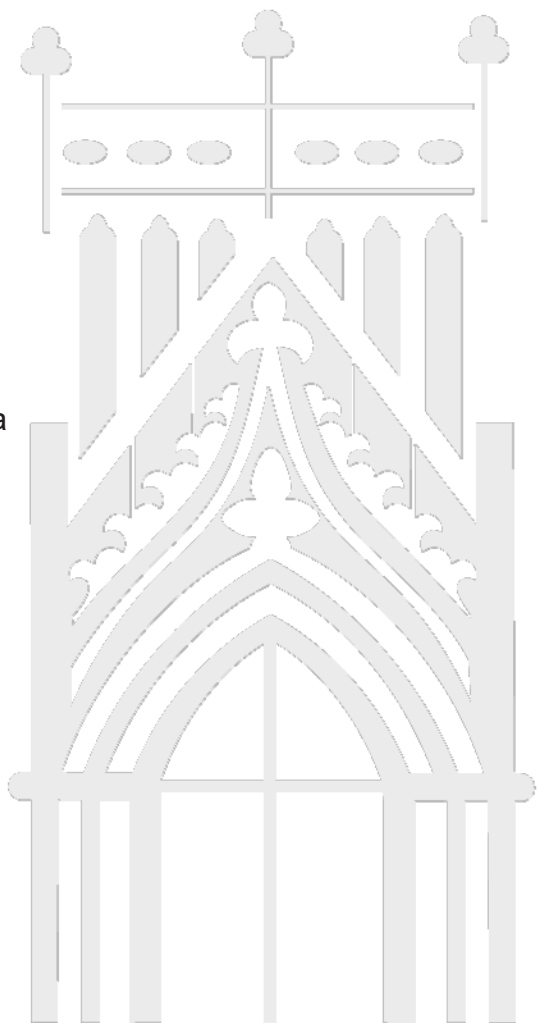


Mestrado em Gestão  
Administração Pública

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ILUMINAÇÃO  
PÚBLICA - CONTRATO DE GESTÃO DE EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA DA  
CIDADE DA COVILHÃ

Carlos Filipe Correia Felizardo de Oliveira

junho | 2021





**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA**  
**CONTRATO DE GESTÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ILUMINAÇÃO**  
**PÚBLICA DA CIDADE DA COVILHÃ**

---

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE**  
**EM GESTÃO - RAMO ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA**

**CARLOS FILIPE CORREIA FELIZARDO DE OLIVEIRA**

**ORIENTADOR: PROFESSOR DOUTOR AMÂNDIO PEREIRA BAÍA**

**JUNHO 2021**

## Agradecimentos

A realização deste trabalho não teria sido possível sem a contribuição individual de um conjunto de pessoas que direta ou indiretamente permitiram a sua concretização.

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao meu orientador, o Professor Doutor Amândio Baía, por toda a compreensão, disponibilidade e todo o trabalho de orientação.

A todos os organismos que forneceram todas as diversas fontes de dados utilizadas neste trabalho o meu bem-haja.

O meu agradecimento especial a todos os meus familiares e amigos, pela paciência, compreensão e motivação, que estiveram sempre ao meu lado apoiando-me ao longo do meu percurso académico e profissional. Sem eles a concretização deste objetivo não seria possível.

## Resumo

A engenharia pressionada pelos dados ambientais e pela opinião pública, que cada vez se mostra mais preocupada com o meio ambiente, e que tenta, através de mudança de comportamentos travar ou minimizar o aquecimento global, tem a obrigação de apresentar soluções para o problema da eficiência. Mais concretamente a engenharia da eficiência energética e das energias renováveis têm um papel preponderante no presente e no futuro.

Existe um sector que tomamos por garantido e ao qual não lhe é imputada a devida importância. Este sector manteve-se, até recentemente, na mesma tecnologia, durante mais de 30 anos. Falamos do sector da Iluminação Pública.

Contudo, existem empresas com grandes planos já definidos e em marcha para mudar esta situação. A troca de tecnologia para a iluminação de vias e jardim, para a tecnologia LED, tecnologia reconhecida pela sua elevada eficiência energética, baixo consumo energético e elevados tempos de vida, é inevitável, pois conduz a elevada poupança.

Esta poupança acontece graças ao avanço crescente na engenharia da eficiência energética, que chega aos municípios e outros clientes na forma de poupanças partilhadas. No caso particular do Município da Covilhã, a mudança de tecnologia permitiu uma poupança energética de 86,2%. O consumo com a Iluminação Pública desta cidade passou dos 1 793 952 kWh para os 248 413 kWh, o que se traduziu numa poupança significativa.

**Palavras-chave:** Iluminação Pública, Contratos ESCO, Eficiência Energética, Poupança, Telegestão.

## Abstract

Pressed by environmental data and public opinion, which is increasingly showing more concerned with the environment, and which tries, through the change of behavior to stop or minimize global warming, engineering has the obligation to present solutions to this notorious problem. More specifically, engineering of energy efficiency and renewable energies, have an important role in the present and in the future.

There is a sector that we take for granted and to which the electrical consumption is not an important piece, until now. This sector has remained, until recently, on the same technology, for more than 30 years. We are talking about the street lighting.

However, there are companies with big plans already defined and underway to change this situation. In addition to the exchange of technology for street and garden lighting, for LED technology, a technology recognized for its high energy efficiency, low energy consumption and long service life, leading to high savings.

This savings comes by the increasing advancement in efficiency engineering energy, which reaches municipalities and other customers in the form of savings shared. In this particular case, the change of street lighting technology, allowed savings energy of 86,2%. Electrical consumption of Covilhã's street lights went from 1,793,952 kWh to 248,413 kWh, which is a great and important savings.

**Keywords:** Street lighting; ESCO contracts; Energy Efficiency, Savings, Remote Management.

# Índice

|   |      |
|---|------|
| Agradecimentos .....  | ii   |
| Resumo .....  | iii  |
| Abstract .....  | iv   |
| Índice .....  | v    |
| Lista de Figuras .....  | vii  |
| Lista de Tabelas.....   | viii |
| Lista de Acrónimos .....  | ix   |
| <br>  |      |
| Introdução .....  | 1    |
| Capítulo I - Fundamentos Teóricos e Revisão Bibliográfica.....  | 3    |
| 1.1 Empresas de Serviços Energéticos (ESE) .....                | 3    |
| 1.1.1 Definição de ESE .....                                    | 3    |
| 1.1.2 Enquadramento Histórico das ESE.....                      | 4    |
| 1.1.3 Serviços prestados pelas ESE.....                         | 4    |
| 1.2 Contratos ESCO (Energy Service Company).....                | 5    |
| 1.2.1 Contratos de Desempenho Energético .....                  | 5    |
| 1.2.2 Principais vantagens dos Contratos ESCO .....             | 6    |
| 1.2.3 Modelo Financeiro .....                                   | 6    |
| 1.2.4 Poupança de Energia .....                                 | 8    |
| 1.2.5 Futuro dos ESCO .....                                     | 8    |
| 1.3 Iluminação em vias Públicas: O caso Português .....         | 9    |
| 1.3.1 Tipos de lâmpadas em uso na Iluminação Pública (IP) ..... | 11   |
| 1.3.2 Iluminação: luminância e iluminância .....                | 14   |
| 1.3.3 Luminárias de iluminação rodoviária .....                 | 16   |
| 1.3.4 Luminárias sem telegestão .....                           | 16   |
| 1.3.5 Luminárias com telegestão.....                            | 17   |
| Capítulo II - Estudo de Caso .....                              | 20   |
| 2.1 A Cidade da Covilhã.....                                    | 20   |
| 2.2 Iluminação de Vias Públicas no Concelho da Covilhã .....    | 22   |
| 2.3 Enquadramento do Projeto ESCO .....                         | 25   |
| 2.4 Metodologia .....   | 25   |
| 2.5 Análise e Resultados das Medições .....                     | 29   |
| 2.5.1 Potência nas Luminárias sem telegestão .....              | 33   |
| 2.5.2 Potência nas Luminárias com telegestão.....               | 34   |
| 2.5.3 Período de Redução do Fluxo Luminoso (Dimming).....       | 36   |
| 2.5.4 Cálculo do Consumo .....                                  | 37   |

|   |    |
|---|----|
| 2.5.5 Cálculo da Poupança .....                                   | 38 |
| 2.6 Poupanças Resultantes da Implementação do Contrato ESCO ..... | 39 |
| Conclusões .....  | 42 |
| Referências Bibliográficas .....                                  | 44 |

## Lista de Figuras

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Figura 1  | Mecanismos financeiros dos ESCO . . . . .   | 7  |
| Figura 2  | Processo de financiamento de um típico contrato ESCO . . . . .                      | 7  |
| Figura 3  | Representação do consumo energético em Portugal no ano de 2009 . . . . .            | 9  |
| Figura 4  | Evolução do consumo pela IP entre 1994 e 2009 . . . . .                             | 10 |
| Figura 5  | Evolução da tarifa da IP . . . . .  | 11 |
| Figura 6  | Iluminação pública na Península Ibérica . . . . .                                   | 13 |
| Figura 7  | Exemplo de uma luminária com telegestão (conector NEMA)                             | 18 |
| Figura 8  | Luminária do tipo viária . . . . .  | 21 |
| Figura 9  | Luminária do tipo de jardim . . . . .   | 22 |
| Figura 10 | Mapa da instalação realizada, imagem retirada do software de telegestão. . . . .    | 22 |
| Figura 11 | Luminária do tipo histórica . . . . .   | 24 |
| Figura 12 | Gráfico das percentagens das luminárias substituídas na Cidade da Covilhã . . . . . | 24 |
| Figura 13 | Luxímetro utilizado nas medições . . . . .  | 27 |
| Figura 14 | Pinça amperimétrica utilizada nas medições . . . . .                                | 27 |
| Figura 15 | Valores de luminância: classe de via - ME4 . . . . .                                | 31 |
| Figura 16 | Valores de luminância: classe de via - ME3 . . . . .                                | 32 |
| Figura 17 | Valores de luminância: classe de via - ME2 . . . . .                                | 32 |
| Figura 18 | Gráfico referente à potência das luminárias sem telegestão . . . .                  | 34 |
| Figura 19 | Gráfico referente à potência das luminárias com telegestão . . . .                  | 35 |
| Figura 20 | Software de telegestão, com perfil de variação do fluxo luminoso                    | 37 |
| Figura 21 | Gráfico do consumo do primeiro ano, face à <i>baseline</i> . . . . .                | 40 |



## Lista de Tabelas

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Tabela 1  | Mapa de quantidades instaladas na Covilhã e suas potências . . . .                             | 23 |
| Tabela 2  | Consumo IP Município da Covilhã 2017 . . . . .   | 25 |
| Tabela 3  | Caracterização de classe de via . . . . .  | 28 |
| Tabela 4  | Fatores de determinação de classe ME . . . . .   | 29 |
| Tabela 5  | Registo dos valores lumínicos . . . . .  | 30 |
| Tabela 6  | Percentagem de fluxo luminoso mediante horário . . . . .                                       | 36 |
| Tabela 7  | Resumo da poupança prevista. Consumo por tipo de luminária e energia total consumida . . . . . | 38 |
| Tabela 8  | Resumo da economia gerada . . . . .  | 39 |
| Tabela 9  | Economia de energia . . . . .  | 39 |
| Tabela 10 | Variação da tarifa de IP desde do ano de implementação até ao presente . . . . .               | 41 |

## Lista de Acrónimos

|                   |   |
|-------------------|---|
| A                 | Ampére  |
| AVAC              | Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado           |
| cd/m <sup>2</sup> | Luminância  |
| CIE               | Comissão Internacional de Iluminação                |
| CIM               | Comunidade Intermunicipal                           |
| ERSE              | Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos        |
| ESCO              | <i>Energy Service Company</i>                       |
| ESE               | Empresas de Serviços Energéticos                    |
| FEUP              | Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto    |
| FMLL              | Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada      |
| FSL               | Fator de Sobrevivência                              |
| GPS               | Sistema de Posicionamento Global                    |
| GW                | Gigawatt  |
| GWH               | Gigawatt hora                                       |
| HPM               | Mercúrio de Alta Pressão                            |
| HPS               | Sódio de Alta Pressão                               |
| IEE               | Índice de Eficiência Energética                     |
| IEEE              | Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrónicos |
| INE               | Instituto Nacional de Estatística                   |
| IoT               | Internet das Coisas                                 |
| IP                | Iluminação Pública                                  |
| IPG               | Instituto Politécnico da Guarda                     |
| IRC               | Índice de Reprodução de Cores                       |
| K                 | Temperatura de Cor                                  |
| km                | Quilómetro  |
| kW                | Quilowatt   |
| kWh               | Quilowatt-hora                                      |
| kWh/ano           | Quilowatt por ano                                   |
| LED               | Díodo Emissor de Luz                                |
| lm                | Lúmen   |
| lm/W              | Lúmen por watt                                      |
| Lx                | Lux   |
| MW                | Megawatt  |

|      |   |
|------|---|
| MWh  | Megawatt hora   |
| NASA | Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço              |
| SI   | Sistema Internacional                                       |
| SSL  | Iluminação em estado sólido ( <i>Solid State Lighting</i> ) |
| UBI  | Universidade da Beira Interior                              |
| V    | Volt  |
| W    | Watt  |

## Introdução

A preocupação com o meio ambiente, é um tema que se encontra na ordem do dia, e o qual tem merecido cada vez maior relevância quer a nível mundial, quer para a população em geral, quer para as empresas em particular. Existe uma crescente preocupação com os efeitos das alterações climáticas, com a qualidade do ar, com os gases de efeito estufa e as partículas poluentes.

Face a estas preocupações tem havido uma procura de alternativas que reduzam o impacto no meio ambiente. No entanto, no panorama energético global existem duas grandes ameaças. A primeira prende-se com a necessidade que existe em ter preços competitivos e a segunda está relacionada com o impacto ambiental negativo proveniente da crescente procura do consumo energético. Desta forma tem havido um crescente enfoque nas energias renováveis e na eficiência energética. A eficiência energética surge como uma resposta para a melhor utilização da energia permitindo a redução do seu consumo.

O principal objetivo deste estudo prático é demonstrar a eficácia da implementação de medidas de eficiência energética na Iluminação Pública, doravante IP, para a redução do consumo de energia elétrica, aumentando conseqüentemente o nível de poupança para as entidades promotoras e responsáveis, neste caso concreto para o Município da Covilhã.

A nível de organização, o presente projeto é constituído por dois capítulos, tendo por tema a eficiência energética na iluminação pública. O primeiro capítulo é dedicado à introdução do tema, onde é referida a sua relevância e feito o seu enquadramento, bem como são definidos os objetivos deste estudo. No mesmo capítulo é feita uma descrição exaustiva de todos os fundamentos teóricos de forma a contextualizar o tema. Desta forma é definido e explicado o modelo de negócio das empresas de serviços energéticos, são definidos e explicados os contratos ESCO e é feita uma breve explicação da iluminação nas vias públicas.

O segundo capítulo foca-se na apresentação do estudo do caso. Primeiramente é feita a caracterização geral da iluminação das vias públicas no Concelho da Covilhã. Seguidamente é feito o enquadramento do projeto, apresentada a metodologia para a sua realização e por fim é realizada a análise geral aos resultados. No final do segundo capítulo é feita uma apreciação global dos resultados obtidos.

Por último são apresentadas as conclusões do trabalho realizado e algumas sugestões para trabalhos futuros.

## Capítulo I - Fundamentos Teóricos e Revisão Bibliográfica

Este capítulo ir-se-á debruçar sobre a revisão bibliográfica e o estado da arte dos conceitos base deste estudo. Irá também apresentar todo o processo dos contratos ESCO (*Energy Services Company*), desde das empresas que o difundem e são responsáveis pela sua implementação, aos próprios contratos ESCO, bem como ao que se aplicam estes contratos energéticos e onde começaram a surgir.

Posteriormente, ir-se-á apresentar de uma forma resumida, o ponto de situação da Iluminação Pública de Portugal, bem como as tecnologias em vigor e os equipamentos responsáveis pelo ligar e desligar da Iluminação Pública.

Por fim, e já com as vantagens dos contratos ESCO explicadas, ir-se-á apresentar o conceito inovador por detrás do tema deste estudo, que é o serviço de poupança extra, designado como telegestão, neste caso em particular aplicado às luminárias viárias.

### 1.1 Empresas de Serviços Energéticos (ESE)

#### 1.1.1 Definição de ESE

A sigla ESE provém de Empresa de Serviços Energéticos, o seu *core business* assenta na elaboração, instalação, manutenção e por vezes financiamento dos sistemas energéticos.

Estas empresas centram-se no desempenho energético, na forma como a energia é utilizada, para que possa atingir melhores níveis de eficiência. Uma empresa de Serviços Energéticos centra a sua atividade em projetar e aplicar sistemas e/ou medidas que permitam a redução do consumo de energia num edifício. Essas medidas são aplicadas e financiadas (total ou parcialmente) pela ESE, ficando assim com a responsabilidade de verificar se as economias correspondem ao que estava previsto. Estas empresas serão então remuneradas com as economias geradas pelas alterações efetuadas.

### 1.1.2 Enquadramento Histórico das ESE

As ESE surgiram na década de 70 nos Estados Unidos, com o seu modelo de negócio inovador, como uma alternativa à grave crise energética e com o objetivo primordial de permitir a poupança de energia. A preocupação com a eficiência energética manteve-se sempre presente, mas só voltou a estar em destaque na década de 90 com o aumento do preço da energia e com o desenvolvimento tecnológico. A preocupação ambiental que existe a nível mundial e as graves crises financeiras têm permitido o crescimento destas empresas que pretendem ter sistemas cada vez mais eficientes energeticamente.

### 1.1.3 Serviços prestados pelas ESE

Os serviços prestados pelas Empresas de Serviços Energéticos incidem sobretudo em auditorias energéticas e estudos de viabilidade. As auditorias energéticas são uma das atividades fulcrais deste setor uma vez que permitem contabilizar os consumos de energia, verificar a eficiência energética dos equipamentos e as perdas que ocorrem. As empresas do sector habitualmente são especialistas numa tipologia de auditoria. No entanto, uma auditoria completa é aquela que analisa minuciosamente todos os sistemas que consomem energia, sejam esta iluminação, aquecimento, águas ou outros.

Estas empresas fornecem serviços energéticos e serviços de melhoria da eficiência energética sendo ressarcidas pelos serviços prestados através das poupanças energéticas obtidas. Esta remuneração baseia-se total ou parcialmente no grau de concretização da melhoria de eficiência e na satisfação de outros critérios de desempenho energético que possam ser fixados contratualmente. Estas empresas do ramo energético começaram a crescer, tendo também desenvolvido capacidades a nível financeiro, com esta ampliação de conhecimento e do saber fazer. Foram as principais responsáveis pela promoção e execução dos contratos ESCO. Estas empresas também são responsáveis pelo desenvolvimento, instalação e arranjo financeiro, e pelos projetos de poupanças, cuja duração média se situa entre os 5 a 10 anos (intervalo típico para um contrato ESCO). O objetivo destas empresas é centrado no aumento da eficiência energética (Vine et al., 1999).

Os setores-alvo das empresas ESE, com o intuito de fechar um contrato ESCO, variam em função do país em estudo. Apesar das diferenças entre continentes, ou até entre

países do mesmo continente, podemos constatar que as empresas ESE têm o seu núcleo junto das atividades industriais e do sector municipal, em Portugal mais precisamente, junto do poder local, tais como Câmaras Municipais ou Comunidades Inter Municipais (CIM). Um dos sectores, recentemente em destaque, é o sector do comércio, que tem aderido às iniciativas ESCO, de forma dinamizar a sua apresentação energética e reduzir os custos inerentes à sua operação (Vine, 2005).

## **1.2 Contratos ESCO (*Energy Service Company*)**

Os denominados contratos ESCO, são instrumentos do sector privado, que oferecem importantes e significativos melhoramentos, não só a nível energético, mas também a nível de redução de emissões poluentes. Segundo Okay (2010) estes tipos de iniciativas permitem poupanças energéticas, associadas a uma elevada eficiência energética, além de uma “conservação” de energia e uma redução de emissões poluentes.

Estes géneros de contratos privados vigoram principalmente em países desenvolvidos ou em desenvolvimento. Apesar das necessidades de certas economias, o ambiente onde se desenvolvem os contratos ESCO atravessa diversas dificuldades, como por exemplo, na área do marketing, financeiras, institucionais, políticas e culturais.

### **1.2.1 Contratos de Desempenho Energético**

Os contratos ESCO estão destinados a entregar soluções energeticamente sustentáveis, especialmente nos mercados emergentes, tais como a Índia e toda a zona da Indonésia, existindo diversos estudos de casos próprios de países que compõem aquela zona do globo (Okay & Akman, 2010). O autor refere ainda a estreita ligação entre os contratos ESCO, a inovação, o saber fazer e estudos científicos realizados, de forma a demonstrar e a provar a real eficácia dos contratos, sendo o foco destas pesquisas as poupanças monetárias e a redução da taxa de poluição.

O interesse na eficiência energética teve o seu início com a crise do petróleo no início dos anos 70 do século passado. Com esta crise energética, surgiu nos anos 80 do mesmo século, nos Estados Unidos da América, o conceito do que veria a ser o contrato ESCO. Recentemente, verificou-se um novo aumento do interesse para este tipo de contratação. Este significativo e importante aumento, foi causado pela forte



preocupação ambiental atual. Os ESCO têm um forte impacto na transição energética, uma vez que se afirmam como um instrumento que entrega um conjunto de melhoramentos energéticos (poupanças, eficiência e conservação).

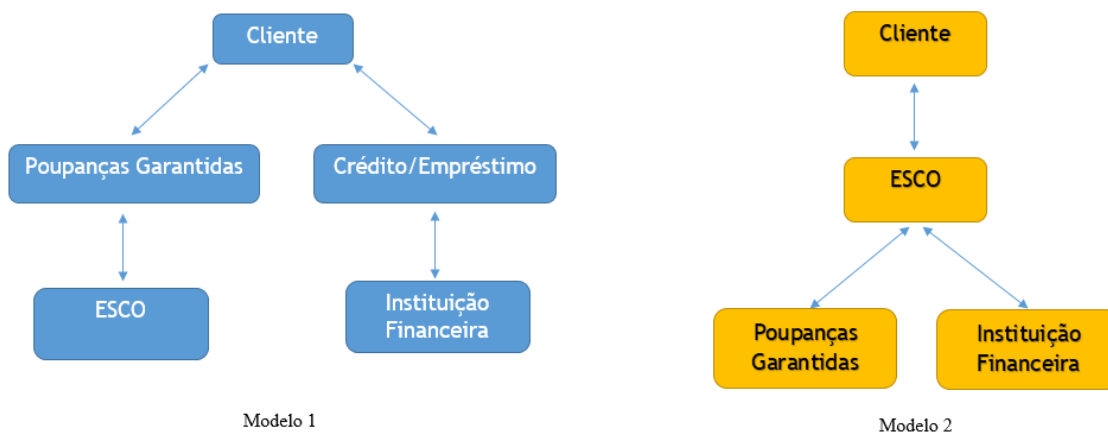
### **1.2.2 Principais vantagens dos Contratos ESCO**

Um contrato ESCO garante melhoramentos energéticos para os clientes, frequentemente em condições de projetos e implementações “chave na mão”. A remuneração devida de um contrato deste tipo é projetada tendo por base o montante de poupanças estimadas ou conseguidas para o cliente. Este modelo de atualização de serviços energéticos, tal como o visado neste trabalho, onde se procedeu à troca de tecnologia de iluminação pública da Cidade da Covilhã, que passou das típicas lâmpadas de sódio para a tecnologia LED (díodo emissor de luz). Este típico contrato ESCO, é diferenciado dos projetos de consultadoria pelo facto de baixar os riscos associados à sua implementação e baixar o risco financeiro associado às características técnicas e de eficiência que caracterizam o projeto.

Estes contratos dependem claramente da ligação ao sector bancário, uma vez que o seu desenvolvimento e crescimento estão dependentes dos empréstimos concedidos pelas instituições financeiras. Além disto, a obrigação ESCO não é tida em conta no balanço anual do cliente como dívida, o que poderá ser um fator decisivo para alguns clientes ou mercados.

### **1.2.3 Modelo Financeiro**

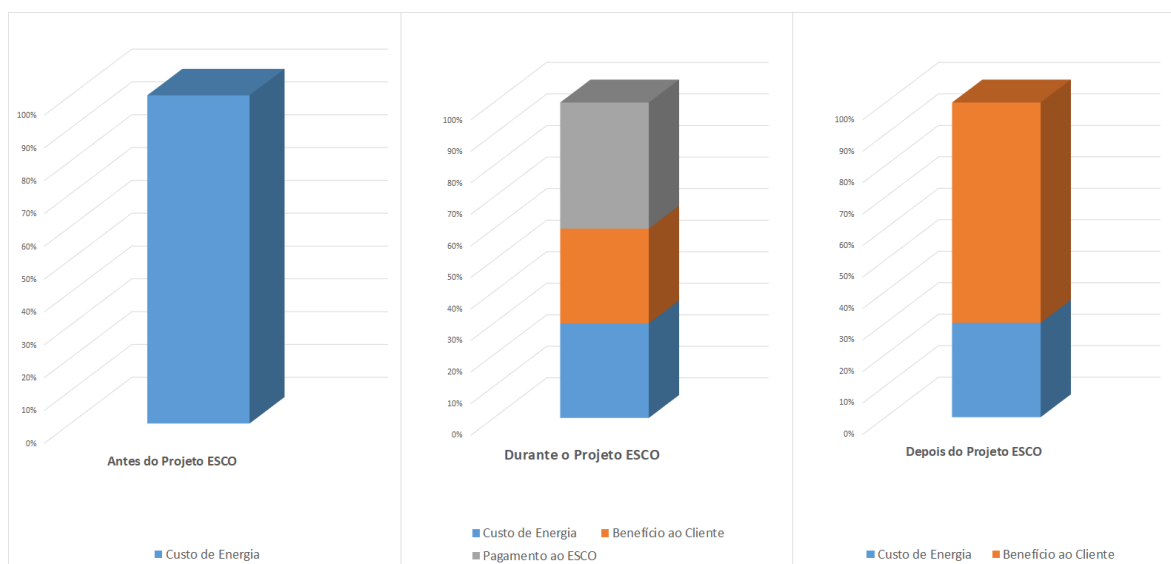
Os mecanismos financeiros nos quais assenta este regime de inovação e investimento é geralmente conhecido por poupanças garantidas ou o de poupanças partilhadas. Na primeira situação o contrato ESCO garante poupança anual suficiente para pagar a sua obrigação para com a instituição bancária. Ou seja, os clientes são diretamente financiados pelos bancos, tendo que pagar a totalidade do empréstimo contraído, tal como se exemplifica no modelo 1 da Figura 1.



**Figura 1:** Mecanismos financeiros dos ESCO (adaptado de (Nurchayanto & Urme, 2020))

Já o segundo método de ESCO, poupanças partilhadas, é o mais usual na Europa, principalmente em países tais como o Reino Unido, Áustria e Hungria (Okay & Akman, 2010). Neste tipo de acordo, a empresa responsável pelo ESCO é responsável pelos riscos associados ao crédito financeiro e ao risco de *eficiência alcançado* pelo projeto abraçado. A empresa ESCO tem a obrigação de pagar o empréstimo associado ao projeto. Neste cenário o cliente não tem qualquer risco nem obrigação, para além da obrigação para com a empresa ESCO de pagar a percentagem acordada durante o período de vigência do contrato, que corresponde ao modelo 2 da Figura 1.

Este regime de financiamento encontra-se em maior detalhe na Figura 2.



**Figura 2:** Processo de Financiamento de um típico contrato ESCO (adaptado de (Nurchayanto & Urme, 2020))

#### 1.2.4 Poupança de Energia

Um estudo conduzido por Nurcahyanto (2020) estipula um enorme potencial de poupanças nos sectores comerciais e industriais, que poderá ser na ordem dos 30% de toda a energia consumida nestes sectores. Tomando por exemplo alguns dados Europeus, onde a principal economia da Zona Euro, a Alemanha, que movimentou no ano de 2012, em contratos ESCO um total estimado entre 3,5 a 5,0 biliões de euros. No cenário Europeu, o mecanismo mais utilizado é do de poupanças partilhadas. Com especial foco no sector industrial, edifícios públicos, hospitais, escolas, escritórios e edifícios sociais, onde se realizam ESCO para melhorar a eficiência energética nos sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC), no controlo e monitorização do edifício (tal como a iluminação e ventilação) e ainda na iluminação pública.

Outros autores, tais como Painuly (Painuly et al., 2003), afirmam que os contratos ESCO na indústria ainda estão numa fase muito precoce, reafirmando existir uma grande margem para sucessivas melhorias junto das indústrias, nomeadamente nos países mais desenvolvidos. Já Stuart (Stuart et al., 2014) extrapola os resultados para o panorama global e afirma que existe espaço para a indústria mundial investir por ano entre 71 a 133 biliões de dólares em contratos ESCO.

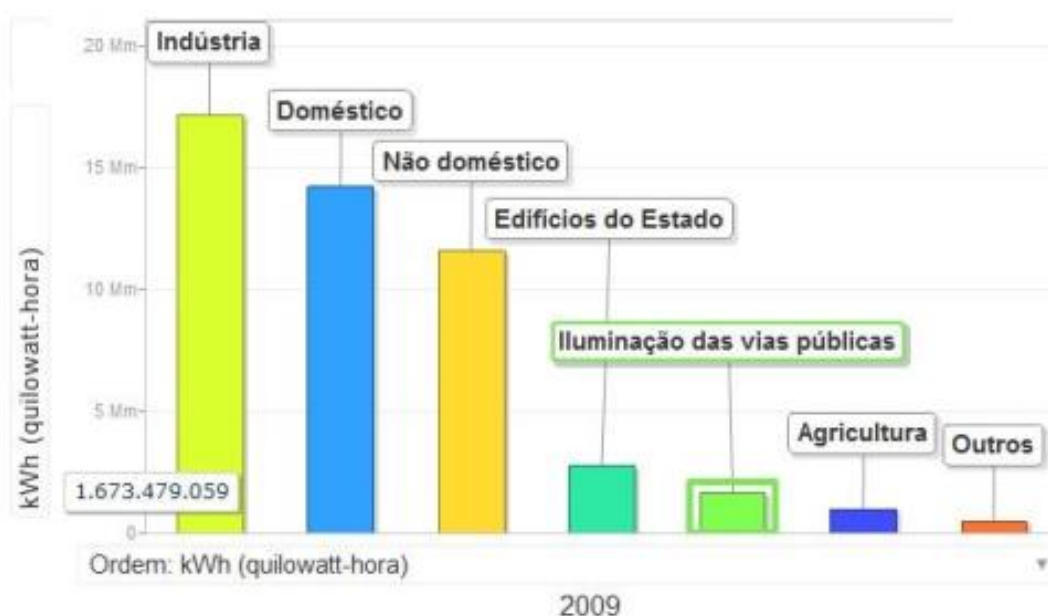
#### 1.2.5 Futuro dos ESCO

O futuro dos contratos ESCO passa, segundo Vine (Vine et al., 1999), por uma nova designação que será a de Super-ESCO. Este novo serviço será um serviço ESCO integral e completo, capaz de oferecer além da eficiência energética, outros complementos energéticos. Esta mudança é necessária de forma a poder continuar a afirmar os ESCO como uma solução competitiva.

Esta solução irá ser conseguida através de várias parcerias e alianças estratégicas com outras empresas, cuja especialidade poderá ser a integração tecnológica do cliente ESCO. Esta possível variação do ESCO, o Super-ESCO, irá delinear-se pelas seguintes características: cultura cooperativa direcionada para o serviço a clientes, rápida habilidade para interiorizar novas tecnologias, experiência e profissionalismo na integração de tecnologias, dominar o segmento de monitorização de energia (produção e consumos), ferramentas financeiras à altura dos desafios, uma identidade de mercado estável e bem implementada, habilidade e facilidade em fazer chegar a diversas regiões do mundo as suas capacidades únicas e diferenciadoras.

### 1.3 Iluminação em vias públicas: O caso Português

O sector da iluminação pública é o quinto maior consumidor de energia em Portugal, segundo dados de 2009, retirados da PORDATA, estes valores não sofreram alterações significativas na última década, uma vez que não existiu qualquer grande investimento capaz de alterar e redistribuir as percentagens de consumo elétrico. Na Figura 3, encontram-se representados os maiores consumidores de energia nacionais, agrupados por sector, que todos juntos representam um consumo anual superior a 50 000 GWh. Através da observação do gráfico da Figura 3, é fácil perceber o porquê dos contratos ESCO se focarem em certos sectores, pois são os sectores de maior consumo, logo são os principais interessados em melhorar a sua eficiência energética. Surge então, naturalmente, os contratos ESCO aplicados à Iluminação Pública (IP), tal como é o caso em estudo neste Projeto.



**Figura 3:** Representação do consumo energético em Portugal no ano de 2009 em milhões de kWh (dados retirados do site da PORDATA)

A função da IP é garantir a correta iluminação de traços públicos, bem como, quando aplicada, à iluminação de vias de trânsito, permitir aos condutores uma boa perceção do caminho a percorrer e dos possíveis obstáculos, não podendo provocar encandeamento. Daí ser importante existirem normas a cumprir, de forma a garantir a segurança de todos os intervenientes. Mais à frente iremos discutir mais em pormenor a classe de via e os fatores a ter em consideração quando realizamos trabalhos relacionados com a IP.

Em Portugal, a IP representa em termos percentuais, cerca de 3% da energia elétrica consumida (valor que permaneceu praticamente inalterável ao longo da última década, sendo que o aumento de consumo impulsionado pelo aumento da rede IP, foi ao encontro da substituição de luminárias para tipos mais eficientes, tais como as LED) totalizando este sector, aproximadamente, 1700 GWh durante o ano de 2009. Este valor tem registado um crescimento sustentável, impulsionado pelo aumento da rede de IP a nível nacional, sinal do aumento de qualidade de vida no território nacional, podendo verificar-se este aumento na Figura 4.

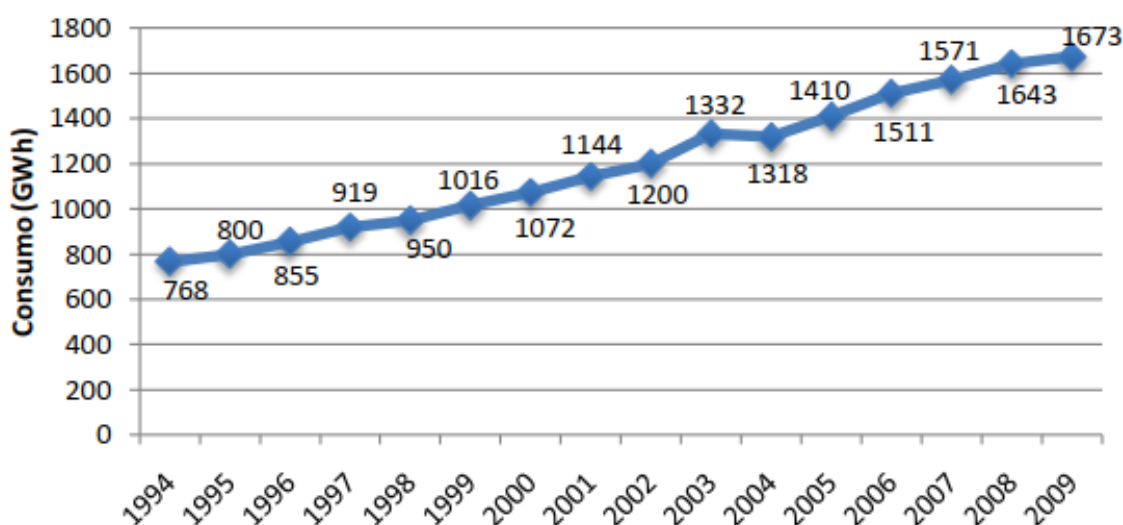


Figura 4: Evolução do consumo pela IP entre 1994 e 2009 (valores PORDATA)

Tal como já foi referido, é observável o aumento registado ano após ano do consumo por parte da IP, tendo este valor estabilizado nos últimos anos (Figura 4). Relativamente ao custo monetário associado, segundo os mesmos dados, em 2009, a IP representou um custo total de 152 milhões de euros, com o preço do kWh fixo em 0,0908 €/kWh (preço fixado pela ERSE).

Muito embora a iluminação pública represente apenas 3% de todo o gasto nacional com energia elétrica, os municípios demonstram particular interesse em renovar todo o campo de luminárias, através da celebração de vários contratos ESCO, dada a escalada, claramente visível na Figura 5, do preço aplicado à tarifa da iluminação pública.

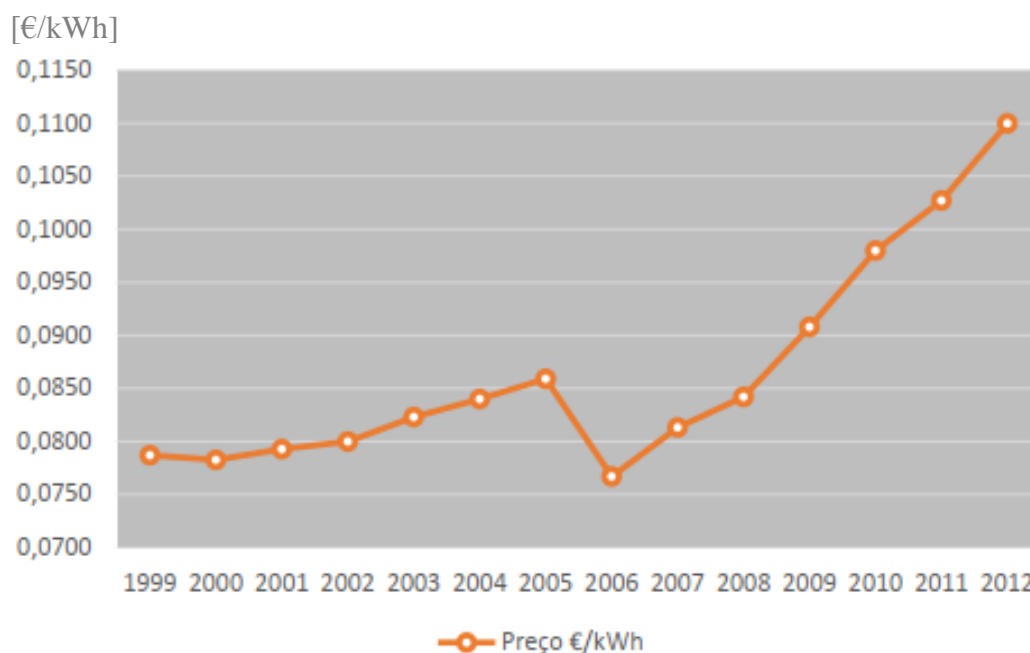


Figura 5: Evolução da tarifa da IP (adaptado de (ERSE, 2020))

Segundo dados recentes da PORDATA (2017), o consumo por parte da IP foi de 1 442 GWh, o que representa um decréscimo de 13,8% no consumo relativamente ao ano de 2009, impulsionado pela mudança de tecnologia aplicada à IP por parte de vários Municípios. A tecnologia que permitiu alcançar esta poupança foi o LED que substituiu as velhas lâmpadas de sódio ou mercúrio, conseguindo ao mesmo tempo baixar de forma substancial o valor pago pela iluminação pública, sem prejudicar a quantidade ou qualidade de luminosidade.

### 1.3.1 Tipos de lâmpadas em uso na Iluminação Pública (IP)

Antes de apresentar-se alguns conceitos técnicos referentes à IP é importante perceber o estado em que encontrava a IP antes dos contratos ESCO serem aplicados no nosso país. Também é importante perceber em que medida as mudanças ocorridas foram eficazes.

A mudança de tecnologia começou no ano de 2010, de uma forma muito tímida, que introduziu o então novo LED na IP nacional. A iluminação rodoviária assegurada por LED tem regulamentação mínima em termos de segurança rodoviária, atendendo aos requisitos para pedestres e ciclistas, devendo ainda, se possível, melhorar a eficiência energética, ou seja, sem afetar o desempenho visual ou a segurança do tráfego (Jägerbrand, 2016). As fontes de luz LED apresentam uma eficácia fotométrica de 140 lm/W e uma eficácia escotópica (na ausência de luz) de 200 lm/W, valores superiores

a qualquer outra fonte luminosa como, por exemplo as lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão, vapor de sódio de baixa pressão e iodetos metálicos.

O LED transforma a energia elétrica em luz num cristal de semicondutor. Essa transformação é diferente da encontrada em lâmpadas convencionais (incandescentes, descarga e indução). Esta é denominada iluminação de estado sólido - *Solid State Lighting* (SSL). O funcionamento do LED só é possível através de uma fonte de alimentação especial, o *driver* (circuito controlador), que converte a tensão alternada da rede em tensão contínua de funcionamento do LED. Para além do rendimento ser função da qualidade da eletrónica associada ao LED, o seu desempenho também depende da temperatura de funcionamento.

Quer o fluxo luminoso quer o tempo de vida diminuirão com temperaturas mais elevadas a que o LED é sujeito (Koutchma, 2019). O fluxo direcionado é extremamente útil em IP, diminuindo a poluição luminosa e aumentando a eficiência da instalação. O tempo de vida e a eficácia luminosa são os mais elevados, além de o acendimento ser imediato, comparativamente às demais soluções.

Os LED podem ser de dois tipos: os de corrente constante, que necessitam de uma corrente de saída fixa e de uma gama de tensões de saída, contrariamente os LED de tensão constante que necessitam de uma tensão de saída fixa com uma corrente de saída máxima. O rendimento dos controladores pode variar desde 74% (controlador de baixa potência do tipo corrente constante) até ao valor máximo possível, na prática, de 95% (controlador do tipo tensão constante) (Koutchma, 2019).

A maioria dos controladores apresenta um rendimento na casa dos 80 a 90%, sendo que a maior parte das suas perdas verifica-se nos semicondutores de potência, cujo desempenho tem vindo a melhorar.

Atualmente, a necessidade de diminuir o consumo transformou-se numa prioridade máxima (Santos, 2011). A substituição de lâmpadas de Mercúrio de Alta Pressão (HPM) por lâmpadas Sódio Alta Pressão (HPS) permite uma redução nos consumos na ordem de 50%, sendo que, quando se substitui as HPM diretamente por lâmpadas energeticamente eficientes, como as LED, a redução verificada pode ir até 80%, sem perder intensidade luminosa (Santos, 2011). Ora, existem evidências que com a tecnologia LED temos uma redução do consumo de eletricidade (Perko et al., 2016).

As redes de IP com luminárias LED, utilizando *dimming*, são as que permitem obter uma maior poupança energética. Paralelamente, as soluções LED revelaram-se a longo prazo as mais económicas, refletindo os custos com o investimento e a energia consumida (Machado, 2017).

Tendo por base dados já devidamente validados, em 2016, a EDP Distribuição (agora E-Redes), afirmava existirem mais de 3 milhões de pontos de luz de IP em Portugal Continental, onde cerca de 83% eram pontos de luz assegurados por lâmpadas a vapor de sódio. Contudo a tecnologia LED já representava 1,3%, contando com um elevado potencial de crescimento.

Na Figura 6, podemos observar a importância e a magnitude da rede IP em Portugal, bem como reconhecer os principais aglomerados populacionais e a rede de infraestruturas que ligam o nosso país.



Figura 6: Iluminação pública na Península Ibérica (adaptado de (NASA,2020))

Podemos então apresentar de uma forma resumida as principais vantagens da implementação do LED na rede IP, das quais se destacam a dimensão compacta, o longo tempo de vida, os baixos requisitos de manutenção, a luz branca, o baixo consumo de energia, a longa durabilidade e as amplas capacidades de *design* da luminária LED. A nível da sua utilização enumeram-se o alto brilho, o elevado valor de Índice de Restituição Cromática (IRC), a ausência de calor, a ausência de raios ultravioleta, não atraindo assim insetos, que por sua vez não atacam os objetos iluminados pela sua radiação, evitando também o envelhecimento precoce, como o



que resulta da utilização das lâmpadas convencionais. Destacam-se ainda diferentes temperaturas de cor possíveis (branco-frio, branco-neutro e branco-quente), o arranque imediato (atinge o brilho normal sem qualquer atraso), o facto de o sistema não ser sensível à vibração, a elevada duração (superior a 100 000 horas), a ausência de encandeamento e o facto de ser ecologicamente correta, uma vez que não contém substâncias nocivas à saúde humana nem à natureza (Pagden et al., 2019).

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

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

Contudo, existem outros dois parâmetros igualmente importantes, que são a temperatura de cor (K) e a luminância ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).

### 1.3.2 Iluminação: Luminância e Iluminância

A iluminação artificial, seja ela iluminação pública ou não, tornou-se um elemento essencial nas nossas vidas, por melhorar a aparência das ruas e das cidades, e por melhorar a qualidade de vida dos habitantes. Os indicadores mais importantes para a distribuição da iluminação são a uniformidade de luminância e a distribuição da luminância. Segundo Pollard (1997), a iluminação artificial pretende recriar da forma mais fidedigna possível a iluminação natural, tanto na aparência de cor como na reprodução de cores. Os parâmetros de temperatura de cor, luminância e iluminância,

são considerados parâmetros de iluminação dinâmica, ou seja, são considerados na avaliação da qualidade da luz.

A luminância é uma função da iluminância e das propriedades de reflexão das superfícies, por exemplo estradas ou prédios. A influência da superfície da estrada nos valores da iluminância pode ser minimizada pela realização de diversos testes de campo, durante o tempo seco e em vias mais antigas. A luminância está diretamente relacionada com a iluminância na retina e com a percepção visual do olho humano, sendo que a luminância integra também a luz que atinge o espectador. Esta propriedade, cuja unidade é a candela por metro quadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ), refere-se à intensidade luminosa produzida ou refletida por uma superfície aparente (Novicki & Martinez, 2008). De acordo com alguns investigadores, esta propriedade é um dos conceitos mais abstratos no que se refere à luminotécnica. Acrescentando ainda que a luminância é quantitativa e o brilho é sensitivo, e pode ser calculada pela Equação 1.

$$L = \frac{I}{A_r \cdot \cos a} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde, L representa a Luminância [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ], I é a Corrente [A],  $A_r$  é a área [ $\text{m}^2$ ],  $\cos a$  é o fator de potência.

O segundo parâmetro aqui visado é a iluminância. Este parâmetro corresponde ao fluxo luminoso que incide sobre uma superfície, que dista a uma certa distância da fonte luminosa (Novicki & Martinez, 2008). A iluminância é a relação entre o fluxo luminoso incidente numa superfície e a própria superfície sobre a qual o fluxo incide. A relação é dada entre a intensidade luminosa e o quadrado da distância, ou entre o fluxo luminoso e a área da superfície, tal como mostra a Equação 2.

$$E = \frac{\theta}{S} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde, E representa a iluminância [Lx],  $\theta$  é o fluxo luminoso [lm] e S a superfície iluminada [ $\text{m}^2$ ].

Esta característica é uma das mais importantes a ter em conta no dimensionamento de uma instalação de iluminação.

### 1.3.3 Luminárias de Iluminação Rodoviária

Este tipo específico de luminárias e de iluminação pública torna-se importante pois cada vez se observa um maior volume de tráfego e de deslocamentos, muitas delas periódicas e repetitivas. Por isso é necessário uma quantidade e qualidade suficiente de luminárias que permitam conduzir um veículo com a devida segurança, tornando o mais eficaz possível o sistema visual humano, de forma a permitir uma reação no menor intervalo de tempo possível.

Este tipo de luminárias, além de protegerem a própria lâmpada, permitem proteger o sistema de controlo que se encontra associado e conectado à lâmpada, permitindo assim controlar a luz emitida (Pollard, 1997). As distribuições de luz da luminária devem ser flexíveis ao ponto de, em termos de um ângulo máximo vertical, causar boa visibilidade aos condutores que circulam nessa via (Keck, 1989).

Os critérios que regem a IP, nomeadamente as regras da Comissão Internacional de Iluminação (CIE), são muito restritivas relativamente à quantidade de luz refletida. Este fator é o causador do brilho do céu, que corresponde à extensa faixa de luz difusa durante o período da noite, sendo esta visível no céu sobre as cidades (Remande, 2001).

O ambiente urbano, incluindo as periferias das grandes cidades, são o ambiente onde nos podemos deparar com um maior número de luminárias, bem como a maior variedade, tais como luminárias viárias, desenhadas para iluminar as rodovias, e as decorativas, desenhadas para parques/jardins ou calçadas para peões.

### 1.3.4 Luminárias sem Telegestão

A maioria das luminárias atualmente em utilização na iluminação pública nacional pertencem ao grupo de Luminárias sem Telegestão, independentemente da lâmpada constituinte, ser LED, sódio ou mercúrio. Este tipo de luminária requer sistemas de controlo, podendo ser interruptores crepusculares, relógios astronómicos ou reguladores de fluxo.

Os primeiros, interruptores crepusculares, são interruptores que incorporam uma célula fotoelétrica que reage à mudança de luminosidade, ligando ou desligando a IP. A colocação desta célula fotossensível poderá ser no posto de transformação (método amplamente utilizado) ou poderá ser parte integrante de cada luminária, de forma a controlar apenas de forma distinta uma ou várias luminárias.

Os relógios astronómicos, são equipamentos que efetuam o cálculo diário, do número de horas de sol, para aquela localização. Desta forma, é possível controlar a IP de uma forma baseada em cálculos matemáticos para estimar o nascer e o pôr-do-sol. Além disto, é possível antecipar ou adiar a IP, por pequenos períodos, por exemplo, desligar meia hora antes de o nascer do sol e ligar a IP quinze minutos depois do pôr-do-sol, de forma a conseguir alguma poupança energética, sem grandes implicações para os utilizadores. O método anteriormente referido tem sido posto em prática em Portugal nos últimos anos. Contudo a grande desvantagem prende-se com a não ponderação das condições atmosféricas sentidas, que afetam naturalmente a quantidade de luminosidade disponível.

Já os reguladores de fluxo, método mais recente dos anteriormente apresentados, são dispositivos que permitem a regulação da intensidade em determinados períodos, por norma, períodos com menores necessidades de iluminação. Estes equipamentos devem ser previamente programados de acordo com a época do ano em causa, de forma a obter-se uma regulação de fluxo adequada permitindo assim, poupanças variadas ao longo de todo o ano.

Estes reguladores de fluxo, para além da sua função base, funcionam também como estabilizadores de tensão, que permitem aumentar o tempo médio de vida das lâmpadas reguladas por ele, reduzindo assim os custos de manutenção, assegurando economias diretas no consumo de 5% ao fazer a regulação da tensão que excede o seu valor nominal.

### **1.3.5 Luminárias com Telegestão**

O processo de aplicar mecanismos que permitem controlar e conhecer o estado atual de uma luminária, ou de grupo de luminárias, foi mais um passo importante na dinamização do sector da IP, para o qual contribuíram em muito os contratos ESCO. O primeiro passo dado neste sentido da implementação da telegestão na iluminação pública, foi dado na Noruega, precisamente na sua capital, Oslo. No ano de 2005 a 2007, implementou e testou com êxito a nova tecnologia da telegestão aplicada à iluminação das vias da capital (Mjos, 2007).

Após os dois anos de teste, os resultados apresentados revelaram uma poupança no consumo de 70%, quando comparados com os resultados da instalação anterior. Utilizando o controlo eletrónico de fluxo luminoso e a comunicação entre luminárias, cada uma das luminárias pode ser efetivamente controlada e monitorizada, com o

intuito de assegurar o máximo de poupança de energia, sem sacrificar o grau de segurança e os mínimos exigidos pela legislação.

Este conceito de telegestão de luminárias representa o futuro e o caminho a seguir em termos de sustentabilidade elétrica e ambiental. Consiste na adaptação da luminosidade da via à quantidade de tráfego existente num dado momento ou período, associado à possibilidade de melhoramento das operações de manutenção com intervenção imediata na luminária com avaria, além da gestão flexível e remota de toda a IP, permitindo assim uma diminuição de consumo de energia elétrica até 40% (Paiva & Antunes, 2017).

O sistema de telegestão de luminária, representado na Figura 7, responde às novas necessidades e ambições de supervisão e controlo à distância, de um modo permanente e autónomo, reduzindo os custos de exploração e de manutenção associados ao serviço de IP, bem como melhora a qualidade do serviço em causa.

A telegestão de luminárias é composta por uma infraestrutura informática que garante uma gestão técnica eficaz de unidades locais, bem como uma gestão económica e estatística de um determinado sistema de luminárias. A gestão técnica é efetuada mediante o tratamento da informação em tempo real proveniente das instalações remotas em funcionamento. Este controlo é possível graças à ligação entre o “copo” de comunicação, marcado a azul na Figura 7, com a própria luminária. Neste caso trata-se de uma ligação com conector NEMA de 7 pinos, que consegue realizar, para além do controlo de intensidade luminosa desejado, também a transmissão de sinal GPS, *bluetooth*, *wifi* e relé de proteção de corte.



**Figura 7:** Exemplo de uma luminária com telegestão (conector NEMA) (adaptado de Lighting Equipment Sales (2019))

Como vantagens do sistema de telegestão em luminárias, podemos enumerar:

- A poupança de energia e respetivas emissões de CO<sub>2</sub> associadas, na ordem dos 65%;
- A possibilidade de *dimming* (regulação do fluxo luminoso);
- O aumento do tempo médio de vida das lâmpadas devido ao *dimming*;
- A eliminação das rondas noturnas para a deteção de avarias;
- Os custos de instalação relativamente baixos;
- A redução dos custos de manutenção;
- A diminuição das queixas por parte dos moradores ou outros clientes;
- A produção automática de relatórios;
- O cálculo automático da economia da implementação da telegestão;
- O controlo absoluto sobre cada luminária ou grupo de luminárias;
- A monitorização de energia e parâmetros elétricos associados a cada luminária.

Esta solução pode ainda evoluir para a incorporação de sensores de campo, como por exemplo sensores de movimento, permitindo uma poupança adicional. Este sistema baseia-se na deteção de movimento, proporcionando um fluxo de 100% nas luminárias na direção do movimento, passando posteriormente para 40% do fluxo nominal, ficando nessa potência quando não há deteção de movimento. Este sistema permite uma poupança até 50% da energia elétrica.

No Capítulo 2 vai-se apresentar o Caso da Cidade da Covilhã onde foi melhorada a Iluminação Pública recorrendo aos contratos ESCO. Nomeadamente, este contrato incidiu na substituição direta de luminárias de sódio e mercúrio, por luminárias LED. As luminárias alvo desta ação de substituição foram principalmente as luminárias do tipo viária. Contudo as luminárias do tipo de jardim e históricas, também foram contempladas, tal como se mostra já no capítulo seguinte.

## Capítulo II - Estudo de Caso - Município da Covilhã

O estudo de caso escolhido foi o contrato ESCO que incidiu sobre a Iluminação Pública no Concelho da Covilhã no ano de 2017, sendo que os resultados apresentados neste capítulo se referem ao primeiro ano de poupança após a conclusão da instalação, sendo o período de reporte de 2018 a 2019, com a duração de 365 dias.

### 2.1 A Cidade da Covilhã

A atual Freguesia da Covilhã e Canhoso possui cerca de 19 022 habitantes de acordo com o Censos de 2011 (INE, 2020). Trata-se de uma cidade muito focada e importante no sector têxtil, que atualmente produz, por ano, cerca de 40 000 km de tecido. Uma parte importante da produção vai diretamente para marcas de elevado renome mundial, tais como a *Hugo Boss*, *Armani*, entre outras.

Contudo, o destaque neste sector primordial da Covilhã, vai para a Real Fábrica de Panos. Esta manufatura estatual foi fundada na Covilhã por D. José I em 1764, dando graças ao seu lançamento devido às políticas de fomento industrial nacional levadas a cabo pelo Marquês de Pombal. Atualmente todo o edifício e espólio pertence à Universidade da Beira Interior (UBI), mais concretamente ao Museu de Lanifícios, que labora de forma a manter esta tradição viva, bem como dar a conhecer aos visitantes todos os equipamentos e a forma de os operar. Este museu foi inaugurado a 30 de abril de 1992.

Em termos de vias públicas desta cidade, podemos dividir as vias em três grupos:

- As novas vias, que foram implementas e construídas devido ao crescimento da cidade para fora dos antigos limites urbanos, aqui podemos exemplificar a Alameda da Europa.
- As vias requalificadas, que foram fortemente requalificadas, ou seja, sofreram fortes alterações de forma a modernizar ou adaptar a via aos novos veículos que aí possam circular, como por exemplo a Avenida Frei Heitor Pinto.
- As vias antigas da cidade, que pecam pela reduzida largura de via, muitas delas são de sentido único, e devido às construções envolventes, não existe espaço para se proceder ao alargamento ou requalificação da via, de forma a

aumentar, por exemplo os lugares de estacionamento para os moradores da rua, um excelente exemplo é a Rua Conselheiro António Pedroso dos Santos, sendo esta uma importante artéria da Cidade.

A iluminação de via pública é adaptada em função da via, principalmente da sua largura, mas também do volume de trânsito ou construções existentes na via em causa. Todos estes importantes parâmetros foram tomados em conta no contrato ESCO executado com o Município da Covilhã, de forma a propor a melhor solução para cada via visada no contrato.

Algumas das vias intervencionadas ao abrigo da troca de tecnologia de IP, passaram de lâmpadas de sódio para LED, pois nesta cidade a tecnologia que dominava o parque luminotécnico era o sódio, que conferia à cidade uma cor alaranjada sendo esta cor observada imediatamente ao aproximarmo-nos da cidade. Destaca-se a colocação de luminárias viárias na Rua Dr. Manuel Castro Martins, bem como a colocação de luminárias viárias na Estrada da Palmatória, ou ainda a alteração para luminária histórica na Rua Visconde da Coriscada.

Um exemplo de luminária aplicada na Rua Dr. Manuel Castro Martins encontra-se representado na Figura 8. Por sua vez, na Figura 9, encontra-se um exemplo da luminária que agora equipa a Rua da Olivosa, sendo esta uma luminária do tipo de jardim ou também denominada decorativa.



**Figura 8:** Luminária do tipo viária (adaptado de catálogo de luminárias L-STAR)





Figura 9: Luminária do tipo jardim (adaptado de catálogo de luminárias L-STAR)

## 2.2 Iluminação de Vias Públicas no Concelho da Covilhã

O parque luminotécnico visado no contrato ESCO, aqui em estudo, da Cidade da Covilhã, é composto por um total de 1 832 luminárias, ou seja, este contrato contempla a troca de tecnologia para LED num total de 1 832 pontos de luz da Cidade.

Estes pontos de luz encontram-se devidamente assinalados no *software* OWLET - IoT, responsável pela telegestão de luminárias do presente contrato ESCO. A Figura 10, mostra a localização de algumas luminárias, usando para tal o *software* citado, que permite a utilização de diversos filtros de pesquisa.

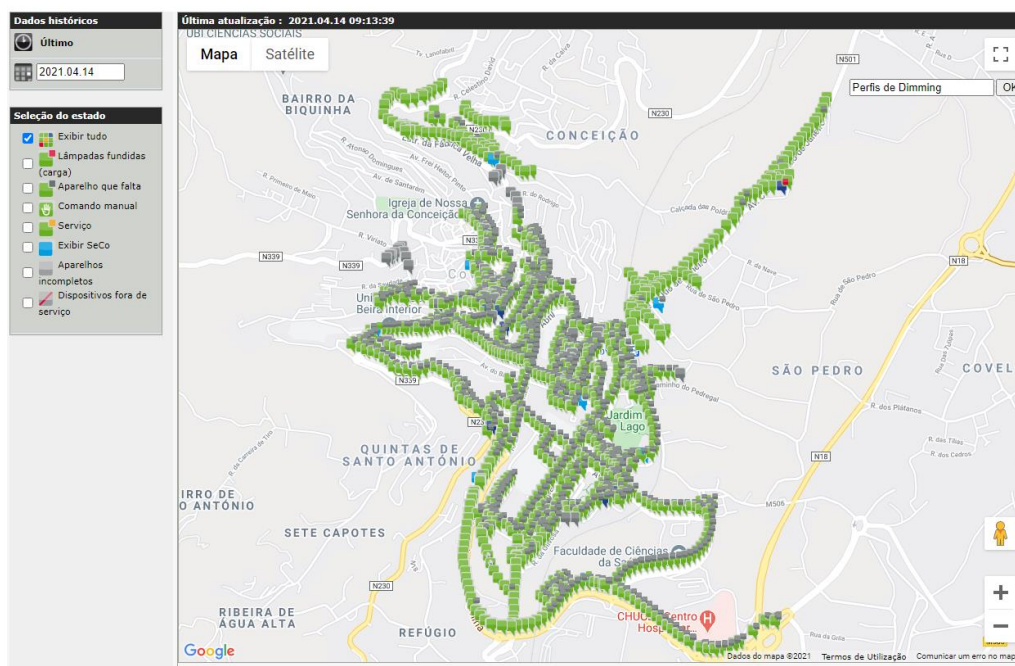


Figura 10: Mapa da instalação realizada, imagem retirada do *software* de telegestão

Através do estudo luminotécnico prévio realizado, propôs-se um total de três soluções de luminárias, de diferentes potências, conforme a localização bem como a distância da via em causa. A Tabela 1 resume os tipos e as quantidades de luminárias aplicadas, sendo que os vários modelos foram agrupados em três grupos. O primeiro representa as luminárias viárias, o segundo as luminárias de jardim e o último grupo as luminárias ditas de históricas.

**Tabela 1:** Mapa de quantidades de luminárias instaladas na Covilhã e suas potências

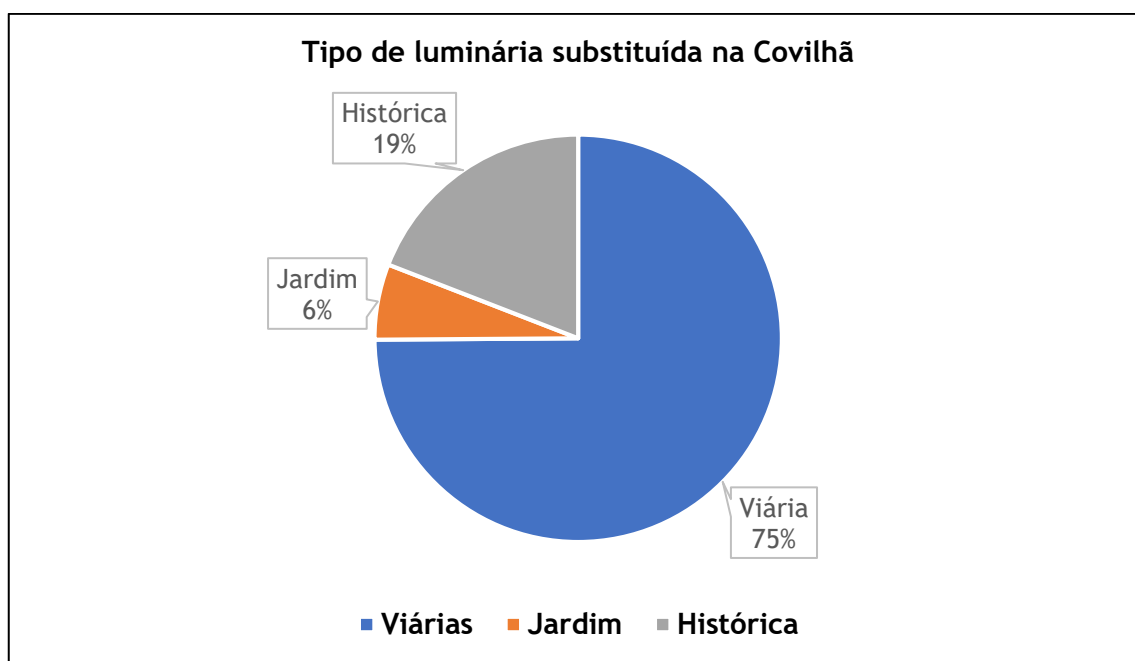
| Tipo de Luminária | Quantidade   | Intervalo de Potências Instaladas |
|-------------------|--------------|-----------------------------------|
| Viária            | 1 372        | 56 - 110 [W]                      |
| Jardim            | 110          | 38 [W]                            |
| Histórica         | 350          | 37 - 71 [W]                       |
| <b>Total</b>      | <b>1 832</b> |                                   |

De uma maneira geral, podemos referir que a principal diferença entre os três grupos criados é a aplicação na envolvente, bem como o compromisso com a sua função. Ou seja, é impossível e inconcebível colocar uma luminária dita de jardim para iluminar a via pública e vice-versa. Colocar uma luminária viária numa zona histórica da cidade, iria arruinar todo o ambiente circulante que se deseja manter o mais imaculado possível, dando o ar de histórico a certas zonas da cidade. Face a este desafio a indústria de luminárias deu resposta aos pedidos, criando diversos modelos que permitem manter a aparência histórica, mas agora aliada ao baixo consumo, utilizando o LED como fonte de energia. Uma luminária desta tipologia encontra-se representado na Figura 11.



**Figura 11:** Luminária do tipo histórica (adaptado de catálogo de luminárias L-STAR)

Em termos percentuais, podemos observar que três quartos das luminárias instaladas foram do tipo viária, pelo que é possível facilmente constatar que o foco do Município foi modernizar os focos de luz que equipam as vias de trânsito daquela cidade, de forma a trazer “mais luz” aos automóveis e aos pedonais que aí circulam. As percentagens das luminárias instaladas na cidade da Covilhã estão presentes na Figura 12.



**Figura 12:** Gráfico das percentagens das luminárias substituídas na Cidade da Covilhã

Tendo como base os dados da Tabela 1, é possível calcular o consumo energético estimado para as luminárias, uma vez que conhecemos a sua potência nominal de

funcionamento, bem como podemos estimar as horas anuais de trabalho sabendo-se que em IP se considera um total de 4 100 horas por ano, valor tabelado e amplamente reconhecido como correto pelas diversas empresas da área da iluminação pública.

## 2.3 Enquadramento do Projeto ESCO

A *baseline* ou consumo base do presente projeto agrega os valores dos consumos energéticos anteriores à implementação das medidas de eficiência energética, neste caso serão os valores referentes ao ano de 2017.

O consumo apresentado na Tabela 2 servirá de base de trabalho de todo o contrato de eficiência energética ESCO. O período de análise pós-instalação é compreendido entre 01/07/2018 a 30/06/2019.

Tabela 2: Consumo IP Município da Covilhã no ano de 2017

|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| Baseline [kWh/ano]             | 1 793 951 |
| Horas de funcionamento [h/ano] | 4 100     |

A fronteira de medição, ou seja, o plano de medição das características elétricas das luminárias instaladas ao abrigo do contrato ESCO é o seguinte:

- Medição dos índices lumínicos em algumas vias da cidade;
- Medição das Luminárias sem telegestão por grupo de potência (recolha de amostra representativa);
- Medição das Luminárias com telegestão por grupo de potência (recolha de amostra representativa);
- Identificação de cargas adicionais.

## 2.4 Metodologia

A nível de metodologia de trabalho, importa mencionar, que para além do período de tempo já referido, procedeu-se às medições do consumo elétrico das luminárias instaladas mediante uma amostragem aleatória. A taxa de amostragem foi de 14,6% para as luminárias viárias, ou seja, foram substituídas um total de 1 372 luminárias do tipo viária, e no estudo de acompanhamento de projeto foram efetivamente medidos

e registados os consumos de 200 luminárias. Foram também inspecionados e medidos os consumos de 9,1% das luminárias de jardim e de 5,7% das luminárias históricas. Já a percentagem de acompanhamento global de projeto foi de 12,6%.

As medições realizadas nas luminárias que constituem a nossa amostra de teste visam aferir os seguintes valores intrínsecos de cada luminária, bem como o comportamento ou influência da mesma para com a via e com o meio onde se insere.

- Índices lumínicos: As medições dos índices lumínicos foram realizadas com um luxímetro certificado e calibrado para o efeito.

- Luminárias sem telegestão: As medições de potência foram realizadas com um analisador de energia/pinça amperimétrica certificada e calibrada para o efeito.

- Luminárias com telegestão: As medições de potência foram realizadas com um analisador de energia/pinça amperimétrica certificada e calibrada para o efeito.

Para todas as medições foram tidas em conta e aplicadas todas as normas de segurança para o exercício da função, nomeadamente a utilização de luvas dielétricas de classe 0, que conferem proteção até aos 1 000 Volts, tendo o interior da luva propriedades ignífugas para proteger a mão em caso de acidente. Estas luvas são também recomendadas para a manipulação de quadros elétricos e trabalhos em tensão. Foi ainda acautelado o possível toque acidental com a coluna de suporte de luminária, tendo sido utilizado o capacete de proteção dielétrico, como medida complementar de proteção individual, que confere proteção elétrica até aos 1 000 Volts.

O luxímetro utilizado é da marca Amprobe®, modelo LM-120, presente na Figura 13, com uma incerteza associada de 0,5 lux, sendo este colocado por baixo da luminária, fornecendo um primeiro ponto de amostragem. Um segundo ponto foi conseguido colocando o luxímetro no meio da via, isto para luminárias viárias. A nível de luminárias de jardim, este aparelho de medida foi também colocado por baixo da luminária (ponto com mais valor) e entre duas luminárias do mesmo tipo, sendo que este ponto representa o pior cenário possível, uma vez que se encontra o mais afastado das duas luminárias, onde se espera que o valor registado seja substancialmente menor comparativamente ao primeiro ponto.



**Figura 13:** Luxímetro utilizado nas medições de fluxo luminoso (adaptado de AMPROBE®)

A nível de grandezas elétricas, tais como os valores de tensão e de corrente registados, que permitem obter seguidamente o valor de potência, foram obtidas através da multiplicação das duas grandezas anteriores, desde que elas se encontrem em unidades do Sistema Internacional (SI). Para a correta medição da corrente, utilizou-se uma pinça amperimétrica da marca FLUKE®, modelo 325, (Figura 14) com uma incerteza associada às medições efetuadas de 0,05 Amperes [A].



**Figura 14:** Pinça amperimétrica utilizada nas medições (adaptado de FLUKE®)

Este aparelho, além de fornecer o valor imediato para a corrente que flui no circuito, sem a necessidade de abrir o circuito elétrico para a sua inclusão no circuito (ligação em série), fornece também o valor para a tensão elétrica. Para obter este valor é necessário proceder ao encaixe das duas pontas de prova, de forma a funcionar como voltímetro. Este instrumento, a funcionar como voltímetro, apresenta uma incerteza de 0,05 Volts [V]. Contrariamente à medição de corrente, a medição da tensão elétrica

requer o contacto físico com 2 pontos do circuito de iluminação da luminária (ligação em paralelo).

A fim de obter tanto o valor de corrente como de tensão, o procedimento é bastante fácil, basta abrir a portinhola da coluna da luminária, reconhecer a fase do circuito, colocar a pinça amperimétrica neste fio elétrico. De seguida, basta encostar as pontas de prova do voltímetro entre o fusível da luminária e o neutro do circuito elétrico, obtendo assim a diferença de tensão nos terminais da luminária.

Com os valores anteriores devidamente medidos, torna-se fácil determinar a potência daquela luminária. Este valor resulta da multiplicação aritmética entre o valor de tensão com o valor da corrente. A unidade de potência elétrica no SI é o Watt [W]. Contudo, são mais utilizados os seus múltiplos, tal como o kW, MW e GW, respetivamente quilowatt, megawatt e gigawatt.

Este procedimento, desde a colocação do luxímetro, até à medição efetiva dos valores de tensão e corrente, é repetido para cada luminária que constituem a nossa amostragem de luminárias. O valor total de amostragem situa-se nas 230 luminárias, que representa uma percentagem total de 12,6% do número total de luminárias.

Falta ainda referir o tipo de classe de via de acordo com os regulamentos da CIE. A determinação da classe de via efetua-se através da comparação da via em causa com os valores das Tabelas 3 e 4. Estes valores são considerados padrões ou de referência na caracterização das diversas vias.

**Tabela 3:** Caracterização de classe de via (adaptado de ECvil)

| Classe da via | Luminância da superfície da via em condições secas |                        |                              | Deslumbramento Perturbador | Iluminação Envoltente |
|---------------|--|------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------|
|               | Luminância média LM (cd/m <sup>2</sup> )           | Uniformidade Global U0 | Uniformidade longitudinal U1 | Aumento limiar TI (%)      | Relação Entorno SR    |
| ME1           | 2  | 0,4                    | 0,7                          | 10                         | 0,5                   |
| ME2           | 1,5  | 0,4                    | 0,7                          | 10                         | 0,5                   |
| ME3           | a  | 1                      | 0,7                          | 15                         | 0,5                   |
|               | b  |                        | 0,6                          |                            |                       |
| ME4           | a  | 0,75                   | 0,6                          | 15                         | 0,5                   |
|               | b  |                        | 0,5                          |                            |                       |
| ME5           | 0,5  | 0,35                   | 0,4                          | 15                         | 0,5                   |
| ME6           | 0,3  | 0,35                   | 0,4                          | 15                         | 0,5                   |

Tabela 4: Fatores de determinação de classe ME (adaptado de ECvil, 2018)

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

A determinação da classe de via, tendo como suporte a Tabela 4, é um processo algo intuitivo, bastando somar os vários fatores de peso para cada parâmetro. Seguidamente procede-se ao seu arredondamento para o número inteiro. Este será o valor dito de “Total”. Introduce-se este valor na Equação 3, de forma a obter-se o índice da classe da ME.

$$\text{Índice (ME)} = 6 - \text{Total} \quad (\text{Equação 3})$$

## 2.5 Análise e Resultados das Medições

A Tabela 5 apresenta os valores medidos referentes aos índices lumínicos registados nas vias intervencionadas na cidade da Covilhã, antes da intervenção e após a alteração de tecnologia. Também se apresentam, em forma percentual, as diferenças entre as tecnologias.



Tabela 5: Registo dos valores lumínicos

| Tecnologia antiga | Média tecnologia antiga (lx) | Média tecnologia antiga (cd/m2) | Tecnologia LED | Média LED (lx) | Média tecnologia LED (cd/m2) | Diferença | % diferença | Classe da Via (ME) | Luminância média Lm (cd/m2)- Segundo DREEIP |
|-------------------|------------------------------|---------------------------------|----------------|----------------|------------------------------|-----------|-------------|--------------------|---|
| 60                | 35,13                        | 2,34                            | 36,1           | 22,29          | 1,49                         | -12,84    | 36,55       | 4                  | 0,75  |
| 31,4              |                              |                                 | 22,3           |                |                              |           |             |                    |   |
| 22,6              |                              |                                 | 13,5           |                |                              |           |             |                    |   |
| 26,5              |                              |                                 | 17,25          |                |                              |           |             |                    |   |
| 13,6              | 11,29                        | 0,75                            | 29,3           | 16,85          | 1,12                         | 5,56      | -49,28      | 4                  | 0,75  |
| 10,26             |                              |                                 | 17,26          |                |                              |           |             |                    |   |
| 9,81              |                              |                                 | 6,76           |                |                              |           |             |                    |   |
| 11,48             |                              |                                 | 14,08          |                |                              |           |             |                    |   |
| 35,7              | 23,40                        | 1,56                            | 22,7           | 14,88          | 0,99                         | -8,52     | 36,42       | 4                  | 0,75  |
| 36,5              |                              |                                 | 18,12          |                |                              |           |             |                    |   |
| 5,03              |                              |                                 | 8,91           |                |                              |           |             |                    |   |
| 16,37             |                              |                                 | 9,78           |                |                              |           |             |                    |   |
| 25,4              | 17,23                        | 1,15                            | 21,4           | 16,58          | 1,11                         | -0,65     | 3,77        | 4                  | 0,75  |
| 14,64             |                              |                                 | 16,78          |                |                              |           |             |                    |   |
| 14,74             |                              |                                 | 13,25          |                |                              |           |             |                    |   |
| 14,15             |                              |                                 | 14,9           |                |                              |           |             |                    |   |
| 22,6              | 16,14                        | 1,08                            | 31,9           | 19,62          | 1,31                         | 3,49      | -21,60      | 3                  | 1,00  |
| 14,07             |                              |                                 | 22,5           |                |                              |           |             |                    |   |
| 11,74             |                              |                                 | 10,17          |                |                              |           |             |                    |   |
|                   |                              |                                 | 13,92          |                |                              |           |             |                    |   |
| 31,4              | 29,00                        | 1,93                            | 25,5           | 20,18          | 1,35                         | -8,83     | 30,44       | 3                  | 1,00  |
| 37,8              |                              |                                 | 21             |                |                              |           |             |                    |   |
| 28,6              |                              |                                 | 20,9           |                |                              |           |             |                    |   |
| 18,21             |                              |                                 | 13,3           |                |                              |           |             |                    |   |
| 23,8              | 21,16                        | 1,41                            | 25,9           | 20,42          | 1,36                         | -0,74     | 3,50        | 3                  | 1,00  |
| 19,95             |                              |                                 | 22,2           |                |                              |           |             |                    |   |
| 22,9              |                              |                                 | 14,79          |                |                              |           |             |                    |   |
| 17,97             |                              |                                 | 18,77          |                |                              |           |             |                    |   |
| 41                | 25,63                        | 1,71                            | 25,9           | 15,77          | 1,05                         | -9,86     | 38,47       | 3                  | 1,00  |
| 19,5              |                              |                                 | 13,12          |                |                              |           |             |                    |   |
| 27                |                              |                                 | 12,2           |                |                              |           |             |                    |   |
| 15                |                              |                                 | 11,85          |                |                              |           |             |                    |   |
| 33                | 40,13                        | 2,68                            | 41,8           | 30,97          | 2,06                         | -9,16     | 22,82       | 2                  | 1,50  |
| 61,9              |                              |                                 | 42,3           |                |                              |           |             |                    |   |
| 23,9              |                              |                                 | 8,8            |                |                              |           |             |                    |   |
| 41,7              |                              |                                 |                |                |                              |           |             |                    |   |
| 51,7              | 27,47                        | 1,83                            | 55             | 31,88          | 2,13                         | 4,41      | -16,05      | 2                  | 1,50  |
| 21,5              |                              |                                 | 17,3           |                |                              |           |             |                    |   |
| 13,77             |                              |                                 | 30,2           |                |                              |           |             |                    |   |
| 22,9              |                              |                                 | 25             |                |                              |           |             |                    |   |
| 39,5              | 28,65                        | 1,91                            | 52             | 32,48          | 2,17                         | 3,83      | -13,36      | 2                  | 1,50  |
| 17,39             |                              |                                 | 28,7           |                |                              |           |             |                    |   |
| 36,8              |                              |                                 | 25             |                |                              |           |             |                    |   |
| 20,9              |                              |                                 | 24,2           |                |                              |           |             |                    |   |
| 26,7              | 21,90                        | 1,46                            | 29,2           | 25,00          | 1,67                         | 3,10      | -14,13      | 2                  | 1,50  |
| 26,2              |                              |                                 | 33,7           |                |                              |           |             |                    |   |
| 14,3              |                              |                                 | 18,73          |                |                              |           |             |                    |   |
| 20,4              |                              |                                 | 18,35          |                |                              |           |             |                    |   |
| 40,4              | 30,91                        | 2,06                            | 47             | 28,55          | 1,90                         | -2,36     | 7,64        | 2                  | 1,50  |
| 16,37             |                              |                                 | 22,5           |                |                              |           |             |                    |   |
| 53,6              |                              |                                 | 21,8           |                |                              |           |             |                    |   |
| 13,28             |                              |                                 | 22,9           |                |                              |           |             |                    |   |

Analisando a Tabela 5, podemos observar valores tanto de iluminância (lx) como de luminância (cd/m<sup>2</sup>), que seguem diferentes registos. Ou seja, com a passagem para a tecnologia LED, existem valores que subiram, mas também é observável o contrário, ou seja, a passagem para LED traduziu-se numa diminuição do valor de luminância.

A partir destes dados podemos concluir que a passagem para o LED, os valores de lux e de luminância, tornaram-se mais uniformes. Este é um dos objetivos secundários do contrato ESCO, que é tornar as vias intervencionadas mais uniformes em termos luminotécnicos, de forma a combater os diferenciais existentes entre algumas artérias.

Numa análise mais pormenorizada dos gráficos das Figuras 15, 16 e 17, é possível constatar melhor estas diferenças. Nestes gráficos consta a informação do valor

mínimo para a luminância para cada tipo de via e a informação referente aos valores lumínicos, tendo em conta a via em causa, bem como a classe de via (ME4, ME3 ou ME2), acompanhados dos valores de referência para o tipo de classe de via (respetivamente de 0,75, 1,00 e 1,50 cd/m<sup>2</sup>).

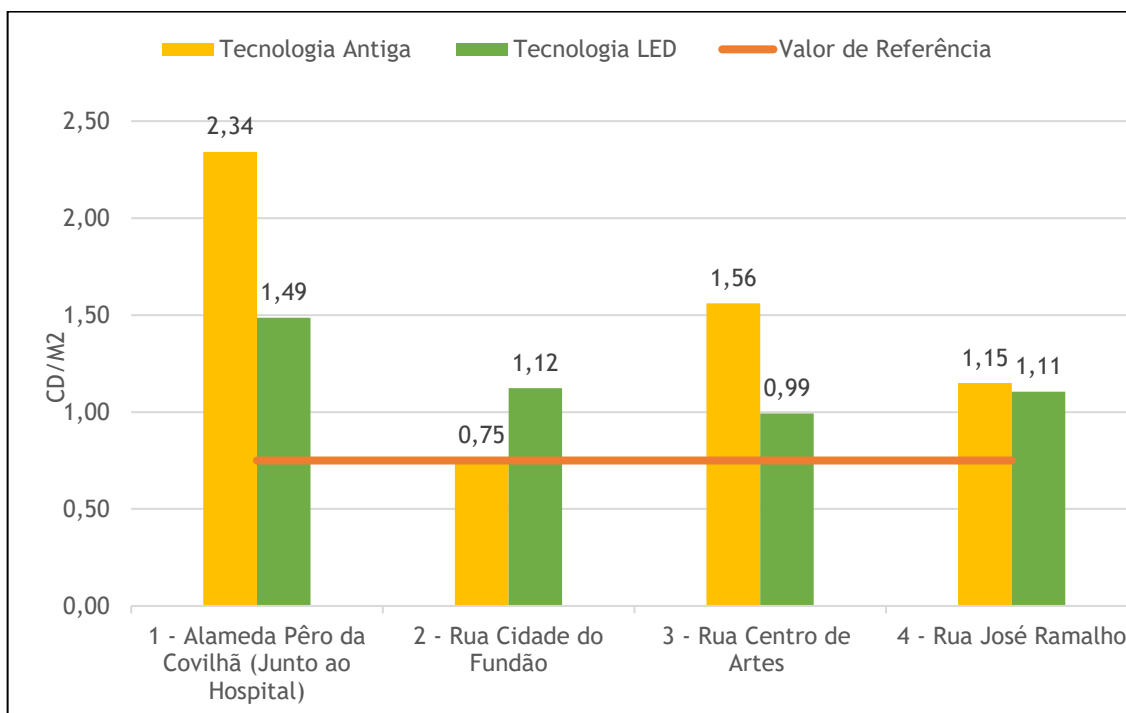


Figura 15: Valores de luminância: classe de via - ME4

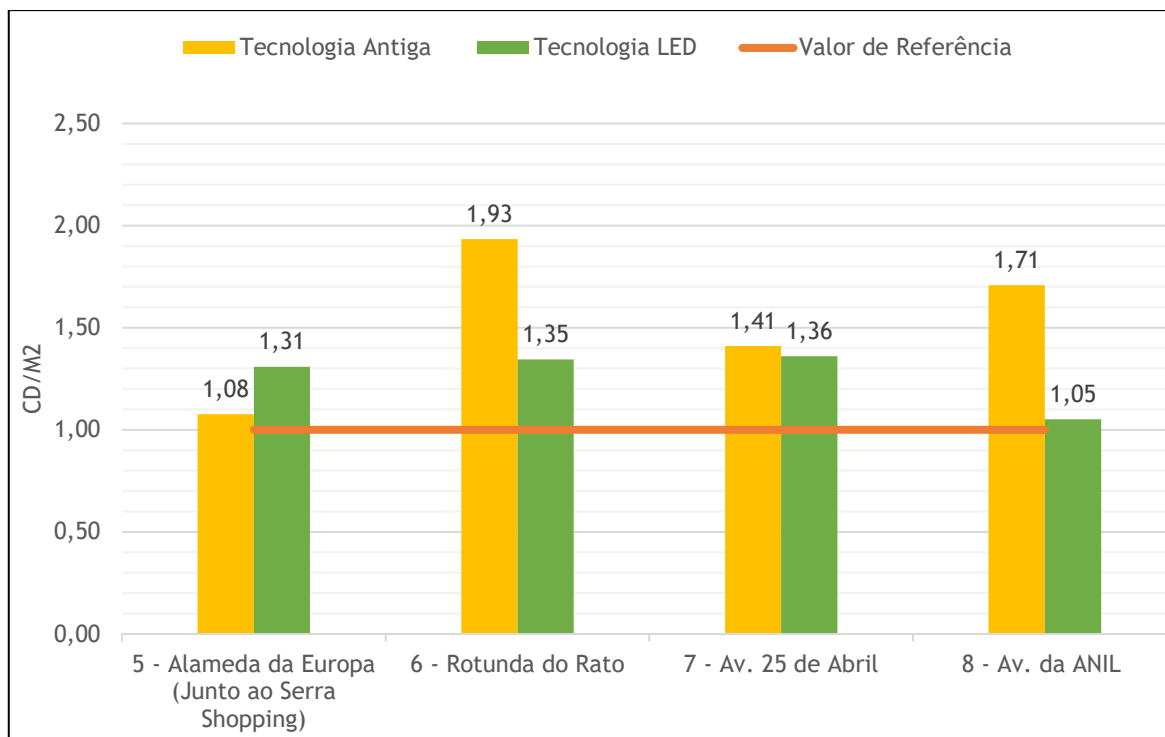


Figura 16: Valores de luminância: classe de via - ME3

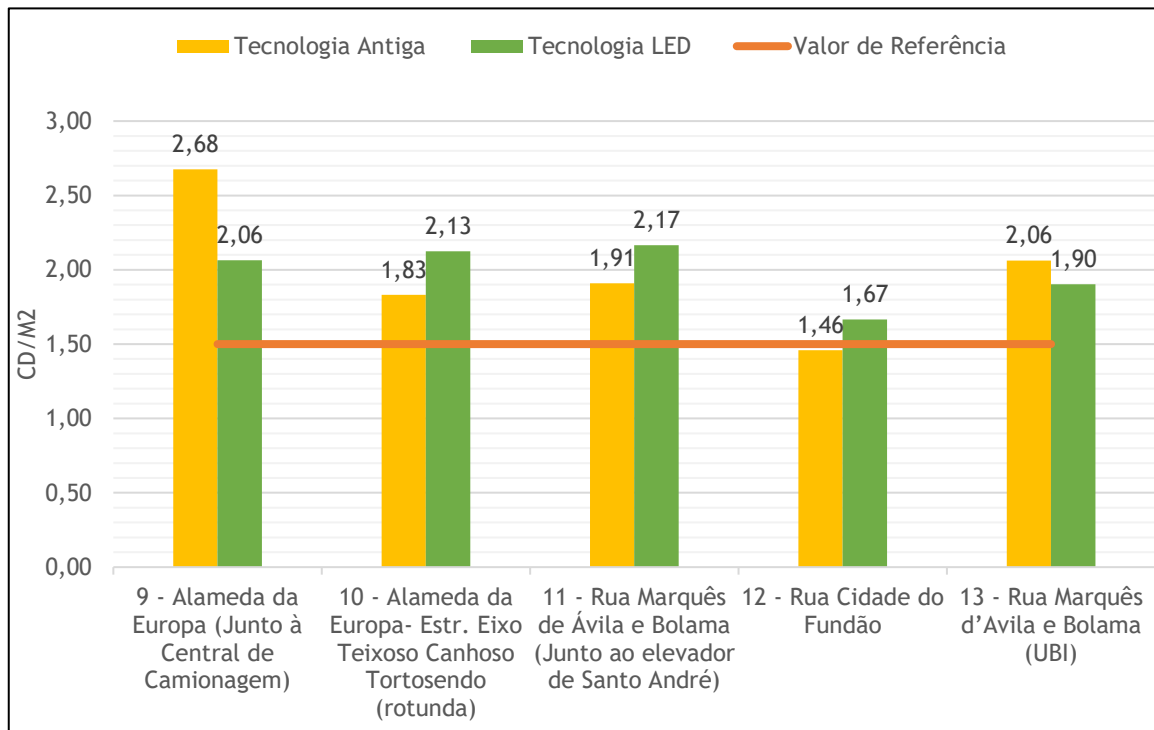


Figura 17: Valores de luminância: classe de via - ME2

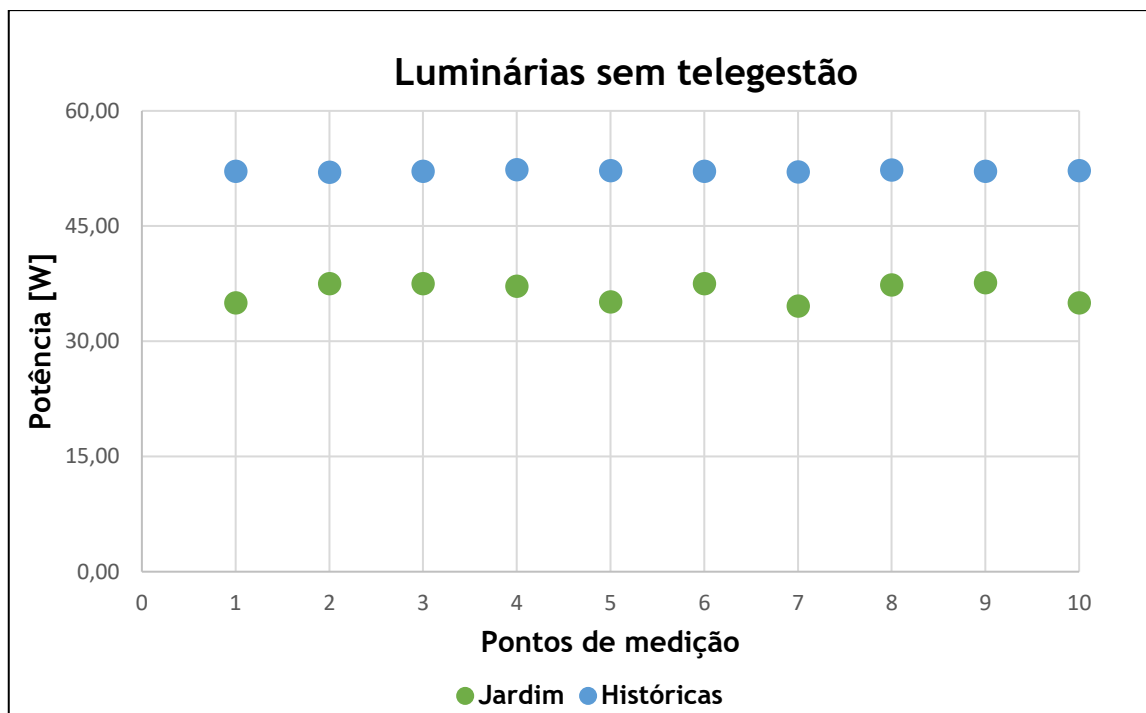
A partir dos gráficos anteriores, é possível fazer uma análise mais crítica referente aos valores de luminância antigos e após modificação da tecnologia de iluminação.

De um modo geral e comum a todos os três gráficos, a mudança de tecnologia traduziu-se, em termos de valores de luminância, relativamente ao valor de referência para a classe de via. Ou seja, vias públicas que apresentavam valores demasiados altos de luminância, viram os valores reduzidos com a mudança de luminárias. E por sua vez, vias que tinham valores inferiores aos desejados para a luminância, viram estes valores elevados de forma a cumprir com o valor de referência. Podemos mesmo afirmar que esta mudança de tecnologia contribuiu ativamente para diminuir e anular as discrepâncias de valores de luminância das vias públicas e jardins da cidade da Covilhã, tendo o parque luminotécnico da cidade ficado com um efeito lumínico muito mais uniforme para quem conduz nas ruas e artérias que compõem a rede de vias da cidade.

Não existe nenhum local de instalação que apresente valores de luminância inferiores aos requeridos para a classe de via que engloba esse mesmo local. Assim, é possível concluir que as potências de todas as luminárias propostas e instaladas foram as mais corretas, uma vez que cumprem com as metas estabelecidas, em termos de luminância. Também não apresentam valores demasiados altos ou sobredimensionados.

### **2.5.1 Potência nas Luminárias sem telegestão**

As luminárias sem telegestão englobam todas as luminárias do tipo de jardim e as luminárias históricas. Este grupo é constituído por um total de 460 luminárias, 110 do tipo jardim e 350 do tipo históricas. Foram inspecionadas, de forma aleatória, 10 luminárias do tipo jardim e de 20 do tipo histórico a fim de se medir a sua potência. Cada um dos pontos da Figura 18 resultou da medição de 10 luminárias do tipo jardim e de 20 do tipo histórico. De foram a aumentar a robustez das medições, o valor de cada um dos dez pontos associado com as luminárias do tipo histórico corresponde à média da medição de duas luminárias situadas em ruas diferentes. Como exemplo, foi calculada a média da primeira medição efetuada na Rua A com a primeira medição efetuada na Rua B e assim sucessivamente.



**Figura 18:** Comparação da potência das luminárias sem telegestão do tipo de jardim e históricas

Através da análise do gráfico da Figura 18, é possível observar a diferença de potência elétrica entre os dois tipos de luminárias em estudo. Também é possível decifrar os valores de potência nominal das luminárias, devido à elevada concordância dos valores dos dez locais de medição aqui visados, especialmente nas luminárias históricas.

Podemos ainda concluir que existe uma menor carência de luminosidade nos espaços unicamente pedestres, tais como os jardins. As luminárias ditas de históricas apresentam um maior valor de potência associado, pois estas luminárias equipam ruas com trânsito automóvel e são também responsáveis por iluminar os passeios que complementam estas ruas. As vias equipadas com estas luminárias situam-se no centro histórico da cidade onde não existe a possibilidade de excesso de velocidade nem o volume de trânsito requer maior potência da luminária instalada, pois existe o intuito de preservar toda a envolvente dita de histórica.

### 2.5.2 Potência nas Luminárias com telegestão

O contrato ESCO aqui em estudo possibilitou ainda ao Município uma poupança considerável graças ao sistema de telegestão de luminárias. Como é visível no Gráfico da Figura 19, este método requer diversas medições, todas elas realizadas segundo a metodologia referida. Estas medições realizaram-se sob a mesma luminária nos quatros

estados distintos de *dimming*, ou seja regulação do fluxo luminoso, sendo que em cada ponto de medição incidiram quatro medições.

Foram inspecionadas, de forma aleatória, 50 luminárias do total de 1372 luminárias viárias instaladas e medida a sua potência para cada um dos quatro tipos de fluxo, tendo-se obtido um total de 200 medições. Cada ponto de medição da Figura 19 corresponde ao valor médio da potência de cinco luminárias inspecionadas, expostas às mesmas condições, mas situadas em localizações diferentes.

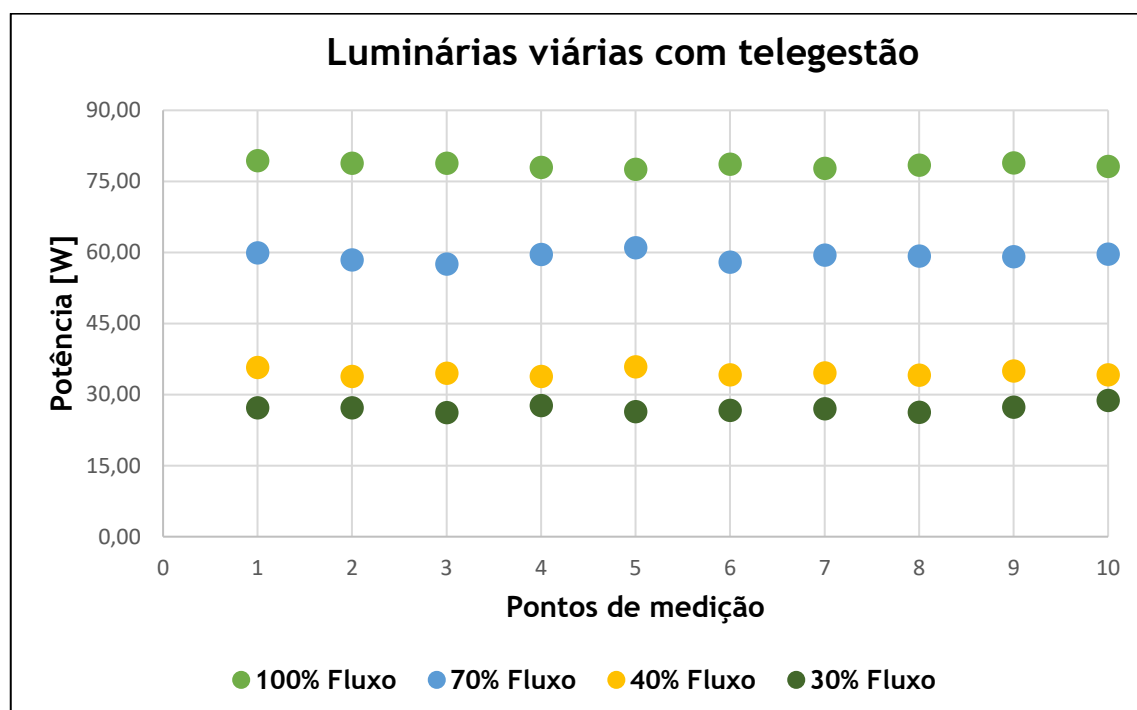


Figura 19: Potência das luminárias com telegestão do tipo viária

Pela observação dos dados da Figura 19, podemos constatar a diferença de potência entre as várias opções de regulação de fluxo. Estas acentuadas diferenças, são importantes uma vez que mais tarde se irão traduzir numa poupança monetária considerável. A Figura 19 contém ainda outras informações importantes, tais como a consistência dos resultados obtidos nos locais de medição independentemente da potência luminosa emitida, o que confere estabilidade das medições das luminárias relativamente ao efeito *dimming* selecionado.

No campo de potência unitária propriamente dita, para um fluxo de 100%, temos o pico logo nos primeiros locais de medição, com um valor muito próximo de 80W. Para um *dimming* de 70%, obtivemos na prática um valor aproximado de 60W, um valor ligeiramente superior ao teoricamente esperado, cujo valor devia rondar os 56W. Para

um fluxo de 40%, o valor prático da mesma luminária foi de cerca de 36W, um valor superior ao espectável na ordem dos 4W. Por fim, para o fluxo de apenas 30%, o valor no primeiro local de medição foi de, aproximadamente, 27W. O valor teórico para este fluxo seria de apenas 24W, uma discrepância de 3W.

Em termos de desvios percentuais, relativamente a um valor de 8W para um fluxo de 100%, o maior desvio aconteceu tanto para o fluxo de 40% como para o de 30%, com um desvio de 11,1%. Este desvio encontra-se acima dos 5% de erro aceitável, apesar dos valores serem coesos e bastante lineares entre os pontos de medição. O mecanismo eletrónico do controlador responsável pela regulação do fluxo luminoso, possui inevitavelmente um erro associado ao processo de regulação. Este erro é visível quando comparamos os diferentes resultados obtidos para uma mesma luminária ou para um ponto de medição.

### 2.5.3 Período de Redução do Fluxo Luminoso (*Dimming*)

O sistema de telegestão instalado está configurado de modo a proporcionar a redução de fluxo nas luminárias com telegestão de acordo com o período horário referenciado na Tabela 6.

**Tabela 6:** Percentagem de fluxo luminoso mediante horário

| Percentagem de Fluxo Luminoso | Início | Fim   |
|-------------------------------|--------|-------|
| 100%                          | 17:00  | 19:00 |
| 70%                           | 19:00  | 21:00 |
| 40%                           | 21:00  | 23:00 |
| 30%                           | 23:00  | 17:00 |

O *software* de controlo das luminárias, permite também a visualização ou comprovação do *dimming* efetivo, tal como se mostra pelo *printscreen* da Figura 20.

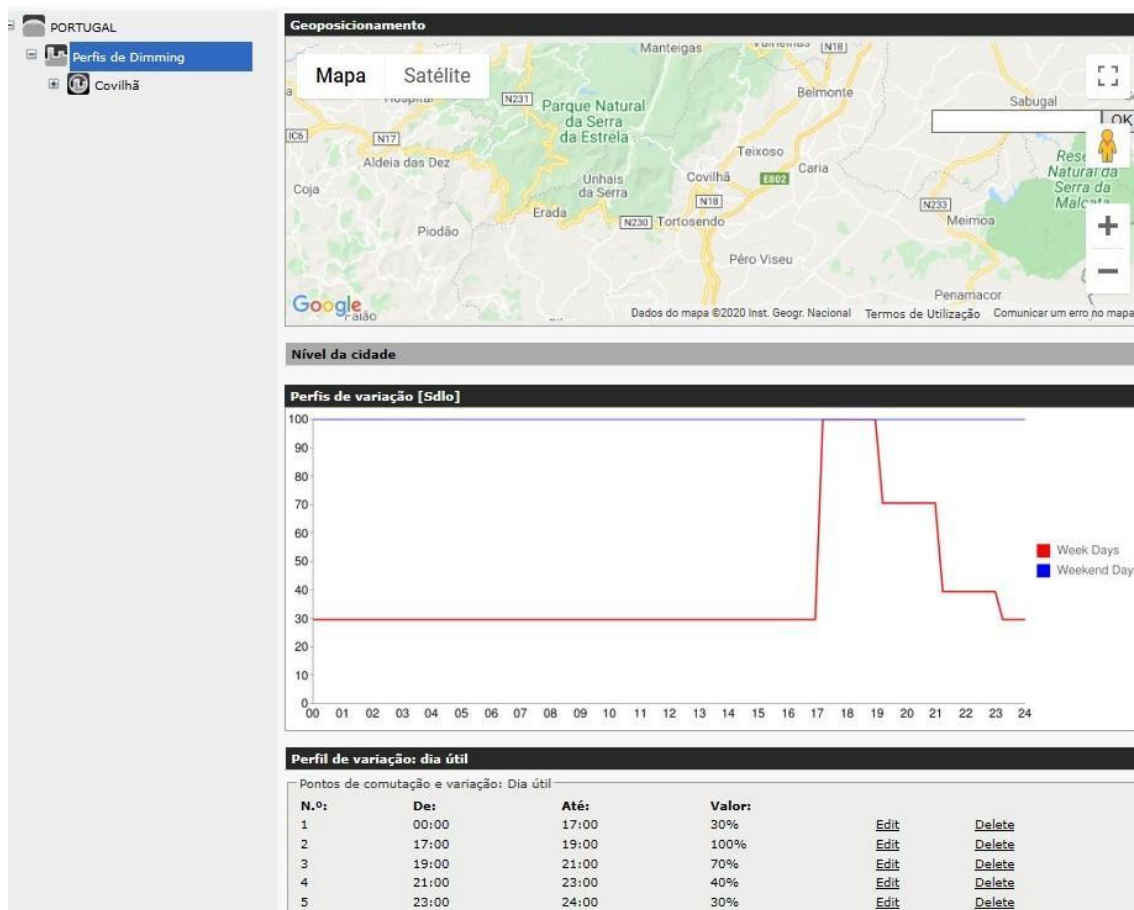


Figura 20: Software de telegestão, com perfil de variação do fluxo luminoso

Embora na Figura 20, conste um fluxo de 30% durante o dia, importa referir que o relógio astronómico que equipa todos os postos de transformação se sobrepõem ao efeito de regulação de fluxo característico e programado no *software* de telegestão de luminárias.

### 2.5.4 Cálculo do Consumo

O consumo de energia é calculado de acordo com a seguinte fórmula (Equação 4):

$$E_{Consumo\ Total\ 2018-2019} = (P_{Med\_n\_ct100}) \times 450 + (P_{Med\_n\_ct70}) \times 730 + (P_{Med\_n\_ct40}) \times 730 + (P_{Med\_n\_ct30}) \times 2190 \tag{Equação 4}$$

Onde:

- $E_{Consumo\ total\ 2018-2019}$  - Consumo total de energia durante o período de Julho de 2018 a Junho de 2019, em kWh;
- $P_{Med\_n\_ct100}$  - Potência medida total da solução LED do tipo  $n$  com telegestão a 100% de fluxo, em kW a 450 h/ano;



- $P_{Med\_n\_ct70}$  - Potência medida total da solução LED do tipo  $n$  com telegestão a 70% de fluxo, em kW a 730 h/ano;
- $P_{Med\_n\_ct40}$  - Potência medida total da solução LED do tipo  $n$  com telegestão a 40% de fluxo, em kW a 730 h/ano;
- $P_{Med\_n\_ct30}$  - Potência medida total da solução LED do tipo  $n$  com telegestão a 30% de fluxo, em kW a 2190 h/ano.

A Tabela 7 resume as poupanças conseguidas por tipo de luminária aplicada. Também mostra a redução efetiva do consumo energético face à *baseline* do projeto.

**Tabela 7:** Resumo da poupança prevista. Consumo por tipo de Luminária e energia total consumida.

| Tipo de luminária | Quantidade | Total Horas Operação | Energia Consumida | Energia Total Consumida | Baseline  | Consumo Previsto | Redução Prevista |
|-------------------|------------|----------------------|-------------------|-------------------------|-----------|------------------|------------------|
|                   | [Unid.]    | [horas/ano]          | [kWh]             | [kWh]                   | [kWh]     | [kWh]            | [%]              |
| Viária            | 1 372      | 4 100                | 180 329           | 248 413                 | 1 793 951 | 337 368          | 81,2             |
| Jardim            | 110        | 4 100                | 16 435            |                         |           |                  |                  |
| Histórica         | 350        | 4 100                | 51 649            |                         |           |                  |                  |
| Total             | 1 832      |                      |                   |                         |           |                  |                  |

### 2.5.5 Cálculo da Poupança

A economia de energia é calculada de acordo com a seguinte fórmula (Equação 5):

$$E_{enM_{ano1}} = Baseline - E_{Cons.Total_{2018-2019}} \quad \text{(Equação 5)}$$

Onde:

- $E_{enM_{ano1}}$  - Economia de energia medida no ano 1, no período de julho de 2018 a junho de 2019;
- *Baseline* - Consumo base de referência de acordo com o Caderno de Encargos;
- $E_{cons.total2018-2019}$  - Consumo de energia elétrica na fronteira de medição durante o período de julho de 2018 a junho de 2019.

Nas Tabelas 8 e 9, constam os valores previstos e os números concretos, do contrato ESCO, nomeadamente o consumo energético por tipo de luminária, o consumo total da instalação aqui visada e ainda as respetivas economias/poupanças expressas na unidade de quilowatt hora (kWh).

**Tabela 8:** Resumo da economia gerada

| Baseline [kWh] | $E_{\text{Cons.Total 2018-2019}}$ [kWh] | $E_{\text{en M}_{\text{ano1}}}$ [kWh] |
|----------------|---|---------------------------------------|
| 1 793 951      | 248 413                                 | 1 545 538                             |

**Tabela 9:** Economia de energia

|  | Valores para o ano de 2018 (Ano 1 de ESCO) | Percentagens de Poupança (Ano 1 de ESCO) |
|--|--|--|
| Baseline [kWh/ano]   | 1 793 951                                  | N.A.                                     |
| $E_{\text{en\_Pt}}$ - Economia de energia prevista [kWh/ano] | 1 456 583                                  | 81,2%                                    |
| Consumo medido [kWh/ano]                                     | 248 413                                    | 13,8%                                    |
| $E_{\text{en\_Mt}}$ - Economia de energia medida [kWh/ano]   | 1 545 538                                  | 86,2%                                    |
| Poupança Extraordinária (Não prevista) [kWh/ano]             | 88 955                                     | 5,0%                                     |

## 2.6 Poupanças Resultantes da Implementação do Contrato ESCO

Realizadas as medições dentro da fronteira e após a sua análise verifica-se que o consumo de energia durante o período de reporte foi de 248 413 kWh, o que implica uma poupança de energia face à *baseline* de 86,2%. Constata-se que a poupança de energia obtida no primeiro ano de serviço foi de 1 545 538 kWh, tendo havido um desvio de 5,0%, face ao valor previsto de 1 456 583 kWh, que corresponde a uma poupança de 81,2% tal como se mostra na Tabela 9.

Verifica-se ainda durante o período de reporte as metas de economia de energia foram alcançadas, tendo sido mesmo superadas em 5,0% relativamente ao previsto para o primeiro ano de vigência do contrato ESCO sob o parque luminotécnico do Município da Covilhã. A partir dos dados da Tabela 9, foi possível construir o gráfico da Figura 21, que apenas compara de uma forma muito simples, mas real, a poupança alcançada

pelo Município. Esta poupança, traduziu-se numa redução de consumo com a IP de 86,2%.

### Comparação entre consumos (antes e após o contrato ESCO)

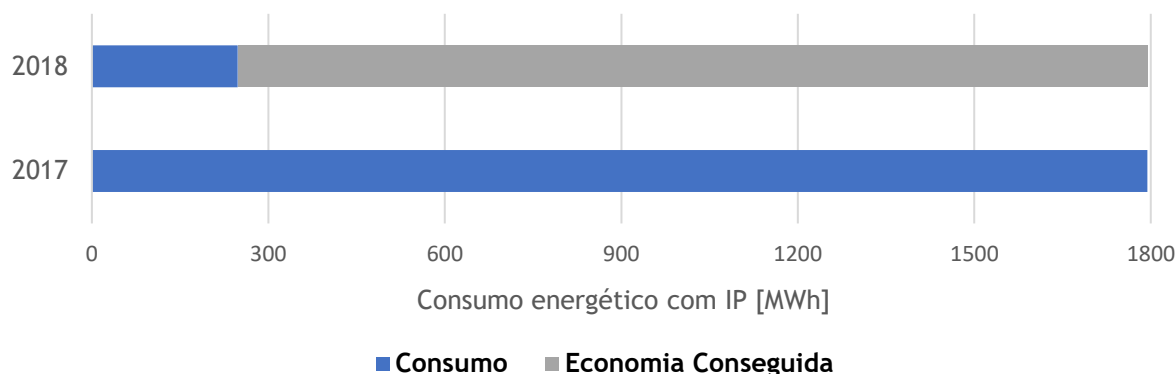


Figura 21: Consumo do primeiro ano (2018), face à *baseline* (2017)

Na Figura 21, podemos constatar a enorme diferença no consumo elétrico entre a utilização de lâmpadas de sódio e o consumo das luminárias substituídas com tecnologia LED. Esta redução de consumo elétrica traduz-se numa poupança associada em termos monetários, que irá verter primeiramente para a entidade ESE e para o Município, durante a vigência do contrato ESCO. Com o seu término, toda a poupança irá reverter para os cofres do Município.

Em termos gerais, podemos afirmar que o Município, poderá contar com uma poupança financeira na ordem dos 86%, relativamente à verba alocada com a Iluminação Pública, nas Freguesia intervencionadas ao abrigo do contrato ESCO.

A nível financeiro, relembrando que a poupança energética do Município da Covilhã foi efetivamente de 1 545 538 kWh, passando dos elevados 1 793 952 kWh para os 248 413 kWh, o que se traduziu numa economia de 86,2%. À luz, do preço da eletricidade aplicado à IP, mais precisamente, reportando-nos aos valores constantes da Figura 5, onde o último valor aponta para um custo de €0,1100/kWh (ano de 2012), este contrato ESCO com o Município da Covilhã, alcançou uma poupança mínima de 170 009,18 euros durante um ano de vigência do respetivo contrato.

Caso o contrato ESCO fosse levado a cabo no ano de 2021, e com o preço de energia elétrica de €0,1579/kWh, valor tabelado pela ERSE na tarifa de IP e que consta na

Tabela 10, a ESE iria receber um total de €244 040,45 por ano o que representa um aumento na poupança de 43% face ao primeiro valor calculado. Este valor será mais realista e certamente que estará mais próximo do valor real pago pelo Município.

**Tabela 10:** Variação da tarifa de IP desde do ano de implementação até ao presente

| Ano  | Preço médio IP (€/kWh) |
|------|------------------------|
| 2018 | 0,1212                 |
| 2019 | 0,1414                 |
| 2020 | 0,1269                 |
| 2021 | 0,1579                 |

Em termos hipotéticos, para um total de obra avaliado em €950 000, com uma poupança anual de €262 741,46 para o consórcio, com uma taxa interna de retorno para o Município de 15%, iria receber anualmente, de forma aproximada €39 411,22. A entidade responsável pelo ESCO ficaria com o restante, cerca de €223 330,24. Se o término do consórcio for a 6 anos, o Município consegue uma poupança total de €236 467,32, nesse período. A entidade ESE encaixava um total de €1 339 981,45, permitindo uma taxa de retorno simples na ordem dos 4,85% ao ano, sob a qual incidem diversos impostos e outras obrigações fiscais.

## Conclusões

O sector da Iluminação Pública é um dos grandes consumidores energéticos em Portugal, onde a tecnologia que dura e perdura é a utilização da tecnologia de lâmpadas de sódio, que lhe confere a típica cor alaranjada, que todos nós conhecemos da nossa rua, da nossa aldeia ou cidade. O objetivo deste trabalho foi aliar a eficiência energética com as novas e promissoras tecnologias de iluminação. Além da troca de tecnologia propriamente dita, o plano de eficiência energética, contempla ainda um serviço que permite uma maior economia de energia elétrica e de dinheiros dos municípios, através da função de regulação de fluxo luminoso, que permite adaptar a quantidade de “luz” emitida em certos horários e permite uma elevada economia.

Foram colocados oito diferentes tipos de luminárias na cidade da Covilhã organizadas em três grupos distintos: viárias, históricas e jardim. Os três modelos propostos conseguiram suprimir todas as necessidades a nível luminotécnico daquele concelho.

O trabalho realizado foi composto por diversas fases, umas mais burocráticas, bem como outras mais de engenharia. Depois do contrato ESCO já ter sido implementado, foi necessário proceder às medições de uma amostra significativa dos oito tipos distintos de luminárias que equipam o parque luminotécnico da Covilhã, visado no contrato ESCO aqui em estudo.

Após a conclusão dos trabalhos de instalação das luminárias, procedeu-se à análise da redução do consumo energético com a Iluminação Pública. De forma a avaliar esta redução, definiram-se os termos bases de tal análise, de entre os quais se salienta o *baseline*, com um valor de 1 793 952 kWh ( $\approx$  1 794 MWh). Aquando da celebração do contrato ESCO, o consumo previsto iria sofrer uma redução de 81,19%, ou seja de 337 368 kWh.

Contudo, após a instalação das luminárias, o consumo medido apresentou um valor de 248 413 kWh, inferior ao valor previsto, traduzindo-se numa redução efetiva do consumo na ordem dos 86,2%. Esta variação inesperada, mas de forma benéfica, de 88 955 kWh, representa uma redução de aproximadamente 5% no consumo energético relativamente às estimativas aquando da elaboração do contrato ESCO.

A telegestão foi apenas aplicada às luminárias do tipo viárias, pois representam um total de 75% do número total de luminárias substituídas na cidade da Covilhã ao abrigo deste contrato ESCO.

O sistema de telegestão permite não só a poupança associada à troca de tecnologia, mas também permite uma poupança extra associada com a regulação da intensidade luminosa, que pode ser diminuída nos horários com menor circulação.

Esta função de *dimming*, foi uma das propriedades inovadoras empregues na Cidade da Covilhã, tendo sido aplicado um total de 4 valores de regulação do fluxo luminoso.

É seguro dizer que foi graças à implementação desta função que se conseguiu alcançar uma poupança extra de 5% relativamente à poupança inicialmente prevista.

Mediante valores tabelados pela ERSE, na tarifa de IP, para o ano de 2018, concluiu-se que as 1832 luminárias instaladas produziram uma poupança de €187 319,21. Caso o modelo aqui em estudo fosse ampliado para todo o Município da Covilhã, incluindo todas as Freguesias, a poupança seria ainda mais relevante.

A principal dificuldade encontrada no presente trabalho prendeu-se com a totalidade de tempo despendido a fim de se fazerem todas as medições. Uma outra dificuldade, característica deste tipo de instalações, prende-se com a necessidade de as medições e registos terem de ser feitos fora do horário normal de funcionamento das luminárias o que exige a intervenção de um técnico habilitado para ligar a IP e fazer coincidir as medições com o seu funcionamento e também com o início de cada ciclo de regulação de fluxo luminoso.

Em termos de investigação futura esta pode incidir sobre a criação de um conjunto de documentos técnicos que visem detalhar e especificar a mudança de tecnologia ocorrida em determinado ano. Desta forma, será possível reunir um vasto conjunto de trabalhos que retratem a evolução não só da tecnologia associada à IP, mas também que retrate a eficiência entre as diferentes características internas das luminárias. Sendo este trabalho um marco referente ao ano de 2017, uma outra proposta poderá contemplar o estudo de poupanças associadas com a aplicação de novos valores de regulação de fluxo.

## Referências Bibliográficas

- ECivil (2018). *Classe de vias*. Consultado em 7 jun. 2021. Disponível em <http://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-via-classe-0.html>;
- ERSE (2020) - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. Consultado em 7 mai. 2021. Disponível em <http://www.erse.pt/pt/Paginas/home.aspx>;
- Gonçalo Paiva e Pedro Antunes (2019). *Sistemas de Telegestão*. Consultado em 6 mar. 2021. Disponível em [http://users.isr.ist.utl.pt/~pjcro/courses/api0910/Sem\\_A5.pdf](http://users.isr.ist.utl.pt/~pjcro/courses/api0910/Sem_A5.pdf). [Acedido em março 2021];
- INE (2020) - Instituto Nacional de Estatística. *Resultados dos Censos à população nacional de 2021*. Consultado em 7 jun. 2021. Disponível em [https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_indicadores&contecto=pi&indOcorrCod=0008273&selTab=tab0](https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&contecto=pi&indOcorrCod=0008273&selTab=tab0);
- Jägerbrand, A. K. (2016). LED (Light-Emitting Diode) road lighting in practice: An evaluation of compliance with regulations and improvements for further energy savings. *Energies*, 9(5), 357;
- Keck, M. E. (1989). Effect of luminaire arrangement on object visibility. *Transportation Research Record*, (1247);
- Koutchma, T. (2019). Technology of LED Light Sources and Systems From Visible to UV Range. In *Ultraviolet LED Technology for Food Applications* (pp. 25-33). Academic Press;
- Lighting Equipment Sales (2019). *Catálogo de produtos de comunicação*. Consultado em 7 jun. 2021. Disponível em <http://lightingequipmentsales.com/what-is-nema-socket.html>;
- L-STAR (2019). *Catálogo de Luminárias: Produtos L-STAR*. Consultado em 7 jun. 2021. Disponível em [http://www.l-starlight.com/xzzx\\_en.html](http://www.l-starlight.com/xzzx_en.html);
- Machado, A. M. Q. (2017). *Gestão e eficiência energética em redes de iluminação pública* (Master's thesis);

- Mjøs, T. (2007). Intelligent street lighting in Oslo, Norway. *Eceee 2007 Summer Study*, 469-474;
- NASA (2020) - National Aeronautics and Space Administration. *Imagens de satélite*. Consultado em 7 jun. 2021. Disponível em <http://www.nasa.gov/content/iberian-peninsula-atnight/>;
- Novicki, J. M., & Martinez, R. (2008). *LEDs para iluminação pública*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR;
- Nurcahyanto, S. Y., & Urmee, T. (2020). Opportunities and challenges of energy service companies to promote energy efficiency programs in Indonesia. *Energy*, 205, 117603;
- Okay, N., & Akman, U. (2010). Analysis of ESCO activities using country indicators. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 2760-2771;
- Pagden, M., Ngahane, K., & Amin, M. S. R. (2020). Changing the colour of night on urban streets-LED vs. part-night lighting system. *Socio-Economic Planning Sciences*, 69, 100692;
- Painuly, J. P., Park, H., Lee, M. K., & Noh, J. (2003). Promoting energy efficiency financing and ESCOs in developing countries: mechanisms and barriers. *Journal of Cleaner Production*, 11(6), 659-665;
- Perko, J., Topić, D., & Šljivac, D. (2016, October). Exploitation of public lighting infrastructural possibilities. *In 2016 International Conference on Smart Systems and Technologies (SST)* (pp. 55-59). IEEE;
- Pollard, N. (1997). Techniques and limitations of outdoor lighting. *The Observatory*, 117, 31-33;
- PORDATA (2017) - Fundação Manuel dos Santos. *Estatísticas nacionais por sector*. Consultado em 7 jun. 2021. Disponível em [www.pordata.pt](http://www.pordata.pt);



- Remande, C. (2001). Light Pollution: How High-Performance Luminaires Can Reduce It. *In Symposium-International Astronomical Union* (Vol. 196, pp. 49-59). Cambridge University Press;
- Santos, C. R. A. S. (2011). *Iluminação pública e sustentabilidade energética*. Repositório FEUP - Porto.
- Stuart, E., Larsen, P. H., Goldman, C. A., & Gilligan, D. (2014). A method to estimate the size and remaining market potential of the US ESCO (energy service company) industry. *Energy*, 77, 362-371;
- Vine, E. (2005). An international survey of the energy service company (ESCO) industry. *Energy Policy*, 33(5), 691-704;
- Vine, E., Nakagami, H., & Murakoshi, C. (1999). The evolution of the US energy service company (ESCO) industry: from ESCO to Super ESCO. *Energy*, 24(6), 479-492.