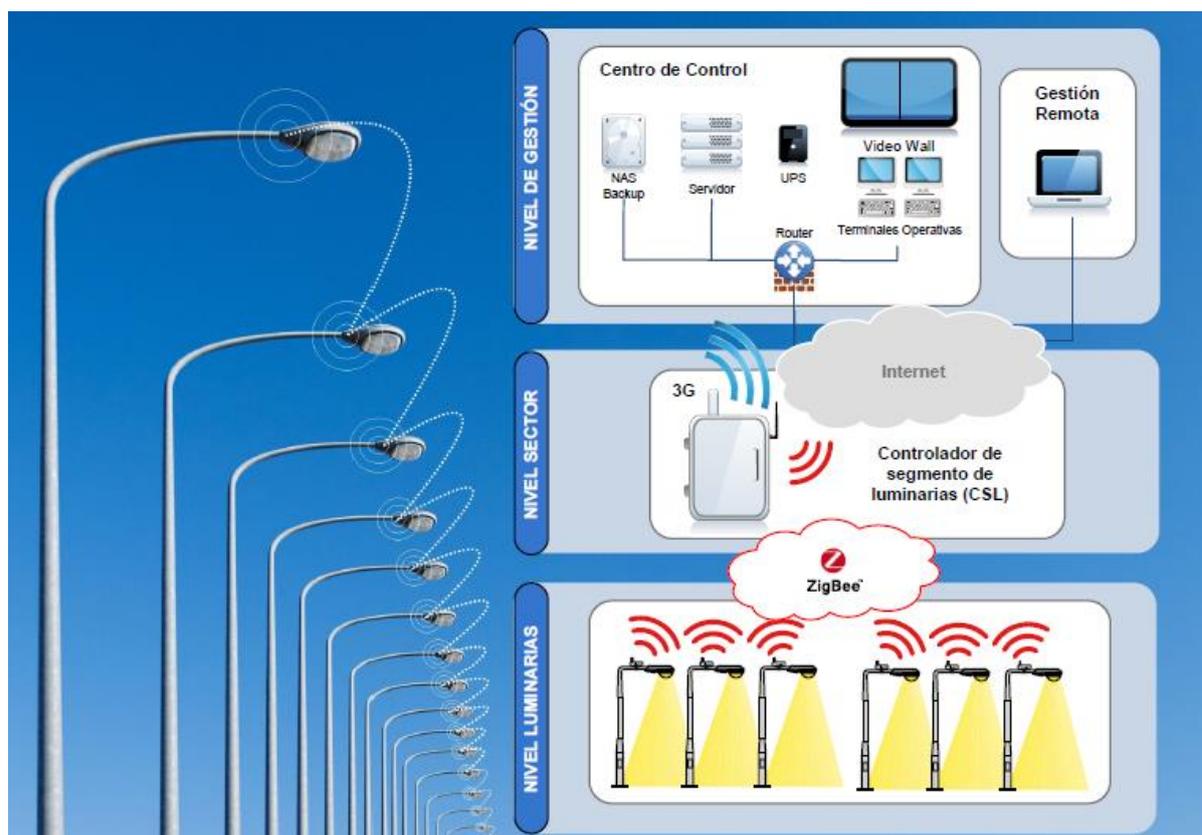
Numa rede interativa de controlo central, o computador central recebe informação de todos os sensores e envia comandos para a rede inteligente de IP, com um interface web para gerir individualmente cada luminária a partir de qualquer lugar do mundo.

Existem diversos sistemas análogos disponíveis no mercado de várias empresas, tais como a Divamia, a Shcréder ou a Solidmation. Analisando mais em pormenor as características do

Sistema Inteligente de Controlo de IP da Solidmation, na figura 4.8, observa-se que cada luminária incorpora um Módulo Controlador de Luminárias (MCL), permitindo assim que o mesmo dispositivo informe o centro de controlo dos dados de operação, alarmes e eventos. As luminárias são agrupadas em sub-redes (ou segmentos) comandadas pelos Controladores de Segmentos de Luminárias (CSL). O tamanho da sub-rede pode variar dependendo da disposição do grupo de luminárias. Em média existe um concentrador de segmento a cada 150 módulos controladores de luminárias.

As luminárias e os controladores de segmentos estão conectados com a tecnologia de comunicação ZigBee, que é o padrão mais adotado na comunicação sem fios em todo o mundo. Segundo as suas especificações, este tipo de comunicação adapta-se bem às características geográficas da instalação existente de IP.

Os controladores de segmento e o centro de controlo estão conectados com ligações seguras (SSL) baseadas na Internet com comunicações TCP/IP, ADSL, 3G ou GSM dependendo da cobertura de rede de cada região, ou pela fibra ótica nas regiões que não tem infraestrutura de comunicações. [22]



**Figura 4.8** - Estrutura do Sistema Inteligente de controlo de IP da Solidmation [22]

As características gerais dos 3 sistemas podem ser comparadas na tabela 4.2, a seguir.

**Tabela 4.2 - Comparação entre os 3 tipos de telegestão**

	Dimensão da instalação	Comunicação entre equipamentos	Extensão da instalação	Integração com outras redes	Conetividade com interfaces Smart City	Relógio Astronómico	Fluxo luminoso constante (CLO)	Luz à medida (sensor de movimento)	Célula fotoelétrica	Dimming Fixo	Dimming Dinâmico	Adaptação do perfil de dimming	Gestão em tempo real	Medição dos consumos	Gestão de ativos	Gestão de alarmes	Arquivo/histórico de eventos	Relatórios
	Network				Interatividade				Dimming			Monitorização			Dados			
<b>Stand-Alone</b> -> ideal para iluminação inteligente básica	1 ponto de luz	-	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-
<b>Rede Autónoma</b> -> ideal para zonas com atividades não lineares	2 a 1000 pontos de luz	Wireless	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Remoto (no local)	-	-	✓	-	-	-
<b>Rede Interativa</b> -> ideal para instalações completas (ruas, estradas, túneis...)	2 a 100000 pontos de luz	Wireless (cabos em túneis)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Remoto	✓	✓	✓	✓	✓	✓

#### 4.4 Integração de novas tecnologias nos Sistemas de IP

Atualmente os sistemas de IP podem integrar tecnologias bastante diferentes das utilizadas até há poucos anos. Um dos exemplos é o uso de painéis solares nas luminárias. Isto permitirá integrar a energia renovável na própria rede, usando essa energia diretamente nas luminárias. Permite também a possibilidade de ter IP em locais remotos ou de difícil acesso, onde não exista a possibilidade de ter alimentação da rede de transmissão/distribuição. Este tipo de candeeiros solares apresentam grandes vantagens, pois ao serem alimentados diretamente a partir do sol (usando baterias recarregáveis) são autónomos, de fácil instalação e baixo custo, devido a apenas necessitarem de uma fixação ao solo, e, principalmente, permitem uma grande poupança na construção de ligações à rede elétrica. O seu maior problema consiste no facto de, no caso de o céu estar nublado durante vários dias seguidos, os candeeiros solares não funcionarem a 100%. [23]

Na figura 4.9 tem-se um exemplo de um candeeiro com um painel solar da Novalec, que pode funcionar isoladamente ou integrado no sistema de gestão elétrica desenvolvido pela Schröder. [24]



**Figura 4.9** - Exemplo de candeeiro com painel solar [24]

Um outro exemplo de integração de novas tecnologias nos sistemas de IP passa pela integração do sistema de controlo e comunicação das novas redes de IP inteligentes nas infraestruturas existentes, obtendo diversos benefícios. Um projeto piloto implementado em Chicago, desenvolvido pelo Center for Smart Grid Applications Research and Technology (CSMART) da Illinois Institute of Technology (IIT), procura demonstrar isso, integrando os sistemas de comunicação das redes de IP na rede SCADA existente. O conceito passa por ligar todas as componentes inteligentes da rede, tais como IP inteligente, sensores, controladores de trânsito, etc. Usando tecnologia LED pretende-se complementar a falta de iluminação durante o nascer e o pôr-do-sol, com uma subida ou descida em rampa da iluminação, respetivamente, ou fornecer uma quantidade baixa de luz durante dias mais escuros. Estando a rede interligada saber-se-á sempre que haja avarias, permitindo uma manutenção mais eficaz e menos dispendiosa. Essa rede permitirá também funcionar como condutas de informação, uma vez que os postes estão muito bem posicionados fisicamente, podendo converter as estradas em “autoestradas da informação”.

Este tipo de integração das redes de IP nas operações das *Smart Cities* terá vários impactos. Ao nível de iluminação das ruas terão as grandes vantagens dos sistemas de controlo de IP com tecnologia LED, obtendo grandes economias de energia e, conseqüentemente, de dinheiro. Ao nível da segurança, haver iluminação sempre que necessário trará uma sensação superior de segurança, por outro lado saber o que se passa nas estradas permitirá, por exemplo, a uma ambulância saber qual o caminho mais rápido a tomar para uma emergência. Ao nível de fiabilidade este sistema também será superior aos normais.

Permitirá também aumentar a cibersegurança, traduzindo-se isso em benefícios para os negócios, como uma maior fiabilidade do sistema de controlo e disponibilidade, bem como afetará

positivamente a moral, lealdade e retenção dos funcionários e reduzirá as preocupações da comunidade. [25]

## **4.5 Análise de Caso (Segurança vs Poupança)**

### **4.5.1 Introdução**

Vários estudos efetuados ao longo das últimas décadas demonstraram que tanto o número de acidentes como a gravidade das lesões sofridas nestes são influenciados negativamente pela ausência de iluminação ou iluminação reduzida. Num dos maiores trabalhos desenvolvidos nos últimos anos nesta área, na tese de doutoramento de P. O. Wanvik [26], este concluiu que a iluminação noturna nas estradas reduz os acidentes com ferimentos em 30%, sendo os seus principais efeitos:

- Redução de 60% de lesões fatais;
- Redução de 45% de acidentes com peões, resultando em lesões;
- Redução de 50% de acidentes com feridos.

A AFE (Agência Francesa de Iluminação) elaborou um estudo, feito num simulador onde o ambiente e as condições do condutor (fadiga, iluminação, clima, condição da estrada,...) foram controlados e registados, onde se recriava uma situação de acidente para testar as reações do motorista. Nesse estudo verificou-se que nas zonas iluminadas os condutores tinham uma melhor antecipação e um menor número de acidentes do que nas zonas não iluminadas. [27]

Visto que a iluminação é uma necessidade, de forma a garantir uma maior segurança nos utilizadores das vias, deve-se procurar uma forma de manter a segurança e garantir economia de energia.

Neste sentido surgem dois parâmetros adicionais para estimar a eficiência da luminária ou da instalação:

- **Nível de serviço:** percentagem de utilizadores (veículos, peões, ciclistas, etc) que beneficiam da iluminação noturna.
- **Nível de perda:** relação entre o tempo acumulado de ausência de utilizadores a partir da luz ser ligada e, a duração da noite.

### **4.5.2 Caso analisado**

O caso analisado é uma estrada onde a IP precisa ser substituída, sendo estudadas duas soluções. Neste estudo considerou-se toda a instalação e não uma única luminária.

As soluções existentes e as recomendadas para substituição são as descritas na tabela 4.3.

**Tabela 4.3** - Soluções existente e recomendadas

	Solução existente	Soluções recomendadas	
		HPS	LED
Luminárias	7 HPS de 100W	31 HPS de 100W	38 LED de 54W
	22 HPM de 125 W		

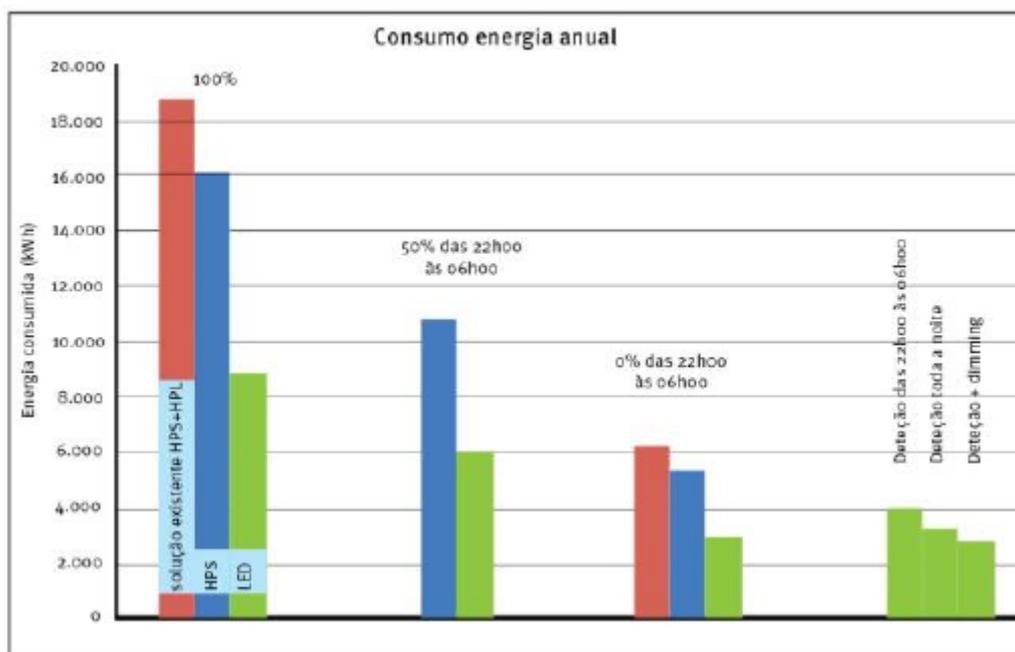
Na simulação foram tidos em conta os seguintes parâmetros: Conformidade com a norma EN 13201, utilização média diária de 12 horas e concentração de tráfego em 4 horas. Deste modo foram definidos 6 cenários de iluminação como se podem ver na tabela 4.4.

**Tabela 4.4** - Definição dos perfis para comparação de soluções [27]

	Perfil noturno	Configuração
1		100% toda a noite
2		50 % das 22h00 às 06h00
3		0% das 22h00 às 06h00
4		Deteção das 22h00 às 06h00
5		Deteção toda a noite
6		Deteção toda a noite + 50% das 22h00 às 06h00

Os 3 primeiros cenários são definidos sem equipamentos específicos, existindo uma regulação de fluxo luminoso simples no cenário 2 e o uso de um interruptor no cenário 3. Os cenários seguintes já usam detetores, por isso só é possível utilizar com a solução LED nesses perfis, devido à imprevisibilidade e rapidez do ligar e desligar com o uso de sensores de movimento.

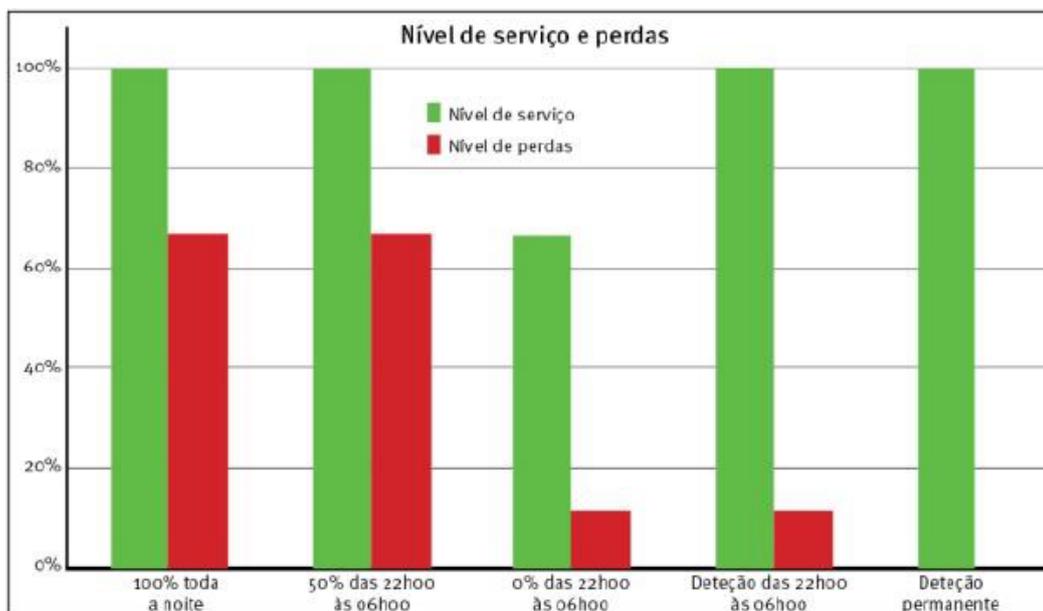
Com base nas hipóteses consideradas, pode-se comparar o consumo de energia anual da solução existente e das soluções alternativas a implementar. No gráfico da figura 4.10 constata-se que, com um investimento mínimo, é possível obter uma economia de 66%, desligando a iluminação entre as 22h00 e as 6h00. Este estudo não tem em conta os custos de manutenção do equipamento envelhecido, considerando apenas o consumo de energia, não tendo em conta as necessidades do utilizador.



**Figura 4.10** - Comparação do consumo de energia anual por cenário [27]

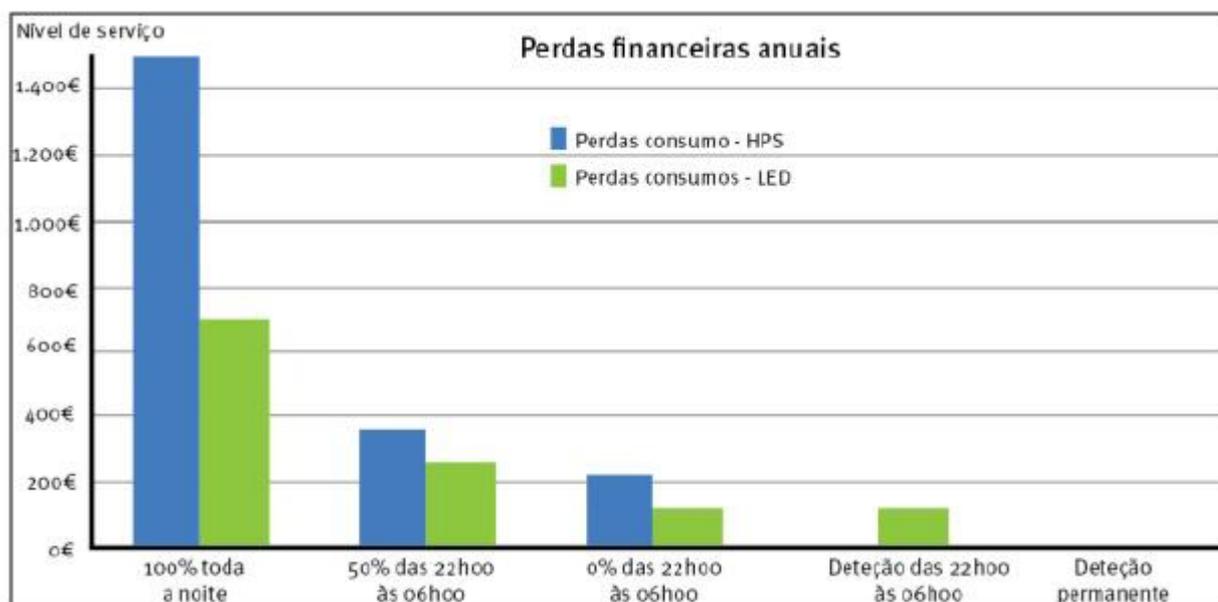
Uma vez que a IP é um serviço prestado à população, a segurança das pessoas tem de ser tida em consideração. É aqui que entram os novos conceitos de nível de serviço e de perda, deve-se maximizar o primeiro e tentar minimizar o segundo. Deste modo, considerando os diferentes cenários, é possível observar diferentes taxas de serviço e de perda, como se pode observar na figura 4.11.

Estima-se que o nível de serviço é mantido a 100% a partir do momento em que ligamos a iluminação, independentemente do nível de luz mantido. O nível de perda segue o mesmo princípio, não importando qual o nível de iluminação: há uma perda sempre que a IP está ligada sem a presença de um utilizador. Estas relações variam consoante se aplicam os diferentes sistemas de gestão.



**Figura 4.11** - Níveis de serviço e perda nos diferentes cenários [27]

Ao nível económico consideram-se perdas financeiras as perdas geradas por manter a iluminação acesa quando não há ninguém por perto. A utilização de LEDs, conjugado com um sistema de telegestão permite obter zero de perdas financeiras, algo que as fontes de luz convencionais não permitem, uma vez que não permitem o uso de deteção constante. Observando a figura 4.12 pode-se constatar que, mais uma vez, a escolha do tipo de gestão é fundamental, pois as perdas financeiras são as mesmas usando LED, tendo o serviço desligado das 0h00 às 6h00 ou tendo deteção nesse período. No entanto o nível de serviço para a população é diferente. [27]



**Figura 4.12** - Perdas financeiras nas duas soluções com base no cenário [27]

## 4.6 Conclusão

Cada vez mais, de forma a obter uma maior eficiência energética e, conseqüentemente, um menor custo com a IP, se têm vindo a desenvolver e aplicar novas tecnologias na IP. O controlo otimizado e a regulação do fluxo luminoso são cada vez mais utilizados nas redes de IP. Resumidamente pode-se comparar as características dos vários sistemas de controlo na tabela 4.5.

**Tabela 4.5** - Comparação das características dos Sistemas de Controlo [17]

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

Com a análise de caso pretendeu-se demonstrar que a segurança nas estradas à noite está diretamente ligada à sua iluminação, sendo por isso importante ter isso em conta quando se pretende desligar luminárias de forma a obter redução nos consumos de energia.

Introduziu-se também novos conceitos como nível de serviço, nível de perda e perdas financeiras, bastante úteis na análise destes casos.

Desta forma, sempre que se pretender fazer alterações a um circuito de IP, deve-se ter em conta vários parâmetros e não simplesmente a poupança. Deve-se tentar conjugar ao máximo poupança de energia, manutenção do nível de serviço e obter o mínimo nível de perdas e, conseqüentemente, de perdas financeiras.



## 5. Estudo de Caso

Com vista a implementar e testar alguns dos conceitos e tecnologias descritas anteriormente, neste ponto é feito um estudo concreto sobre IP. Serão analisados dois casos: um em que é projetada uma requalificação total do sistema de IP existente e outro aproveitando o que se tem e só alterando o modo de funcionamento.

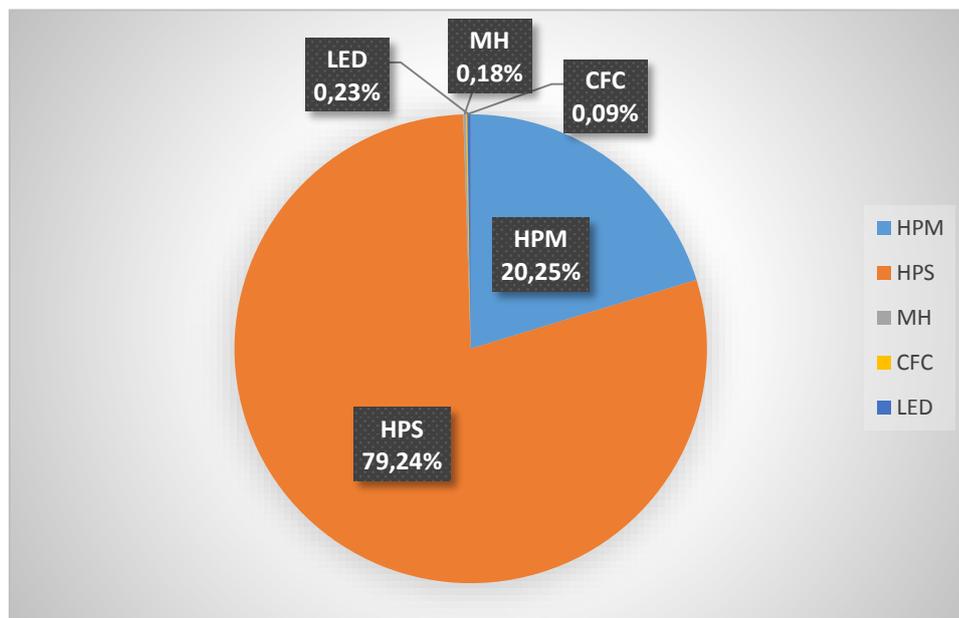
### 5.1 Caracterização da IP do Município de Coimbra

Neste ponto é feita uma análise da rede de IP do concelho de Coimbra. Os dados analisados são do ano 2013, sendo natural que se encontrem um pouco desatualizados.

Existiam 647 circuitos de IP, perfazendo um total de 35142 lâmpadas ou luminárias. A potência total instalada na IP era de 3838 kW, sendo a potência média por lâmpada de 109,2 W.

O consumo anual de eletricidade associado à IP é de aproximadamente 16,5 GWh, a que corresponde um custo de cerca 2,5 milhões de euros para a Autarquia.

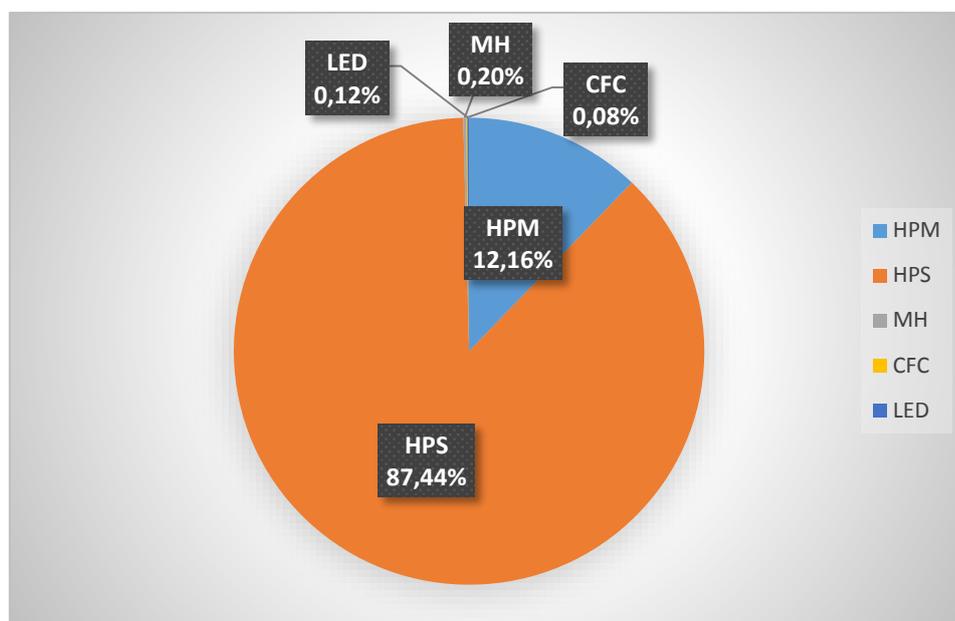
A distribuição do número de lâmpadas ou luminárias por tecnologia pode ser observada na figura 5.1, constatando-se que a tecnologia dominante é a HPS. Ainda existiam uma grande quantidade de lâmpadas de HPM, sendo esperado que na atualidade estas já tenham sido substituídas por outras mais eficientes. Quanto às luminárias LED, observa-se que praticamente ainda eram inexistentes, só havendo 81 luminárias no concelho todo.



**Figura 5.1** - Distribuição do número de lâmpadas por tecnologia

Em termos de potência, por tipo de tecnologia, temos a sua distribuição na figura 5.2. Observando detalhadamente e comparando com a sua distribuição, observa-se que as lâmpadas de

HPM têm uma percentagem de potência instalada inferior, visto que estas essencialmente têm lâmpadas de baixa potência instalada em zonas rurais, sendo no seu grosso lâmpadas de 50 W. Por sua vez as lâmpadas de HPS representam uma percentagem de potência superior à sua distribuição visto que esta tecnologia é usada em locais onde há uma necessidade de maior iluminação, logo usam lâmpadas de maior potência. Um dos exemplos será o estudo de caso analisando no ponto 5.3, onde na via rápida estão instaladas lâmpadas de HPS de 250 W.



**Figura 5.2** – Distribuição da potência instalada por tipo de tecnologia

Com estes dados pode-se afirmar que o custo da autarquia com a IP é muito elevado. Por outro lado verifica-se a baixa penetração das novas tecnologias, não havendo garantias de uma boa eficiência energética por parte das lâmpadas existentes, sendo por isso importante otimizar a sua utilização de forma a diminuir consumos e custos.

## 5.2 Parque urbano

### 5.2.1 Introdução

Foi escolhido o parque do Vale das Flores em Coimbra como local a melhorar. Este parque, inaugurado em 2001, não tem uma boa iluminação. Por exemplo, a ciclovia que o percorre não é iluminada em boa parte do parque, uma vez que as luminárias estão orientadas noutro sentido, como se pode observar na figura 5.3. Por outro lado parte das luminárias existentes encontram-se danificadas, havendo várias sem refletor e a necessitar de manutenção, como por exemplo a limpar a sujidade na ótica.

A solução atual consiste em 45 luminárias com lâmpadas de HPS de 150 W e balastro magnético, o que contabiliza uma potência total de 170 W por luminária.



**Figura 5.3** - Foto do parque, ilustrativa de má localização e orientação das luminárias

Desta forma foi feito um cálculo luminotécnico usando luminárias LED, onde se pretende garantir uma adequada iluminação para a via de acordo com o DREEIP. Também se pretende demonstrar as vantagens em termos económicos e ecológicos da implementação das novas luminárias eficientes e da integração de um sistema de controlo.

### **5.2.2 Classificação da Via**

Seguindo o DREEIP [3], o primeiro passo foi definir que tipo de classe é o parque, podendo ser da classe ME (Zonas Fora do Perímetro Urbano), CE (Zona de Conflitos) ou P (Zonas Pedonais e Áreas com Baixa Velocidade de Tráfego). Classificou-se este parque como pertencente à classe P, uma vez que é essencialmente uma zona pedonal e de ciclistas.

Dentro da classe P, existem 6 classes de via, que variam em termos de necessidade de iluminação. Para seleccionar a classe adequada à via atribui-se um fator de peso apropriado a cada trâmite específico. Depois somam-se, obtendo-se um valor “Total”. A classe P correspondente é obtida da seguinte forma, sendo que em caso de número não inteiro este arredonda para o inteiro mais baixo:

$$\textit{Classe P} = 6 - \textit{Total} \quad (5.1)$$

Na tabela 5.1 encontram-se os parâmetros para a classificação deste tipo de vias, bem como os seleccionados para o parque.

**Tabela 5.1** - Tabela usada para seleção da classe de iluminação do parque [3]

Seleção das Classes de Iluminação - P			
Parâmetro	Opções	Fator de Peso	Selecionado
Velocidade	Baixa	1	1
	Muito Baixa (velocidade de caminhada/marcha)	0	
Volume de tráfego	Muito Elevado	1	0
	Alto	0,5	
	Moderado	0	
	Baixo	-0,5	
	Muito Baixo	-1	
Composição do Trânsito	Pedestres, Ciclistas e Tráfego Motorizado	2	1
	Pedestres e Tráfego Motorizado	1	
	Pedestres e Ciclistas	1	
	Pedestres	0	
	Ciclistas	0	
Veículos Estacionados	Presente	0,5	0
	Não Presente	0	
Luminância Ambiente	Alta	1	0
	Moderada	0	
	Baixa	-1	
<b>Total</b>			2
<b>Classe P</b>			4

O parque foi classificado como pertencente à classe P4. Esta classe, em termos de iluminâncias deve garantir os seguintes parâmetros:

- Iluminância média: 5 lux.
- Iluminância mínima: 1 lux.
- Encandeamento perturbador: 30.

Nos casos de reconhecimento facial necessário, tem ainda de garantir:

- Iluminância vertical mínima: 1.5 lux.
- Iluminância semi-cilíndrica: 1 lux.

O fator de uniformidade (U0) é 0,40 para este tipo de vias.

**Nota:** Apesar do DREEIP seguir a norma EN 13201, há uma discrepância de alguns valores entre a classe S da norma Europeia e a classe P do DREEIP. Neste trabalho segui os valores de referência do DREEIP.

### 5.2.3 Cálculo luminotécnico e projeto no DIALux

Depois de saber a classificação da via e, conseqüentemente, os parâmetros de iluminância necessários, de forma a garantir uma boa iluminação, passou-se ao projeto do parque usando o software DIALux Evo. Para isso, uma vez que este não é uniforme, foram definidas 3 zonas distintas do parque a projetar: parte inferior, parte central e parte superior. A luminária escolhida para o parque foi a TECEO 1 da Schröder, luminária LED apropriada para utilização em parques. Esta luminária tem disponível entre 16 e 48 LEDs e uma potência entre os 18 e os 107 W.



**Figura 5.4** - Luminária Teceo 1 [40]

Método usado para o projeto:

- Para cada zona foi escolhida a solução de menor potência, através de tentativa e erro, que garantia os mínimos necessários definidos pela classe da via.
- No cálculo procurou-se manter o número atual de luminárias, nomeadamente 45, mantendo por isso a distância entre postes em 19 metros.
- A altura das luminárias foi mantida uniforme, nos 5 metros, variando a inclinação do braço extensor, otimizando a solução.
- Entre as zonas, o posicionamento das luminárias foi escolhido de forma às luminárias das diversas zonas estarem alinhadas, dando um melhor aspeto.

Foi necessário também calcular o fator de manutenção (FM) para a luminária escolhida, seguindo-se para isso, de novo, o DREEIP e os dados existentes para as fontes de luz LED. Assim, seguindo a equação 3.1, e usando os valores das luminárias LED para o FMLL, FSL e FML de 0,95, 0,95 e 0,88, respetivamente, obteve-se um FM de 0,8.

Após isto foi feito o projeto em DIALux. Na tabela 5.2 são apresentados os traçados do parque projetados e os respetivos valores de iluminância obtidos, respeitantes da classificação da via como P4. Convém realçar que nas ciclovias o reconhecimento facial é necessário, sendo por isso necessário garantir os parâmetros adicionais requeridos nesse caso, e a iluminância não exceder o parâmetro seguinte, tal como definida na norma, neste caso 7,5 lux.

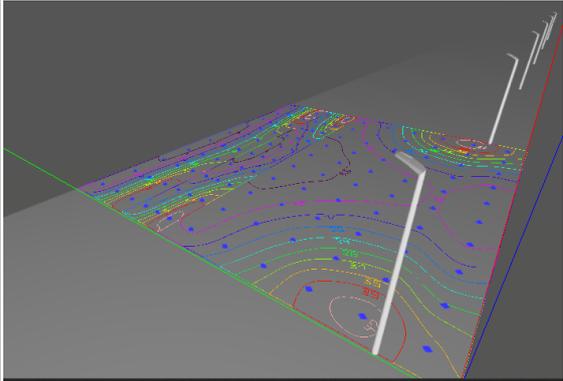
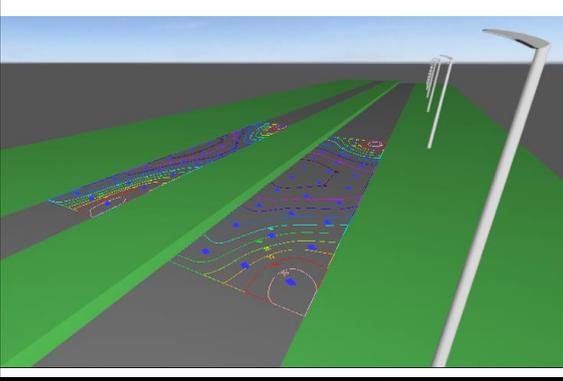
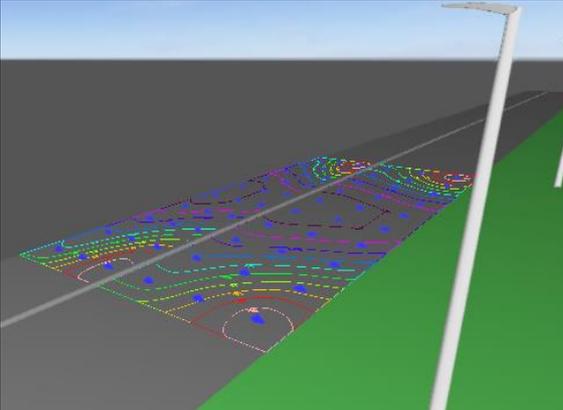
Assim, depois de otimizar e colocar as luminárias TECEO 1 de menor potência que garantiam uma correta iluminação da via, a solução adequada à via em cada um das zonas foi a seguinte:

- Zona Central – 13 Luminárias com 40 LEDs de corrente 350 mA e potência 44 W
- Zona Superior – 24 Luminárias com 16 LEDs de corrente 700 mA e potência 36 W
- Zona inferior – 8 Luminárias com 40 LEDs de corrente 500 mA e potência 63 W

A zona inferior necessitou de uma potência bastante superior, principalmente devido ao facto de ter um passeio atrás da ciclovia, o que obrigou a garantir também nessa zona uma iluminância média superior a 5 lux.

Convém realçar que não são apresentados dados relativos aos cálculos no DIALux com luminárias de potências inferiores, uma vez que o espaço para esta dissertação é limitado.

**Tabela 5.2 - Zonas projetadas e dados obtidos no DIALux**

	Projeto por zona	Dados obtidos pela simulação no DIALux																																																								
Zona Inferior		<table border="1"> <tr><td>Nome</td><td colspan="3">Esquema de rua 11</td></tr> <tr><td>Geometria de rua</td><td colspan="3">Parte Inferior - Passeio mais largo</td></tr> <tr><td>Factor de manutenção</td><td colspan="3">0.800</td></tr> <tr><td>Distribuição de luminárias 1</td><td colspan="3">● TECEO 1 / 5112 / 40 LEDES 500mA NW / ...</td></tr> <tr><td>Campo de avaliação (CE5)</td><td colspan="3">Passeio 2 (CE5)</td></tr> <tr><td>Em</td><td>≥ 5.00</td><td>5.04</td><td>✓</td></tr> <tr><td>U0</td><td>≥ 0.40</td><td>0.82</td><td>✓</td></tr> <tr><td>Campo de avaliação (CE5)</td><td colspan="3">Passeio 1 (CE5)</td></tr> <tr><td>Em</td><td>≥ 5.00</td><td>19.01</td><td>✓</td></tr> <tr><td>U0</td><td>≥ 0.40</td><td>0.41</td><td>✓</td></tr> <tr><td>Campo de avaliação (S4)</td><td colspan="3">Ciclovia 1 (S4)</td></tr> <tr><td>Em</td><td>≥ 5.00 ≤ 7.50</td><td>7.49</td><td>✓</td></tr> <tr><td>Emin</td><td>≥ 1.50</td><td>5.89</td><td>✓</td></tr> <tr><td>Escmin</td><td>≥ 1.00</td><td>5.94</td><td>✓</td></tr> </table>	Nome	Esquema de rua 11			Geometria de rua	Parte Inferior - Passeio mais largo			Factor de manutenção	0.800			Distribuição de luminárias 1	● TECEO 1 / 5112 / 40 LEDES 500mA NW / ...			Campo de avaliação (CE5)	Passeio 2 (CE5)			Em	≥ 5.00	5.04	✓	U0	≥ 0.40	0.82	✓	Campo de avaliação (CE5)	Passeio 1 (CE5)			Em	≥ 5.00	19.01	✓	U0	≥ 0.40	0.41	✓	Campo de avaliação (S4)	Ciclovia 1 (S4)			Em	≥ 5.00 ≤ 7.50	7.49	✓	Emin	≥ 1.50	5.89	✓	Escmin	≥ 1.00	5.94	✓
Nome	Esquema de rua 11																																																									
Geometria de rua	Parte Inferior - Passeio mais largo																																																									
Factor de manutenção	0.800																																																									
Distribuição de luminárias 1	● TECEO 1 / 5112 / 40 LEDES 500mA NW / ...																																																									
Campo de avaliação (CE5)	Passeio 2 (CE5)																																																									
Em	≥ 5.00	5.04	✓																																																							
U0	≥ 0.40	0.82	✓																																																							
Campo de avaliação (CE5)	Passeio 1 (CE5)																																																									
Em	≥ 5.00	19.01	✓																																																							
U0	≥ 0.40	0.41	✓																																																							
Campo de avaliação (S4)	Ciclovia 1 (S4)																																																									
Em	≥ 5.00 ≤ 7.50	7.49	✓																																																							
Emin	≥ 1.50	5.89	✓																																																							
Escmin	≥ 1.00	5.94	✓																																																							
Zona Central		<table border="1"> <tr><td>Nome</td><td colspan="3">Esquema de rua 2</td></tr> <tr><td>Geometria de rua</td><td colspan="3">Parte central relevada</td></tr> <tr><td>Factor de manutenção</td><td colspan="3">0.800</td></tr> <tr><td>Distribuição de luminárias 1</td><td colspan="3">● TECEO 1 / 5112 / 40 LEDES 350mA WW / ...</td></tr> <tr><td>Campo de avaliação (CE5)</td><td colspan="3">Passeio 1 (CE5)</td></tr> <tr><td>Em</td><td>≥ 5.00</td><td>13.93</td><td>✓</td></tr> <tr><td>U0</td><td>≥ 0.40</td><td>0.49</td><td>✓</td></tr> <tr><td>Campo de avaliação (S4)</td><td colspan="3">Ciclovia 1 (S4)</td></tr> <tr><td>Em</td><td>≥ 5.00 ≤ 7.50</td><td>5.28</td><td>✓</td></tr> <tr><td>Emin</td><td>≥ 1.50</td><td>4.12</td><td>✓</td></tr> <tr><td>Escmin</td><td>≥ 1.00</td><td>3.78</td><td>✓</td></tr> </table>	Nome	Esquema de rua 2			Geometria de rua	Parte central relevada			Factor de manutenção	0.800			Distribuição de luminárias 1	● TECEO 1 / 5112 / 40 LEDES 350mA WW / ...			Campo de avaliação (CE5)	Passeio 1 (CE5)			Em	≥ 5.00	13.93	✓	U0	≥ 0.40	0.49	✓	Campo de avaliação (S4)	Ciclovia 1 (S4)			Em	≥ 5.00 ≤ 7.50	5.28	✓	Emin	≥ 1.50	4.12	✓	Escmin	≥ 1.00	3.78	✓												
Nome	Esquema de rua 2																																																									
Geometria de rua	Parte central relevada																																																									
Factor de manutenção	0.800																																																									
Distribuição de luminárias 1	● TECEO 1 / 5112 / 40 LEDES 350mA WW / ...																																																									
Campo de avaliação (CE5)	Passeio 1 (CE5)																																																									
Em	≥ 5.00	13.93	✓																																																							
U0	≥ 0.40	0.49	✓																																																							
Campo de avaliação (S4)	Ciclovia 1 (S4)																																																									
Em	≥ 5.00 ≤ 7.50	5.28	✓																																																							
Emin	≥ 1.50	4.12	✓																																																							
Escmin	≥ 1.00	3.78	✓																																																							
Zona superior		<table border="1"> <tr><td>Nome</td><td colspan="3">Esquema de rua 7</td></tr> <tr><td>Geometria de rua</td><td colspan="3">Parte superior - Ciclovia junto ao passeio</td></tr> <tr><td>Factor de manutenção</td><td colspan="3">0.800</td></tr> <tr><td>Distribuição de luminárias 1</td><td colspan="3">● TECEO 1 / 5112 / 16 LEDES 700mA NW / ...</td></tr> <tr><td>Campo de avaliação (CE5)</td><td colspan="3">Passeio 1 (CE5)</td></tr> <tr><td>Em</td><td>≥ 5.00</td><td>9.95</td><td>✓</td></tr> <tr><td>U0</td><td>≥ 0.40</td><td>0.50</td><td>✓</td></tr> <tr><td>Campo de avaliação (S4)</td><td colspan="3">Ciclovia 1 (S4)</td></tr> <tr><td>Em</td><td>≥ 5.00 ≤ 7.50</td><td>6.25</td><td>✓</td></tr> <tr><td>Emin</td><td>≥ 1.50</td><td>4.22</td><td>✓</td></tr> <tr><td>Escmin</td><td>≥ 1.00</td><td>3.13</td><td>✓</td></tr> </table>	Nome	Esquema de rua 7			Geometria de rua	Parte superior - Ciclovia junto ao passeio			Factor de manutenção	0.800			Distribuição de luminárias 1	● TECEO 1 / 5112 / 16 LEDES 700mA NW / ...			Campo de avaliação (CE5)	Passeio 1 (CE5)			Em	≥ 5.00	9.95	✓	U0	≥ 0.40	0.50	✓	Campo de avaliação (S4)	Ciclovia 1 (S4)			Em	≥ 5.00 ≤ 7.50	6.25	✓	Emin	≥ 1.50	4.22	✓	Escmin	≥ 1.00	3.13	✓												
Nome	Esquema de rua 7																																																									
Geometria de rua	Parte superior - Ciclovia junto ao passeio																																																									
Factor de manutenção	0.800																																																									
Distribuição de luminárias 1	● TECEO 1 / 5112 / 16 LEDES 700mA NW / ...																																																									
Campo de avaliação (CE5)	Passeio 1 (CE5)																																																									
Em	≥ 5.00	9.95	✓																																																							
U0	≥ 0.40	0.50	✓																																																							
Campo de avaliação (S4)	Ciclovia 1 (S4)																																																									
Em	≥ 5.00 ≤ 7.50	6.25	✓																																																							
Emin	≥ 1.50	4.22	✓																																																							
Escmin	≥ 1.00	3.13	✓																																																							

**Nota:** O parque contém uma pequena zona de diversão para crianças que faz parte da zona superior, tendo atualmente 3 luminárias, que foram incluídas nessa zona.

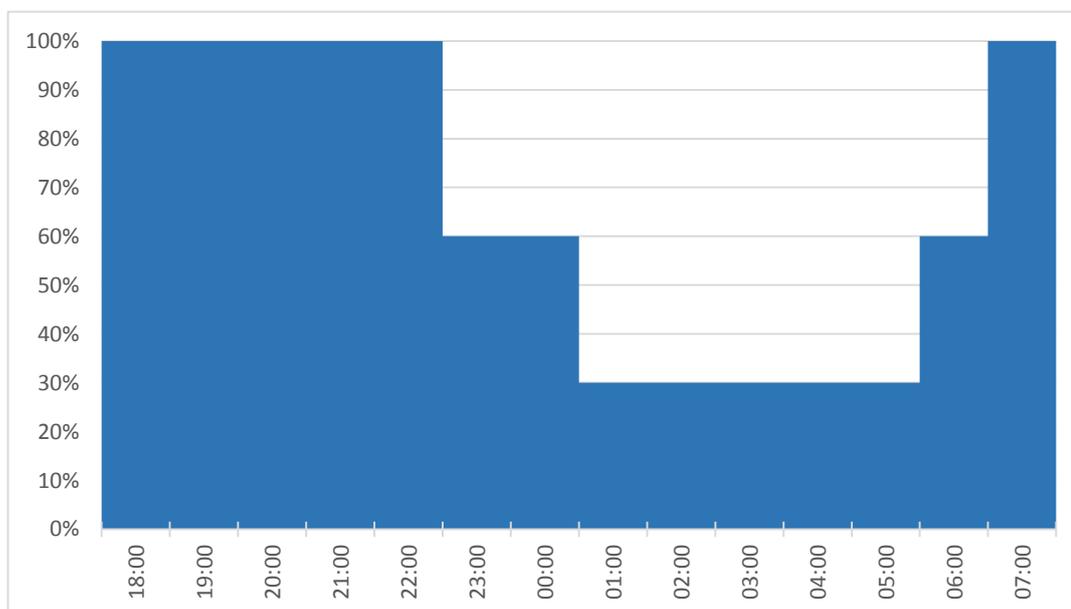
## 5.2.4 Soluções implementadas

Depois de conhecer as luminárias adequadas ao tipo de via, foi elaborado o modo de funcionamento possível para estas luminárias. Para tal foram abordadas duas hipóteses:

- Luminárias LED sem controlo, ligadas durante toda a noite a 100%.
- Luminárias LED com controlo, usando dois perfis de iluminação com regulação de intensidade luminosa (*dimming*).

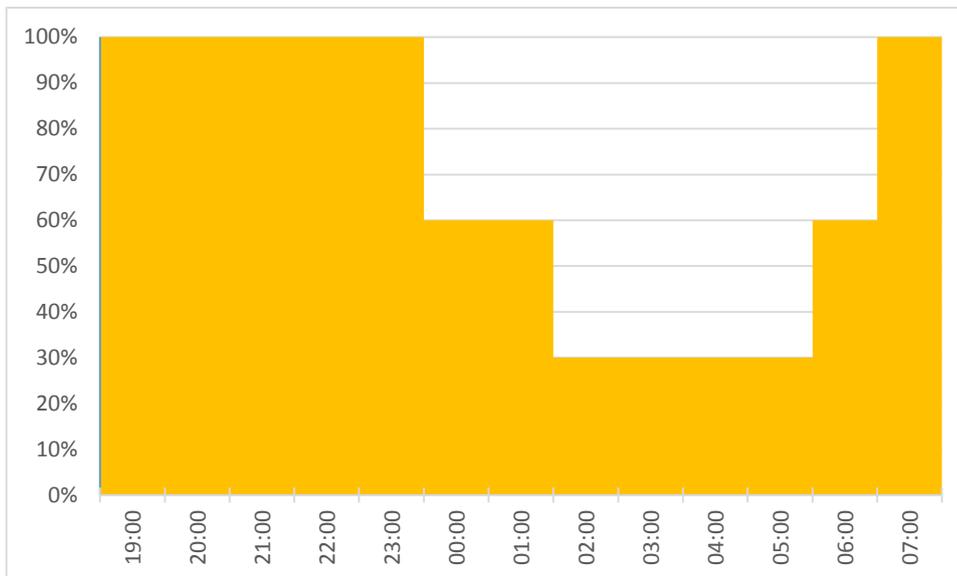
Os perfis foram elaborados com base nos comportamentos previsíveis das pessoas, tendo em conta que durante o Inverno há uma menor propensão para as pessoas andarem na rua até tarde, ao contrário do que acontece no Verão.

Os horários foram divididos de acordo com a data de mudança da hora em Portugal, sendo definidos 155 dias para o horário de Inverno e 210 dias para o horário de Verão. Nas figuras 5.5 e 5.6 a hora de início da noite é meramente representativa, uma vez que para os dois casos foi calculado o número médio de horas de noite, estando os períodos em que se faz *dimming* sempre incluídos durante o período noturno. Os perfis de iluminação variam de acordo com a desclassificação da via ao longo da noite.



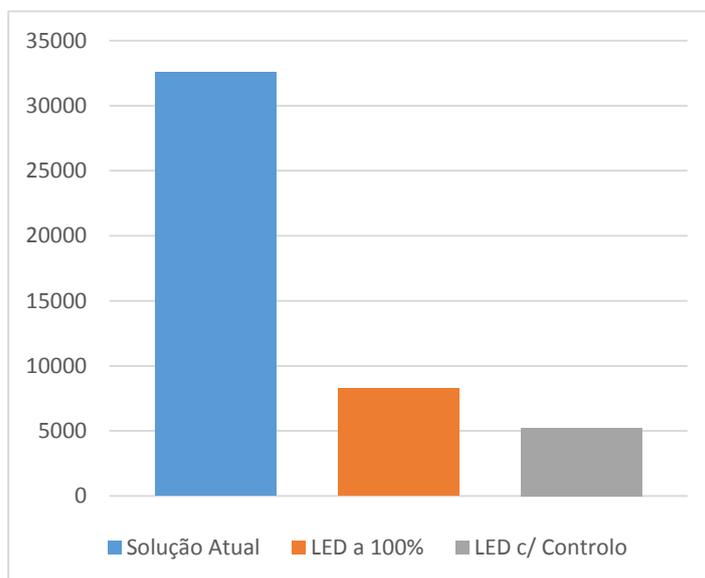
**Figura 5.5** - Perfil de iluminação implementado para o horário de Inverno

Analisando estas duas figuras, observa-se que no horário de Inverno teremos 3 horas a 60% e 5 horas a 30%. Por sua vez no horário de Verão tem-se 3 horas a 60% e 4 horas a 30%.



**Figura 5.6** - Perfil de iluminação implementado para o horário de Verão

Comparando as 3 soluções, solução atual e soluções LED com e sem controlo, do ponto de vista energético, observa-se que existem reduções significativas de consumo de energia anual com a implementação das novas luminárias LED, como se pode ver na figura 5.7. Em termos de energia há uma redução de 74% só com a substituição de luminárias, conseguindo-se uma redução de 84% da energia consumida anualmente através da substituição de luminárias e usando a variação de intensidade de acordo com os perfis definidos anteriormente.



**Figura 5.7** - Comparação de consumos anuais das 3 Soluções, em kWh

O número total de horas anuais com necessidade de iluminação foi de 4258 horas. Na situação com *dimming* considerou-se 1548 horas a 100%, 1095 horas a 60% e 1115 horas a 30%.

## 5.2.5 Análise Económica

Os estudos económicos de racionalização energética podem resumir-se da seguinte forma: faz-se investimento no ano zero e obtém-se ganho na forma de poupanças ao longo do tempo.

As poupanças energéticas vêm refletidas na fatura de energia. Por uma questão de simplicidade, é habitual exprimir-se os seus valores em resultados anuais. Com estes dados, é possível aplicar vários métodos para a avaliação económica da viabilidade dos investimentos em racionalização energética, tais como os indicadores financeiros VAL, TIR e PRI, em baixo explicados.

### 5.2.5.1 Valor atual líquido (VAL)

O valor atual líquido é um critério financeiro destinado a avaliar investimentos através da comparação entre os *cash flows* gerados por um projeto e o capital investido. Quando existe um único investimento no momento inicial aplica-se a expressão 5.2 para o cálculo do VAL [28].

$$VAL = \sum_{k=0}^n \frac{FC_k}{(1+i)^k} - I, \quad (5.2)$$

Em que:

$FC_k$  = *Cash flow* da exploração no período  $k$

$I$  = Despesa de investimento inicial

$i$  = Taxa de atualização do capital (ou de custo do dinheiro)

$n$  = tempo de vida útil do projeto

Um projeto de investimento é considerado rentável quando o seu VAL é positivo.

### 5.2.5.2 Taxa Interna de Rentabilidade (TIR)

A taxa interna de rentabilidade de um projeto de investimento é a taxa de atualização que anula o valor atual líquido. Pode dizer-se que a TIR é a taxa mais elevada a que o investidor pode contrair um empréstimo para financiar um investimento, sem perder dinheiro. [28]

Para se obter a TIR é necessário resolver a equação seguinte em ordem a  $i$ ,

$$0 = \sum_{k=0}^n \frac{-Investimento_k}{(1+i)^k} + \sum_{k=0}^n \frac{FC_k}{(1+i)^k} + \sum_{k=0}^n \frac{ValorResidual}{(1+i)^n} \quad (5.3)$$

Para um projeto ser aceite com o critério da TIR é necessário que este seja superior à taxa de rentabilidade mínima exigida pelo investidor. A taxa mínima é a taxa de referência ou a taxa de rejeição. Um projeto é tanto mais interessante e viável, quanto mais elevada for a TIR.

### 5.2.5.3 Período de Recuperação do Investimento (PRI)

Esta técnica mede o número de períodos de tempo que decorrem até que os capitais investidos no projeto sejam recuperados. O período de recuperação do investimento (*payback period*) é vulgarmente dado pela seguinte expressão [28],

$$PRI = \frac{I}{\frac{CF}{n}} = n \left( \frac{I}{CF} \right), \quad (5.4)$$

Em que:

I = valor do investimento;

CF = Somatório dos *cash flows* de exploração;

n = número de períodos da análise do projeto de investimento

### 5.2.5.4 Comparação entre soluções

Os dados usados nos cálculos do projeto foram os seguintes:

- Taxa de atualização de capital: 5%;
- Preço por kWh atual de 0,15 €, tendo uma inflação de 2% por ano;
- O tempo de vida útil das luminárias LED usadas é 100000 horas, dando 23 anos de vida útil (arredondado);
- Os preços das luminárias foram conseguidos falando diretamente com a Schröder;
- Não foram considerados custos de instalação uma vez que, por experiência neste tipo de situações, o desconto nos preços de tabela dos equipamentos será na ordem dos 20-30%, o que dará para a instalação;
- A manutenção também não foi considerada uma vez que não se tem dados atuais dos seus custos. Por outro lado o custo de manutenção das soluções projetadas será sempre inferior ao custo da solução atual.

O custo total do investimento inclui as luminárias, as unidades de controlo de luminária e o controlador geral, estando escrutinadas em anexo.

Na tabela 5.3, a seguir, tem-se os dados comparativos das 3 soluções. Analisando as três situações verifica-se que, do ponto de vista energético e financeiro, ambas as soluções projetadas são benéficas, conseguindo grandes poupanças em ambas. Ambas têm um período de recuperação de investimento relativamente curto quando comparado com o tempo de vida útil delas (cerca de 23 anos).

**Tabela 5.3 - Comparação de soluções**

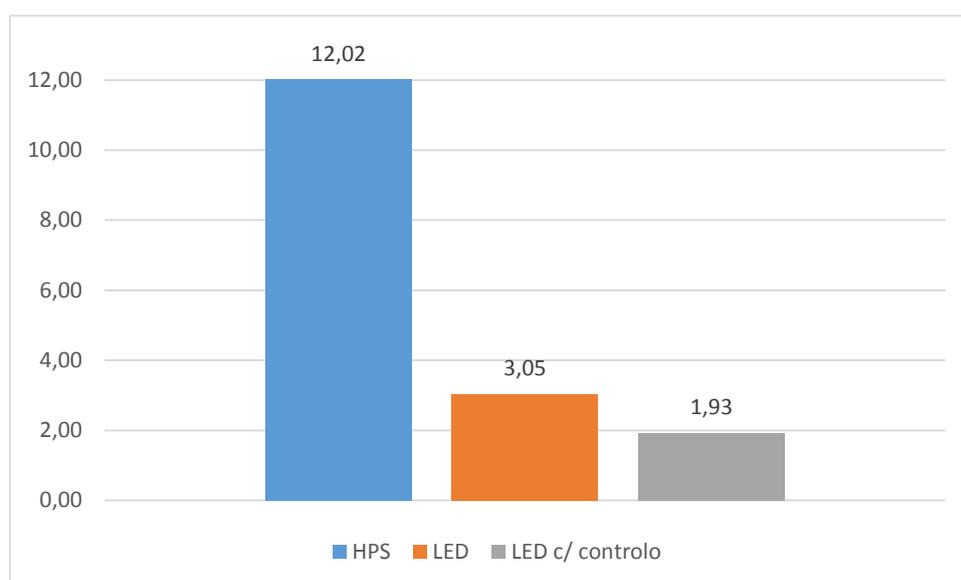
	Solução atual (HPS)	Solução LED sem controlo	Solução LED com controlo
<b>Potência total (W)</b>	7650	1940	1940
<b>Horas a 100%</b>	4258	4258	1548
<b>Horas a 60%</b>	0	0	1095
<b>Horas a 30%</b>	0	0	1615
<b>Consumo anual (kWh)</b>	32573,70	8260,52	5217,63
<b>Custo energético ano 1 (€)</b>	4 886,06	1 239,08	782,64
<b>Poupança energética ano 1 (€)</b>	-	3 646,98	4 103,41
<b>Custo Investimento (€)</b>	-	18 175,00	28 722,25
<b>VAL (€)</b>	-	39 028,38	36 034,29
<b>TIR</b>	-	22%	15%
<b>PRI (anos)</b>	-	3,97	5,58

Ao nível do VAL e do TIR, a solução mais benéfica é a solução que passa simplesmente pela implementação de luminárias LED de boa eficiência. Isto pode ser explicado devido ao facto de as luminárias projetadas serem de baixa potência (ter-se usado a mínima potência que garantia a qualidade de iluminação necessária), o que faz com que em termos financeiros não compense o investimento no sistema de controlo.

### 5.2.6 Emissões de CO<sub>2</sub>

Outro dos fatores que convém analisar é as emissões de CO<sub>2</sub>, uma vez que a sua redução é prioritária nos programas de eficiência da UE, e, conseqüentemente, no do governo de Portugal.

Atualmente, com o *mix* de geração nacional, o consumo de 1 kWh de energia corresponde à emissão de 369 gramas de CO<sub>2</sub> [29]. Desta forma é possível calcular a contribuição anual de



**Figura 5.8 - Comparação da emissão de CO<sub>2</sub> nas 3 soluções, em toneladas**

emissões de CO<sub>2</sub> devido ao consumo de energia na IP, multiplicando o consumo anual pela taxa de emissão.

Desta forma é possível observar, na figura 5.8, que as emissões das soluções projetadas são bastante inferiores à solução atual. Comparando as duas soluções LED, observa-se que a solução com controlo apresenta uma redução de cerca de 37% nas emissões de CO<sub>2</sub>.

### **5.2.7 Conclusões**

Com este estudo pretendeu-se projetar uma solução mais adequada para a via em estudo.

Ao nível de iluminação do parque, constatou-se que este tinha uma iluminação defeituosa, uma vez que boa parte do parque não tinha sequer as luminárias orientadas na direção da ciclovia. Com a solução existente tem-se só cerca de 40% da ciclovia iluminada, passando a ter com as novas soluções projetadas cerca de 80-85% da ciclovia iluminada, só não estando toda iluminada devido ao facto de não se querer aumentar o número de luminárias existentes e a ciclovia ter uma zona onde faz um “S”.

Em termos de segurança foi projetada uma solução adequada segundo o DREEIP, que garante os níveis mínimos de iluminância necessários para o tipo de via indicado.

O IRC destas luminárias LED é superior a 70 o que permite ter uma visão mais realista do meio envolvente do que com as luminárias de HPS existentes, em que o IRC rondará os 25.

Ao nível de potência instalada tem-se reduções significativas de cerca de 74%, o que se traduz nos consumos anuais.

Analisando as soluções projetadas, ambas são vantajosas face à solução existente. Considerando-se simplesmente as contrapartidas financeiras, a solução mais indicada é a instalação das luminárias LED sem controlo, uma vez que garante um VAL e TIR superiores. Por outro lado, em termos ecológicos, a solução LED com controlo garante uma emissão anual inferior em 1,12 toneladas de CO<sub>2</sub> face à solução LED sem controlo, sendo por isso uma solução mais adequada para atingir as metas de redução dos gases de efeito estufa estipuladas na “Estratégia Europa 2020”.

Não foram projetadas soluções controladas através de sensores de presença e movimento uma vez que, em termos teóricos, não é possível fazer uma previsão realista da utilização do parque durante a noite.

## 5.3 Via Rápida

O segundo caso de estudo consiste numa via rápida urbana, com uma iluminação relativamente recente (cerca de 8-10 anos). Pretende-se aproveitar a instalação atual, tentando torná-la o mais eficiente possível do ponto de vista energético.

### 5.3.1 Introdução

A via usada como modelo de estudo foi a via rápida adjacente ao Polo II.

A solução atual consiste em 264 luminárias de HPS de 250 W com balastro magnético.

A solução projetada consiste em substituir os balastos magnéticos por balastos eletrónicos programáveis, de forma a poder fazer *dimming* durante parte da noite.

O balastro escolhido foi o HID-DV PROG Xt 250 SON C2 208-277V [30] da Philips, que é um dos balastos qualificados pela EDP para lâmpadas de 250 W de HPS. [31] Este controlador eletrónico é flexível e de elevada fiabilidade, tendo reduzidos custos de manutenção devido às suas 80000 horas de vida útil.



**Figura 5.9** - HID-DV PROG Xt 250 SON C2 208-277V [30]

Neste projeto não é feito o cálculo luminotécnico uma vez que não se pretende alterar as luminárias existentes nem a sua disposição, daí também não ser feita a classificação da via, que pertenceria à classe ME, uma vez que não é necessária.

Pretende-se demonstrar que é possível garantir uma maior eficiência energética sem para isso ser necessário uma intervenção de raiz em equipamentos de IP relativamente recentes.

### 5.3.2 Perfil da Iluminação

Os perfis de iluminação, tal como no caso anterior, foram divididos entre horário de Verão e horário de Inverno, tendo 210 e 155 dias, respetivamente. O perfil de Inverno escolhido é o indicado na figura 5.10, onde se verifica que se tem 8 horas durante a noite a 50% do fluxo luminoso. O perfil escolhido para o horário de Verão é o apresentado na figura 5.11, onde se tem 6 horas a 50% do fluxo luminoso. Mais uma vez convém salientar que a hora de início e fim da noite apresentada é meramente representativa, uma vez que para os dois casos foi calculado o número médio de horas de noite, estando os períodos em que se faz *dimming* sempre incluídos durante o período noturno.

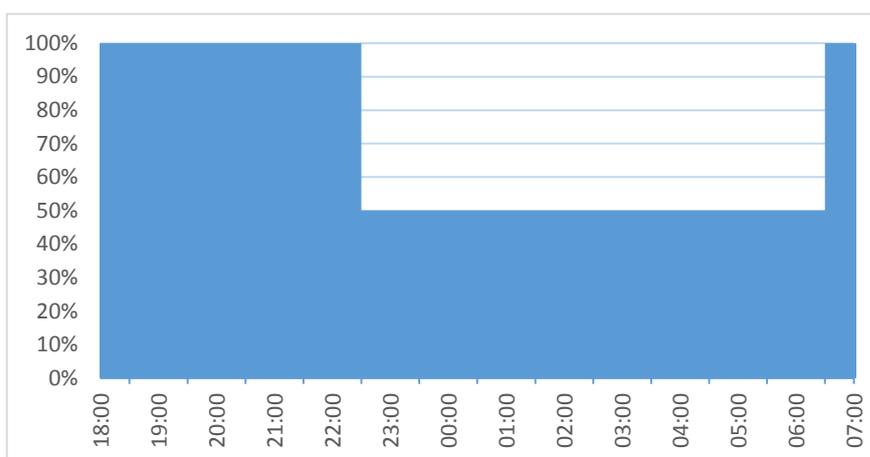


Figura 5.10 - Perfil de Iluminação para o horário de Inverno

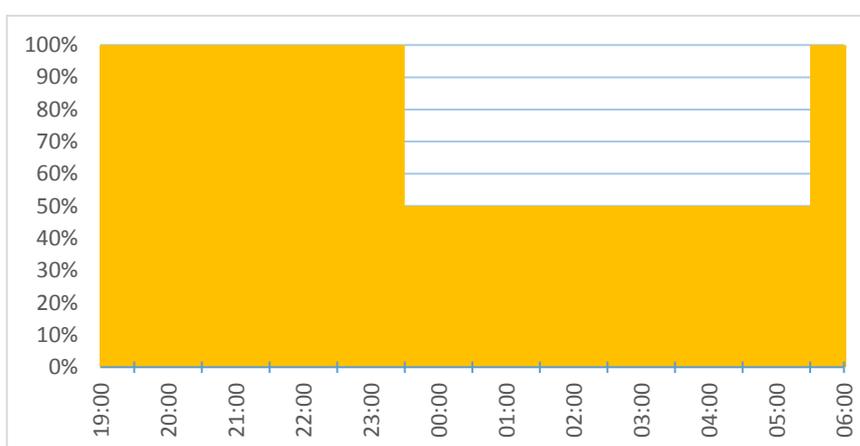
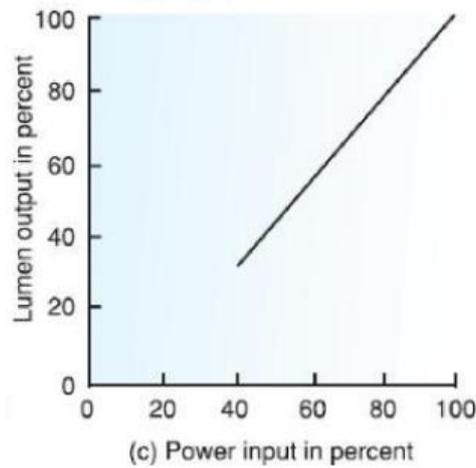


Figura 5.11 - Perfil de Iluminação para o horário de Verão

### 5.3.3 Análise de Potências e consumo

Os valores de potência poupada por lâmpada de HPS para ter 50% de fluxo luminoso, segundo alguns autores, pode chegar aos 45-50% da potência total da lâmpada. Segundo a National Electrical Manufacturers Association [32], esse valor estará nos 40%, tal como mostra o gráfico da figura 5.12, sendo esse o valor usado neste trabalho.



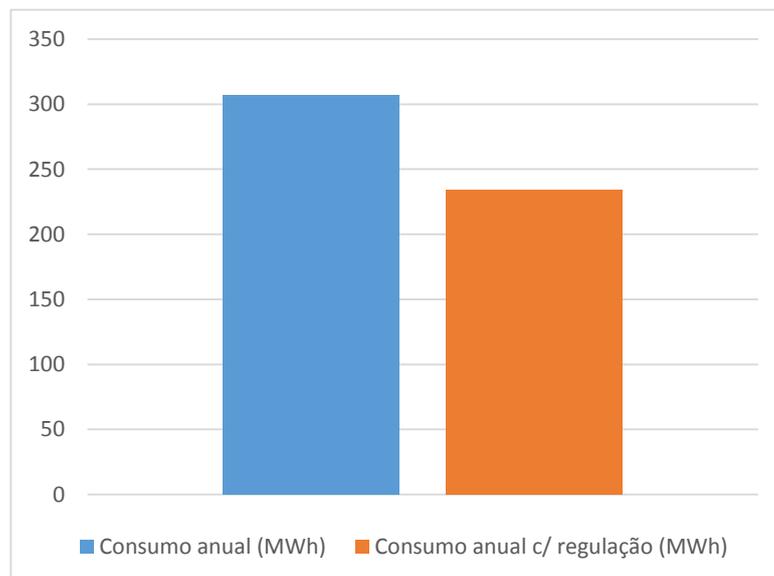
**Figura 5.12** - Variação do fluxo luminoso em função da potência numa lâmpada de HPS [32]

Na tabela 5.4 tem-se a potência total da instalação, havendo distinção da potência das luminárias e dos balastros. De notar que as perdas no balastro com regulação de fluxo luminoso a 50% são 13 W [30]. A funcionar neste modo ter-se-á consumo de 60% da potência total, tal como definido anteriormente.

**Tabela 5.4** - Potência por equipamento a 100% e com regulação de fluxo

	HPS a 100%	Regulação de Fluxo para 50%
<b>Lâmpadas (W)</b>	250	150,00
<b>Perdas no Balastro (W)</b>	23	13
<b>Potência por luminária (W)</b>	273	163
<b>Nº de luminárias</b>	264	264
<b>Potência total (W)</b>	72072	43032

Do ponto de vista energético, usando os perfis de iluminação definidos anteriormente, obtém-se poupanças anuais de 23,66%, o que considerando que estamos a falar numa instalação que consome acima dos 300 MWh por ano, é uma poupança considerável. No gráfico da figura 5.13 são comparados os consumos anuais da solução existente e da que se está a implementar.



**Figura 5.13** - Comparação do consumo anual (MWh)

### 5.3.4 Análise Económica

Os dados utilizados neste estudo de caso, relativamente ao preço por kWh, taxa de inflação e taxa de atualização de capital, foram os mesmos que os do caso anterior.

Os custos de manutenção com a substituição das lâmpadas não foram tidos em consideração, uma vez que estes já existiam previamente, independentemente da implementação ou não desta solução. O preço por balastro é 197€, sendo o custo de instalação por luminária de 40€. Para programar todos os balastros é necessário um controlador LCN 8600/00 MultiOne Interface USB 2 DALI cujo preço é 950€. [33]

O tempo de vida usado nos cálculos do VAL, TIR e PRI foi 18 anos, sendo o número inteiro inferior arredondado da divisão entre o tempo de vida útil e o número de horas de uso anuais.

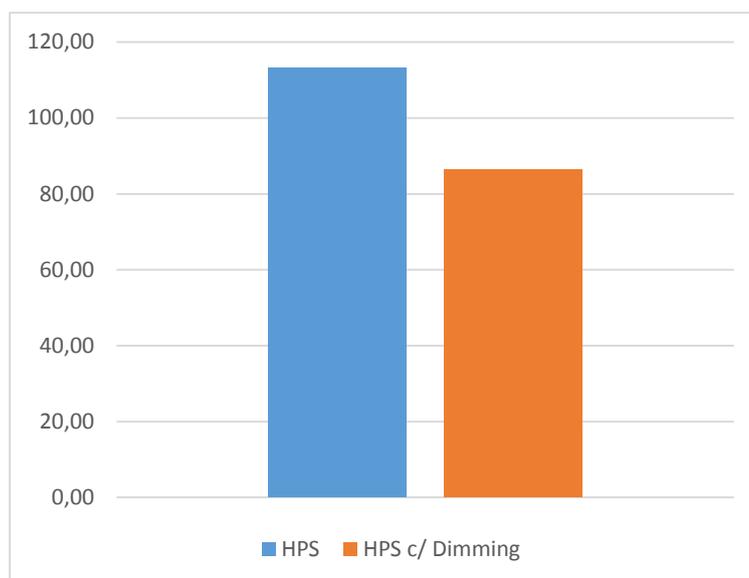
Na tabela 5.5 apresenta-se a comparação entre a solução existente e a solução proposta. Em termos económicos a solução proposta é bastante vantajosa, apresentando um VAL de 80 mil euros durante o seu tempo útil de vida. A TIR é de 18%, bastante acima dos 5% da taxa de atualização de capital.

**Tabela 5.5** - Comparação entre a solução existente e a solução com *dimming*

	Solução atual (HPS)	Solução com <i>dimming</i>
<b>Potência total (W)</b>	72072	43032
<b>Horas a 100%</b>	4258	1758
<b>Horas a 50%</b>	0	2500
<b>Consumo anual (MWh)</b>	306,88	234,28
<b>Custo energético anual (€)</b>	46 032,39	35 142,39
<b>Poupança energética anual (€)</b>	-	10 890,00
<b>Custo Investimento (€)</b>	-	63 518,00
<b>VAL (€)</b>	-	80 051,34
<b>TIR</b>	-	18%
<b>PRI (anos)</b>	-	4,90

### 5.3.5 Emissões de CO<sub>2</sub>

Tal como no caso anterior, a contribuição para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> da solução com *dimming* é de 26,79 toneladas anuais, o que é bastante benéfico para o ambiente. Na figura 5.14 temos o gráfico comparativo da quantidade de emissões de CO<sub>2</sub> anuais para a atmosfera devido ao consumo de energia nas luminárias desta via rápida.



**Figura 5.14** - Emissões de CO<sub>2</sub> (toneladas) anuais, nas duas soluções

### 5.3.6 Conclusões

Financeiramente a solução projetada é bastante benéfica em relação à solução existente, pois garante uma grande poupança energética e, conseqüentemente, retorno financeiro. No tempo de vida útil dos balastros, esta solução tem um VAL e um TIR bastantes bons, compensando o investimento.

Em termos ecológicos, ao contribuir para uma redução de 26,79 toneladas de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, ajuda a cumprir as metas estabelecidas pela UE para os gases de efeito de estufa.

O uso deste tipo de soluções em instalações com poucos anos é bastante pertinente, pois permite obter poupanças sem ter de fazer substituição de equipamentos que ainda são relativamente atuais. Possivelmente com a substituição das luminárias de HPS por luminárias LED conseguir-se-ia ter consumos energéticos inferiores, no entanto estar-se-ia a contribuir para o desaproveitamento de equipamentos em bom estado, o que contribuiria para o aumento do lixo eletrônico que cada vez mais é um problema, e seria necessário um investimento inicial mais elevado.



## 6. Conclusões e Trabalhos futuros

### 6.1 Conclusões

O aumento dos custos de IP, proporcionado pelo aumento considerável nos últimos anos do preço de energia elétrica conjugado com o maior número de pontos de luz, tem levado a uma maior preocupação dos municípios em reduzir a fatura energética. Conjugando isto com as metas europeias para aumento da eficiência energética, e consequente redução da emissão dos gases de efeito de estufa, tem levado a uma substituição de tecnologias na IP. É neste sentido que têm surgido no mercado novos sistemas de controlo de IP, bem como novas tecnologias de iluminação.

Nesta dissertação foram comparadas luminárias convencionais usadas na IP em Portugal com as novas luminárias LED que, para além de serem muito mais eficientes e ecológicas, permitem estar integrados em variados sistemas de telegestão, adequados aos diversos modos de utilização das vias públicas. Também foram analisados os diversos métodos de controlo usados atualmente em IP.

Posteriormente analisaram-se dois estudos de caso. No primeiro caso pretendeu-se demonstrar os benefícios da substituição de luminárias convencionais por luminárias LED mais eficientes, com e sem controlo, sendo por isso projetada uma solução adequada à via em estudo de acordo com o DREEIP e mudando a posição e orientação das luminárias de forma a maximizar a luminância e diminuir a potência necessária. No segundo pretendeu-se demonstrar que em equipamentos em bom estado ou recentes se consegue obter poupanças consideráveis usando os novos sistemas de controlo para regulação de fluxo luminoso das lâmpadas de HPS. Em ambos os cenários se consegue contribuir para a redução de CO<sub>2</sub> com valores consideráveis, sendo boas soluções do ponto de vista ambiental e com vista a atingir as metas estipuladas até 2020.

Nestes dois cenários em estudo não foram projetadas soluções usando sensores visto ser impossível prever a utilização das duas vias em análise.

Durante a realização deste trabalho foram vistas inúmeras soluções de diversas marcas, disponíveis no mercado, com características diferentes. Seria bom a criação de alguma entidade governamental que regule os novos equipamentos de telegestão que podem ser implementados em IP, obrigando a que seja possível interligar equipamentos de marcas distintas, pois no futuro corre-se o risco de equipamentos vizinhos terem sistemas de controlo e gestão incompatíveis, o que dificultará a integração num sistema de controlo central ou regional.

## **6.2 Trabalhos futuros**

Após a conclusão deste trabalho apresentam-se alguns tópicos suscetíveis de estudo no futuro, de forma a complementar esta dissertação e a melhorar os sistemas de IP, obtendo uma melhor eficiência energética:

- Implementar parcerias com Municípios, acompanhando a implementação no terreno e gestão de novas tecnologias de IP, monitorizando posteriormente consumos de energia e comparando-os com os cálculos teóricos.
- Comparar a solução projetada no ponto 5.2 com soluções LED com e sem controlo.
- Estudar o impacto na rede elétrica provocado pelos harmónicos provenientes da introdução de aparelhos eletrónicos, como balastros eletrónicos.
- Comparar o impacto na rede elétrica da substituição de luminárias convencionais por luminárias LED.

## Bibliografia

- [1] Diário da República, “Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013”.
- [2] “EUROPA 2020,” [Online]. Available: [http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/targets/index\\_pt.htm](http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/targets/index_pt.htm).
- [3] “Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública,” 2011.
- [4] APREN, “ESTRATÉGIA NACIONAL PARA A ENERGIA 2020,” [Online]. Available: <http://www.apren.pt/pt/dadostecnicos/index.php?id=206&cat=197>. [Acedido em 29 Outubro 2015].
- [5] Diário da República, “Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010”.
- [6] “PORDATA,” [Online]. Available: <http://www.pordata.pt/Home>.
- [7] “EDP SU,” [Online]. Available: <http://www.edpsu.pt/pt/negocios/tarifasehorarios/tarifasBTN/Pages/TarifadeIP.aspx>. [Acedido em 18 11 2015].
- [8] S. P. d. I. Ambiental, “aas,” [Online]. Available: [http://www.aas-inovamb.pt/index.php?option=com\\_content&view=article&id=70&Itemid=69](http://www.aas-inovamb.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=70&Itemid=69). [Acedido em 2015 11 4].
- [9] Ministério da Indústria e Energia, “Decreto Lei 341/90, de 30 de Outubro”.
- [10] Ministério da Economia e Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, “Portaria 454/2001, de 5 de Maio”.
- [11] “Grah LED Lighting,” [Online]. Available: <http://www.grahlighting.eu/en/learning-centre>. [Acedido em 25 11 2015].
- [12] R. F. M. Brandão, “Eficiência Energética na Iluminação Pública,” *Neutro à Terra*, pp. 55-60, Dezembro 2013.
- [13] E. L. Garrido, “Concepção e Certificação de nova geração de candeeiros de Iluminação Pública,” [Online]. Available:

- [http://paginas.fe.up.pt/~ee03096/index\\_ficheiros/Page706.htm](http://paginas.fe.up.pt/~ee03096/index_ficheiros/Page706.htm). [Acedido em 30 11 2015].
- [14] T. Q. Khan, P. Bodrogi, Q. T. Vinh, H. Winkler, *LED Lighting Technology and Perception*, Wiley - VCH, 2015.
- [15] Divamia, “GME - Folheto Técnico v0.5,” Águeda.
- [16] A. V. Zeller, “Manual de Boas Práticas para Cadastro de IP,” *Neutro à Terra*, 2014.
- [17] EDP Distribuição, “Manual de iluminação pública, volume 2 - componentes de iluminação,” 2010.
- [18] A. V. Zeller, “Reguladores centralizados de fluxo: erros e omissões,” *O Instalador*, pp. 52-57, Março 2014.
- [19] Schreder, “Telegestão - Schreder,” [Online]. Available: <http://www.schreder.com/pts-pt/AboutUs/Telegestao/Pages/default.aspx>. [Acedido em 4 Janeiro 2016].
- [20] Owllet Streetlight , [Online]. Available: <http://owllet-streetlight.com/pt/nutzen/>. [Acedido em 4 Janeiro 2016].
- [21] Schröder, *OWLET - Controlo inteligente para iluminação eficiente*, 2013.
- [22] Solidmation - Urban Automation, “Sistema Inteligente de Controle da Iluminação Pública. Smart lighting”.
- [23] Gene Energy - Iluminação Pública. [Online]. Available: <http://gene-energy.com/iluminacao-eficiente/iluminacao-publica/>. [Acedido em 5 Janeiro 2016].
- [24] Novalec - Iluminação Geral, [Online]. Available: <http://www.novalec.pt/533/iluminacao-publica-ecologica.htm>.
- [25] “Streetlights Are Getting Smarter,” *IEEE power & energy magazine*, pp. 67-80, may/june 2015.
- [26] P. O. Wanvik, “Road Lighting and Traffic Safety,” Noruega, 2009.

- [27] Schröder, “Iluminação Pública: desligar ou iluminar de forma inteligente,” 2014.
- [28] G. M. e. V. André Zunido, “Análise Financeira de Projectos de Software (VAL, TIR e PRI),” Algarve, 2006.
- [29] Pacto de Autarcas, “Factores de emissão,” [Online]. Available: [http://www.soglasheniemerov.eu/IMG/pdf/technical\\_annex\\_pt.pdf](http://www.soglasheniemerov.eu/IMG/pdf/technical_annex_pt.pdf). [Acedido em 28 Janeiro 2016].
- [30] Philips, “DynaVision Programmable Xtreme for SON,” [Online]. Available: [http://www.lighting.philips.pt/prof/lighting-electronics/hid/hid-electronic-outdoor/dynavision-programmable-xtreme-for-son/913700676766\\_EU/product](http://www.lighting.philips.pt/prof/lighting-electronics/hid/hid-electronic-outdoor/dynavision-programmable-xtreme-for-son/913700676766_EU/product). [Acedido em 27 Janeiro 2016].
- [31] EDP Valor - Departamento de Gestão e Qualificação de Fornecedores, “02/SQF/2013 Balastros Eletrónicos,” 2015.
- [32] N. E. M. Association, 2010. [Online]. Available: <http://www.isienergycontrols.com/wp-content/uploads/2011/05/NEMALSD14-2010Guidelines.pdf>. [Acedido em 28 Janeiro 2016].
- [33] Philips, Tabela de Iluminação Profissional, 2015.
- [34] Earth Observatory, [Online]. Available: <http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/view.php?id=79765>. [Acedido em 2 Novembro 2015].
- [35] NASA, [Online]. Available: <http://www.nasa.gov/content/iberian-peninsula-at-night/>. [Acedido em 2 Novembro 2015].
- [36] ERSE, [Online]. Available: <http://www.erse.pt/pt/Paginas/home.aspx>.
- [37] Light, [Online]. Available: <http://www.iluminacao-led.pt/index.php/produto/lampada-led-iluminacao-publica-e27-30w/>. [Acedido em 29 11 2015].
- [38] Electric, Schneider, *Sistemas de Controlo e Iluminação*, 2010.

[39] ERSE, “EDPD\_TC1 – Instalação de Relógios Astronómicos na Iluminação Pública”.

[40] Schröder, “TECEO - Portugues-Brochura-V5”.

[41] [Online]. Available: <https://marafado.wordpress.com/2012/12/26/poupar-e-por-o-poste-onde-faz-falta/>.

## Anexos

### A – Tabelas com informação usada na dissertação

**Tabela A.1** - Poupanças alcançadas com o programa “Eficiência Energética do Estado” no PNAEE 2016 (execução até 2013) [1]

Programa	Código da Medida	Energia Poupada (tep)	Meta 2016 (tep)	Execução face a 2016
		Final	Final	
Eficiência Energética no Estado	E8M1 - Certificação Energética dos Edifícios do Estado e ECO.AP	4769	106380	9%
	E8M2 E E8M3 - Planos de Ação de Eficiência Energética na Administração Pública - ECO.AP	1016		
	E8M6 - Transportes mais eficientes no Estado	165		
	E8M8 A E8M13 - Iluminação Pública Eficiente	3952		

**Tabela A.2** - Impacto da medida “Iluminação Pública Eficiente” no PNAEE 2016 (execução até 2013) [1]

Medida Ep1m4		Energia Final	Energia Primária
<b>Resultados</b>	Energia Economizada (tep)	3952	6203
<b>Metas</b>	Meta a 2016 (tep)	20209	31714
	Execução face a 2016	20%	
	Meta a 2020 (tep)	30301	47399
	Execução face a 2020		13%

**Tabela A.3** - Classes P [3]

Classes da Via	Eh,avg (lux)	Eh,min (lux)	Ev,min (lux)*	Esc,min (lux)*	Encandeamento Perturbador
P1	15	3	5	3	20
P2	10	2	3	2	25
P3	7,5	1,5	2,5	1,5	25
P4	5	1	1,5	1	30
P5	3	0,6	1	0,6	30
P6	2	0,4	0,6	0,4	35

\*Requerimentos adicionais no caso de ser necessário reconhecimento facial

**Tabela A.4 - Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada (FMLL) [3]**

Fonte de Luz	Tempo de Operação (mil horas)				
	4	6	8	10	12
Vapor de Sódio de Alta Pressão	0,98	0,97	0,94	0,91	0,9
Halogenetos Metálicos	0,82	0,78	0,76	0,74	0,73
Vapor de Sódio de Baixa Pressão	0,98	0,96	0,93	0,9	0,87
CFL	0,91	0,88	0,86	0,85	0,84
LED	---	---	---	---	0,95

**Tabela A.5 - Fator de Sobrevivência da Lâmpada (FSL) [3]**

Fonte de Luz	Tempo de Operação (mil horas)				
	4	6	8	10	12
Vapor de Sódio de Alta Pressão	0,98	0,96	0,94	0,92	0,89
Halogenetos Metálicos	0,98	0,97	0,94	0,92	0,88
Vapor de Sódio de Baixa Pressão	0,92	0,86	0,8	0,76	0,62
CFL	0,98	0,94	0,9	0,78	0,5
LED	---	---	---	---	0,95

**Tabela A.6 - Fator de Manutenção da Luminária (FML) [3]**

	Nível de Poluição	Tempo de Operação (mil horas)		
		4	8	12
IP 55 Difusor de Plástico	Baixo	0,92	0,8	0,71
	Alto	0,87	0,71	0,61
IP 65 Difusor de Plástico	Baixo	0,95	0,84	0,76
	Alto	0,89	0,76	0,66
IP 65 Difusor de Vidro	Baixo	0,97	0,9	0,82
	Alto	0,94	0,84	0,76
IP 66 Difusor de Plástico	Baixo	0,95	0,87	0,81
	Alto	-	0,81	0,74
IP 66 Difusor de Vidro	Baixo	0,97	0,93	0,88
	Alto	-	0,88	0,83

## B – Dados complementares dos estudos de caso

**Tabela A.7** - Custos de equipamento no caso de estudo 1

Equipamento	Custo (sem IVA)	IVA	Total c/ IVA	Quantidade
Luminária 40 LEDs 350 mA	342,82	23%	421,67 €	13
Luminária 16 LEDs 700 mA	314,05	23%	386,28 €	24
Luminária 40 LEDs 500 mA	347,82	23%	427,82 €	8
Unidade de Controlo	155	23%	190,65 €	45
Controlador	1600	23%	1 968,00 €	1

**Tabela A.8** - Custos por solução no caso de estudo 1

Custos por solução	Custo Luminárias	Custo Controlo	Custo total
LED a 100%	18 175,00 €	0,00 €	18 175,00 €
LED c/ controlo Owlet	18 175,00 €	10 547,25 €	28 722,25 €

**Tabela A.9** - Contribuição para a emissão de CO<sub>2</sub> no caso de estudo 1

Solução	Toneladas de CO <sub>2</sub>
HPS	12,02
LED a 100%	3,05
LED c/ controlo	1,93

**Tabela A.10** - Custos no caso de estudo 2

	Custo (c/ IVA)	Quantidade	Custo total
HID-DV PROG Xt 250 SON C2 208-277V	197,00 €	264	63 518,00 €
LCN 8600/00 MultiOne Interface USB 2 DALI	950,00 €	1	
Intalação por unidade	40,00 €	264	

**Tabela A.11** - Contribuição para a emissão de CO<sub>2</sub> no caso de estudo 2

Solução	Toneladas de CO <sub>2</sub>
HPS	113,24
HPS c/ Dimming	86,45

## C – Características das luminárias Teceo 1

<b>Módulo LEDSafe®</b>	Pré-instalado	
<b>Difusor</b>	Vidro	Extra-claro
		Auto-limpável
<b>EMoldura embelezadora</b>		
<b>Sistema Back Light Control</b>		
<b>ELÉTRICA</b>		
<b>Gama de potência</b>	Intensidade de corrente	350mA 500mA 700mA
<b>Fluxo luminoso constante</b>		
	1-10V	
<b>Dimming/Telegestão</b>	Bi-Potência	50%
	Personalizado	à medida
	Fotocélula - Sensor movimento (PIR)	
	Telegestão OWLET	LuCo
<b>Classe elétrica</b>	Classe II	
	Classe I	
<b>Proteção contra sobre tensão</b>		10kV
<b>Corte de corrente automático</b>		Abertura da tampa
<b>Solar</b>	12/24V	

LENSOFLEX®2							Fluxo residual @ t <sub>a</sub> 25°C (°)
Quantidade de LEDs	Branco neutro (4000K)	16 LEDs	24 LEDs	32 LEDs	40 LEDs	48 LEDs	@100.000h
Corrente: 350mA	Fluxo nominal (lm)*	2400	3600	4800	6000	7200	90%
	Potência consumida (W)	18	27	36	44	53	
	Versão solar - 12V	✓	✓	✓	✓	✓	
	Versão solar - 24V	✓	✓	✓	✓	✓	
Corrente: 500mA	Fluxo nominal (lm)*	3100	4700	6300	7900	9500	
	Potência consumida (W)	26	38	51	63	75	
	Versão solar - 12V	✓	✓	✓	-	-	
	Versão solar - 24V	✓	✓	✓	✓	✓	
Corrente: 700mA	Fluxo nominal (lm)*	4000	6100	8100	10200	12200	
	Potência consumida (W)	36	55	71	90	107	
	Versão solar - 12V	✓	-	✓	-	-	
	Versão solar - 24V	✓	-	✓	-	-	

## D – Características do Balastro Eletrônico HID-DV PROG Xt 250 SON C2 208-277V

### • General Information

Versão	-
Tipo de lâmpada nominal	SON
Número nominal de lâmpadas	1 piece/unit
Suitable For Outdoor Use	Sim
Number Of Products On MCB (16A Type B) (Nom)	11
Default Lamp Selected	SON250
Recendimento automático	Sim

### • Operating and Electrical

Tensão de entrada do módulo	208-277 V
Frequência de entrada	50/60 Hz
Minimum Mains Voltage Operation (Min)	172 V
Frequência de funcionamento* (Nom)	0.20 kHz
Power Factor 100% Load (Nom)	0.99
Tensão da ignição (Max)	5 kV
Ignition Switch-Off Time (Max)	20 min
Mains Voltage Performance (AC)	188-305V
Mains Voltage Safety (AC)	160-305V

Power Factor 50% Load (Min)	0.98
Corrente de fuga à terra (Max)	0.7 mA
Tensão de pico de saída (Max)	250 V
Inrush Current Width	4 ms
Tolerância mínima da potência	-3%/+3%
Corrente de entrada do módulo (Nom)	1.32 A
Pico da corrente de irrupção (Max)	4 A

### • Wiring

Cable Capacity	1000 pF
Output Wires Mutual (Nom)	
Cable Length From Device To Lamp	10 m
Área descarnada	10.0-11.0 mm
Ballast Contact Wire Cross Section	0.50-2.50 mm <sup>2</sup>
Tipo de conector	WAGO série 804

### • System characteristics

Rated Ballast-Lamp Power	250
Rated Lamp Power On SON	250 W
Potência do sistema em SON	273 W
Potência da lâmpada com SON	250 W

Perda de energia com SON	23 W
Power Loss On SON While Dimming	13 W

#### • Temperature

Temperatura de funcionamento (Max)	50 °C
Temperatura de funcionamento (Min)	-30 °C
Temperatura de armazenamento (Max)	50 °C
Temperatura de armazenamento (Min)	-30 °C
Vida útil da caixa T (Nom)	80 °C
Caixa T desligada (Min)	92 °C

#### • Controls and Dimming

Protocolo de controlo	PROG
Pre-Set Integrated Controls	Dali
Programmable Dimming Options	ALO/CLO/Dynadimmer/lineswitch/AmpDi
Run-Up Time Before Dimming	0 min
Regulação descendente	13.3 %/sec
Regulação ascendente	13 %/sec
Control Input Protection	Sim (Basic insulation)
Nível de regulação	20%-100%

#### • Mechanical and Housing

Compartimento	C2
---------------	----

#### • Approval and Application

Proteção contra sobretensão	EN61547 (L-L 2kV, L-G 4kV), 10kV TIL kV
IP Classification	34
Luminaire	
Proteção ativa de temperatura	Sim
EMI 9 kHz... 300 MHz	CISPR 15 ed 7.2
EMI 30 MHz.. 1000 MHz	-
Padrão de segurança	IEC 607, 609, 926, 928 [ Não existe nenhum padrão para os controladores de lâmpadas HID. Requisitos nestes padrões a serem utilizados se forem considerados relevantes para o produto.]
Padrão de qualidade	ISO 9000:2000
Norma ambiental	ISO 14001
Emissões de corrente harmónica	IEC 61000-3-2
Vibrações	IEC 68-2-6 Fc (10-150Hz, 2G)
Lombas	IEC 68-2-29 Eb (10G/16ms)
Humidade	EN 61347-2-12 clause 11
Marca de certificação	Marca F Marca CE Certificação ENEC Certificação VDE-EMV
Nível de zumbido e ruído	37 dB(A)

#### • Product Data

Full product code	871829121991000
Order product name	HID-DV PROG Xt 250 SON C2 208-277V
EAN/UPC - Product	8718291219910
Order code	21991000
Numerator - Quantity Per Pack	1
Numerator - Packs per outer box	6
Material Nr. (12NC)	913700676766
Net Weight (Piece)	1.420 kg