



# **Projeto Integrado de Eficiência Energética do Sistema de Iluminação Pública de um Município**

Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Paulo de Sousa Clemente

Leiria, março de 2023

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*



# **Projeto Integrado de Eficiência Energética do Sistema de Iluminação Pública de um Município**

Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Paulo de Sousa Clemente

Trabalho de projeto realizado sob a orientação do Professor Hermano Joaquim dos Santos Bernardo e do Professor João Miguel Charrua de Sousa

Leiria, março de 2023

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# **Originalidade e Direitos de Autor**

A presente dissertação de projeto é original, elaborada unicamente para este fim, tendo sido devidamente citados todos os autores cujos estudos e publicações contribuíram para a elaborar.

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionado o Autor e feita referência ao ciclo de estudos no âmbito do qual a mesma foi realizado, a saber, Curso de Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente, no ano letivo 2021/2022, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, e, bem assim, à data das provas públicas que visaram a avaliação destes trabalhos.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Dedicatória

À minha família.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco.*

# Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço aos meus orientadores, Professor Hermano Joaquim dos Santos Bernardo e do Professor João Miguel Charrua de Sousa, por toda a ajuda e colaboração na realização deste projeto.

Agradeço a todos os professores que deram aulas no Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente, no ano letivo 2021/2022.

Especial agradecimento à Professora Doutora Maria Lizete Lopes Heleno, pelo empenho e esforço para todos os alunos chegarem ao fim desta etapa, com sucesso.

Por fim, e os últimos são sempre os primeiros, agradeço à minha família que sempre me apoiou e incentivou para nunca desistir, sabendo das dificuldades que tivemos de ultrapassar para concretizar esta etapa.

Agradeço ao “Dom Paulino”, estarás sempre presente.

A todos: **Muito Obrigado**

Paulo Clemente.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Resumo

Em Portugal a iluminação pública, tem tecnologia desatualizadas na maioria dos sistemas utilizados, pouco eficientes energeticamente e com despesas consideráveis para os municípios. Portanto é imperativo mudar os sistemas de IP desatualizados, com vista a alcançar as metas do Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC 2050) e do Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030 (PNEC 2030) e conseqüentemente melhorar a tesouraria dos municípios.

O projeto está dividido em duas partes. A primeira parte sumariza os consumos registados em Portugal, em vários setores de atividade, no ano de 2020. Realiza-se uma comparação da evolução do consumo total de energia com o consumo de energia da iluminação pública e também a evolução do preço da tarifa na iluminação pública. Também aborda a legislação em vigor sobre a iluminação pública e são analisadas as tecnologias utilizadas para o controlo da IP, com o objetivo de aumentar a eficiência energética.

Na segunda parte, o estudo de caso é sobre um município de Portugal, onde é feita a sua caracterização socioeconómica, e identificada a tipologia da iluminação presente no sistema de iluminação pública. Seguidamente é realizada uma proposta de melhoria para a iluminação pública, com a finalidade de aumentar a eficiência energética e reduzir o consumo e conseqüentemente a fatura energética.

Por fim, são propostos dois cenários para implementação do projeto, o primeiro com capitais próprios e o segundo utilizando capitais de terceiros, e finalmente é feita uma análise comparativa entre os dois cenários propostos.

**Palavras-chave:** Iluminação Pública, Eficiência Energética, Sustentabilidade, Eletricidade.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Abstract

In most of the Public Lighting systems used in Portugal, the technology is outdated, leading to lack of energy efficient equipments, and considerable expenses for the Municipalities. It is therefore imperative to change the outdated Public Lighting systems, certainly to achieve the Roadmap for Carbon Neutrality 2050 (RNC2050) and the National Energy and Climate Plan 2021-2030 (NECP 2030) goals, and consequently improve the treasury of Municipalities.

The project is divided into two parts. The first part summarizes the consumption recorded in Portugal, in various sectors of activity, in the year 2020. A comparison is made involving the evolution of total energy consumption with the energy consumption of public lighting and also the evolution of the tariff prices in street lighting. It also addresses current legislation on public lighting and analyses the technologies used to control public lighting, with the aim of increasing energy efficiency.

In the second part, the case study is about a Municipality of Portugal, where its socioeconomic characterization is made, and the type of lighting present in the public lighting system is identified. Then a proposal is made to improve public lighting, with the aim of increasing energy efficiency, and reducing consumption and consequently the energy bill.

Finally, two scenarios are proposed for project implementation, the first with equity capital and the second using third-party capital, and finally a comparative analysis is made between the two proposed scenarios.

**Keywords:** Public Lighting, Street Lighting, Energy Efficiency, Sustainability, Electricity.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Índice

<b>Originalidade e Direitos de Autor .....</b>	<b>iii</b>
<b>Dedicatória .....</b>	<b>v</b>
<b>Agradecimentos .....</b>	<b>vii</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>ix</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>xi</b>
<b>Lista de figuras.....</b>	<b>xvi</b>
<b>Lista de tabelas.....</b>	<b>xviii</b>
<b>Lista de siglas e acrónimos.....</b>	<b>xx</b>
<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Enquadramento .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Objetivos.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. Estrutura do trabalho .....</b>	<b>2</b>
<b>2. Iluminação pública em Portugal .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Caraterização do consumo de energia elétrica em IP em Portugal .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2. Legislação em vigor .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3. Empresas de serviços energéticos (ESE) .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4. Contratos de desempenho energético (CDE) .....</b>	<b>15</b>
<b>3. Sistema de controlo e gestão de energia.....</b>	<b>23</b>
<b>3.1. Interruptor crepuscular .....</b>	<b>23</b>
<b>3.2. Relógios astronómicos .....</b>	<b>24</b>
<b>3.3. Reguladores de fluxo .....</b>	<b>24</b>
<b>3.4. Soluções de controlo de LED .....</b>	<b>25</b>

3.4.1.	<i>Driver</i> .....	25
3.4.2.	Sensores para cenários dinâmicos e autónomos.....	26
<b>3.5.</b>	<b>Iluminação solar</b> .....	<b>28</b>
<b>3.6.</b>	<b>Sistemas de telegestão</b> .....	<b>29</b>
<b>4.</b>	<b>Estudo de caso</b> .....	<b>31</b>
<b>4.1.</b>	<b>Caracterização socioeconómica do município</b> .....	<b>31</b>
<b>4.2.</b>	<b>Classificação das vias</b> .....	<b>34</b>
<b>4.3.</b>	<b>Caraterização das luminárias instaladas</b> .....	<b>36</b>
<b>5.</b>	<b>Proposta de melhoria</b> .....	<b>43</b>
<b>5.1.</b>	<b>Introdução</b> .....	<b>43</b>
<b>5.2.</b>	<b>Caraterização das luminárias da proposta de melhoria</b> .....	<b>44</b>
<b>5.3.</b>	<b>Análise comparativa da situação de referência com a proposta de melhoria..</b>	<b>47</b>
<b>6.</b>	<b>Análise de viabilidade técnico-económica do projeto</b> .....	<b>53</b>
<b>6.1.</b>	<b>Introdução</b> .....	<b>53</b>
<b>6.2.</b>	<b>Pressupostos utilizados para a definição de cenários</b> .....	<b>54</b>
<b>6.3.</b>	<b>Cenário 1 – Investimento com capitais próprios</b> .....	<b>55</b>
<b>6.4.</b>	<b>Cenário 2 – Investimento com financiamento de terceiros</b> .....	<b>57</b>
<b>6.5.</b>	<b>Análise comparativa cenário 1 versus cenário 2</b> .....	<b>59</b>
<b>7.</b>	<b>Considerações finais e trabalho futuro</b> .....	<b>61</b>
	<b>Bibliografia</b> .....	<b>63</b>
	<b>Anexos</b> .....	<b>67</b>

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Lista de figuras

Figura 2-1 – Relação entre os Objetivos nacionais e as dimensões do PNEC [2] .....	6
Figura 2-2 – Consumo de energia elétrica por tipo de atividade em Portugal [11].....	7
Figura 2-3 – Comparação do consumo total de energia com o consumo da energia na IP em Portugal [11] ....	8
Figura 2-4 – Tarifa da IP do ano 2008 a 2012.....	9
Figura 2-5 – Tarifa de IP, entre 2013 e 2017, para 20,7 kVA.....	10
Figura 2-6 – Tarifa de IP, no ano de 2018 até 2022 .....	11
Figura 2-7 – Consumo de energia de IP, por regiões.....	12
Figura 2-8 – Consumo de energia de IP/habitante.....	13
Figura 2-9 – Modelo exemplo de um CDE [12].....	19
Figura 2-10 – Aplicação do ECO.AP [12].....	19
Figura 2-11 – Fases do procedimento para celebração de um CDE [13] .....	20
Figura 2-12 – Estimativa da subida do preço do IPC e estimativa da subida do preço da energia. ....	22
Figura 3-1 – Interruptor Crepuscular. [14].....	23
Figura 3-2 – Relógio Astronómico. [14].....	24
Figura 3-3 – Funcionamento de um regulador de fluxo. [15] .....	25
Figura 3-4 – Exemplo de um perfil de dimming [16].....	26
Figura 3-5 – Utilização de sensores PIR. [16].....	26
Figura 3-6 – Utilização de sensores de radar. [16] .....	27
Figura 3-7 – Cenários de temperatura de cor da luminária conforme a utilização. [16] .....	27
Figura 3-8 – Perfil da temperatura de cor. [16] .....	28
Figura 3-9 – Luminária com sistema integrado. [17] .....	29
Figura 4-1 – Consumo de energia elétrica por setor de atividade económica no município .....	31
Figura 4-2 – Consumo de energia elétrica na IP e nos edifícios do município, em MWh (município em estudo) .....	34
Figura 4-3 – Caracterização do tipo de lâmpada no projeto .....	36
Figura 4-4 – Imagem do projeto de iluminação pública .....	41
Figura 5-1 – Perfil proposto para a IP.....	48
Figura 5-2 – Comparação dos encargos anuais do sistema atual com os sistemas propostos.....	49

Figura 5-3 – Comparação do consumo da energia primária do sistema de referência com os sistemas propostos. ....	50
Figura 5-4 - Comparação das emissões de GEE do sistema de referência com os sistemas propostos .....	51
Figura 6-1 – Análise do fluxo monetário da proposta de melhoria (sem <i>dimming</i> ).....	55
Figura 6-2 – Análise económica da proposta de melhoria com <i>dimming</i> .....	56
Figura 6-3 – Poupança utilizando investidores terceiros sem <i>dimming</i> .....	57
Figura 6-4 – Análise económica com investimento de terceiros, da proposta de melhoria com <i>dimming</i> .....	58
Figura 6-5 – Comparação do VAL aos 20 anos após o investimento .....	59

# Lista de tabelas

Tabela 2-1 – Enquadramento legislativo.....	13
Tabela 4-1 – Classificação das vias do município em estudo. ....	35
Tabela 4-2 – Níveis de iluminação para as diferentes Classes. ....	35
Tabela 4-3 – Caracterização das luminárias instaladas .....	37
Tabela 4-4 – Luminária Tipo A1. ....	38
Tabela 4-5 – Luminária Tipo A2. ....	38
Tabela 4-6 – Luminária tipo A3 .....	39
Tabela 4-7 – Características das lâmpadas que equipam as luminárias na situação de referência.....	39
Tabela 4-8 – Resumo por tipo de luminária do projeto em estudo.....	40
Tabela 4-9 – Valores de referência para cálculos de consumos.....	40
Tabela 4-10 – Encargos da IP na situação de referência.....	40
Tabela 5-1 – Modelos das luminárias da proposta de melhoria .....	45
Tabela 5-2 – Quantidade de luminárias para a proposta de melhoria e as suas características.....	46
Tabela 5-3 – Consumo anual da proposta de melhoria.....	46
Tabela 5-4 – Encargos da IP com a proposta de melhoria .....	46
Tabela 5-5 – Situação de referência vs. proposta de melhoria .....	47
Tabela 5-6 – Comparação do sistema de referência e a proposto de melhoria .....	47
Tabela 5-7 – Benefícios da aplicação do <i>dimming</i> .....	49
Tabela 6-1 – Valor do orçamento .....	54
Tabela 6-2 – Investimento inicial .....	54
Tabela 6-3 – Resultado da análise económica da proposta de melhoria sem <i>dimming</i> .....	55
Tabela 6-4 – Resultado da análise económica da proposta de melhoria com <i>dimming</i> .....	56
Tabela 6-5 –Encargos com financiamento de terceiros .....	57
Tabela 6-6 – Resultado da análise económica da proposta de melhoria sem <i>dimming</i> com investimento de terceiros .....	58
Tabela 6-7 – Resultado da análise económica da proposta de melhoria com <i>dimming</i> com investimento de terceiros .....	58

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## Lista de siglas e acrónimos

BT	Baixa Tensão
BTE	Baixa Tensão Especial (baixa tensão com potência contratada superior a 41,4 kW)
BTN	Baixa Tensão Normal (baixa tensão com potência contratada inferior ou igual a 41,4 kW)
CAC	Comissão de Acompanhamento do Contrato
CDE	Contrato de Desempenho Energético
CEN	Comité Europeu de Normalização
CIE	Comissão Internacional de Iluminação
CIM	Comunidade Intermunicipal
DE	Densidade de Energia
DP	Densidade de Potência
DRE	Diário da República Eletrónico
ECO.AP	Programa de Eficiência Energética na Administração Pública
ESCO	<i>Energy Service Company</i>
ESE	Empresa de Serviços Energéticos
ESTG	Escola Superior de Tecnologia e Gestão
EU	União Europeia
FM	Fator de Manutenção da Instalação
FML	Fator de Manutenção da Luminária
FMLL	Fator de Manutenção da Luminosidade da Luminária
FSL	Fator de Sobrevivência da Luminária/Fonte de Luz
GEE	Gases com Efeito de Estufa
IKxx	Índice de Proteção Mecânica
IP	Iluminação Pública
IPC	Índice de Preços do Consumidor
IPMVP	Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Desempenho Energético
IPxx	Índice Proteção
IRC	Índice de Reprodução Cromática

LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LOR	<i>Light Output Ratio</i>
PDM	Plano Diretor Municipal
PIP	Pontos de Iluminação Pública
PIR	Sensor Infravermelho Passivo
PNEC 2030	Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030
PT	Posto de Transformação
RI	Rendimento da Instalação
RNC 2050	Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050
SQESE	Sistema de Qualificação das Empresas de Serviços Energéticos
TI	Encadeamento Perturbador
VAL	Valor Atual Líquido
TIR	Taxa Interna de Rentabilidade
ROI	Retorno do Investimento
ULOR	Rácio de Saída do Fluxo Luminoso Ascendente

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# 1. Introdução

Os estados-membros da União Europeia, com a preocupação das alterações climáticas resultante do aquecimento global, têm procurado soluções para mitigar os impactos associados. Um dos pontos muito importante é o desafio para o aumento da eficiência energética, procurando reduzir do consumo de energia, diminuir as emissões dos gases com efeito de estufa provenientes da produção de energia e reduzir custos associados ao uso de energia elétrica, contribuindo dessa forma para abrandar os impactos com as alterações climáticas.

## 1.1. Enquadramento

A Iluminação Pública (IP) em Portugal está numa fase de grande transformação resultante do desenvolvimento tecnológico, das políticas energéticas e do conceito da eficiência energética. O aparecimento da tecnologia LED possibilita obter redução do consumo de energia elétrica e conseqüentemente redução muito significativa nos custos com aquisição de energia. A E-REDES tem o monopólio da concessão da rede de IP, tendo o contrato das concessões uma duração de 20 anos. Alguns destes contratos terminaram há pouco tempo e outros terminarão no prazo de três anos. Para existir uma rede de IP eficiente energeticamente é necessário realizar investimento, mas o concessionário deixou de fazer investimentos por diversos motivos. Na conjuntura atual os decisores públicos têm a oportunidade de optar pela tecnologia LED na rede de IP, aumentando a disponibilidade de tesouraria com as economias alcançadas e transpor a rede de IP para a sua competência e gestão. A tomada de decisão para implementar projetos de IP por parte dos decisores públicos é por vezes complicada, com muitas dificuldades e obstáculos de diversa ordem, nomeadamente financeira, associada ao tipo de concurso que deve ser lançado e necessitando também mobilizar as pessoas mais céticas a estas tecnologias e aos diversos modelos de negócio.

Alguns municípios optaram por ter a gestão da rede de IP mesmo antes de terminar a concessão. Esta decisão implica uma indemnização à E-REDES, podendo ainda assim ser vantajosa para o município. Os municípios, para serem eficientes energeticamente na IP, estão a celebrar contratos de desempenho energético com Empresas de Serviço Energético

(ESE) ou a celebrar contratos de fornecimento e montagem de luminárias na rede de IP, ficando neste caso a responsabilidade da manutenção a cargo do município.

A ERSE publicou propostas para as peças tipo dos procedimentos de atribuição das concessões ao Abrigo da Lei nº 31/2017, mas mesmo com estas publicação existem certos aspetos que devem ser melhorados e ultrapassados, para que se possa tornar mais efetiva e consciente a opção por concessões.

No âmbito da eficiência energética da IP, o desenvolvimento está centrado na evolução da tecnologia LED, complementando-se com novas tecnologias que surgiram nos últimos anos, nomeadamente na regulação do fluxo, através do *dimming* e da telegestão das luminárias.

## **1.2. Objetivos**

O desenvolvimento deste trabalho pretende demonstrar as soluções atuais de mercado para os municípios reduzirem a despesa com a iluminação pública, reduzir as emissões de GEE e serem eficientes energeticamente na IP, mais concretamente através da alteração de luminárias com lâmpadas de sódio por luminárias com a tecnologia de LED. As soluções propostas serão analisadas, evidenciando os aspetos económicos e ambientais de cada uma das soluções.

## **1.3. Estrutura do trabalho**

O trabalho está apresentado em oito capítulos que resumem o trabalho desenvolvido.

No Capítulo 1 é apresentado o enquadramento do trabalho, os seus objetivos e a organização do mesmo.

O Capítulo 2 mostra a caracterização da iluminação pública em Portugal e o enquadramento legislativo.

No Capítulo 3 são apresentados os sistemas de controlo e gestão de energia na IP e também os sistemas de controlo para as luminárias de LED.

No Capítulo 4 caracteriza-se a iluminação pública do estudo de caso, bem como os consumos de energia elétrica e os seus encargos.

No Capítulo 5 é apresentada uma proposta de melhoria, englobando a substituição das luminárias existentes por LED com demonstração de resultados relativos ao consumo de energia e aos encargos associados.

No Capítulo 6 é apresentada a análise e viabilidade técnico-económica da proposta de melhoria, indicando dois cenários para a implementação da proposta de melhoria do sistema de IP.

Por fim, no capítulo 7 são apresentadas considerações finais e são propostas ideias de trabalho futuro a este projeto.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## 2. Iluminação pública em Portugal

Portugal comprometeu-se em 2016 a assegurar a neutralidade das suas emissões até ao final de 2050, traçando uma visão clara relativamente à descarbonização profunda da economia nacional. No âmbito do RNC 2050 (Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050) foi estabelecida a trajetória de redução de emissões até 2050, passando por objetivos de redução de emissões de GEE de 45% a 55% em 2030, 65% a 75% em 2040 e 85% a 90% em 2050, face aos níveis de 2005. [1]

No ano de 2019 foram emitidas em Portugal 63,6 Milhões de Toneladas de CO<sub>2e</sub> (diferentes Gases com Efeito de Estufa como o dióxido de carbono, metano, óxido nitroso...), tendo a produção de energia elétrica representado cerca de 21% destas emissões. Neste contexto, a 21 de maio de 2020, o Conselho de Ministros aprovou o PNEC 2030 (Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030), tendo este documento estabelecido os objetivos da política climática e energética nacional.

O Acordo de Paris alcançado em 2015 estabeleceu objetivos de longo prazo de contenção do aumento da temperatura média global a um máximo de 2°C acima dos níveis pré-industriais, com o compromisso por parte da comunidade internacional de prosseguir todos os esforços para que esse aumento não ultrapasse 1,5°C, valores que a ciência define como máximos para se garantir a continuação da vida no planeta sem alterações demasiado disruptivas. Estabeleceu ainda objetivos de aumento da capacidade de adaptação aos impactos adversos das alterações climáticas e de mobilização de fluxos financeiros consistentes com trajetórias de baixas emissões e desenvolvimento resiliente. [2]

O PNEC 2030 definiu oito objetivos nacionais para a concretização da estratégia de cinco dimensões do PNEC, sendo cada objetivo definido de modo a contribuir para mais do que uma dimensão, conforme a matriz apresentada na Figura 2-1.

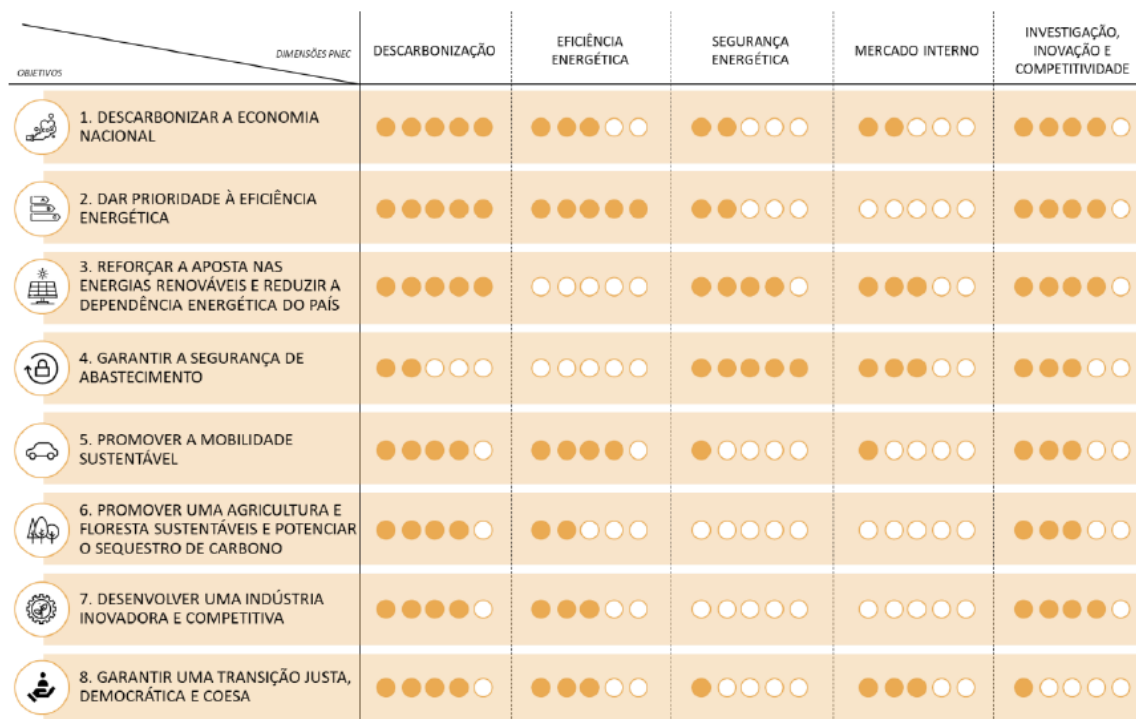


Figura 2-1 – Relação entre os Objetivos nacionais e as dimensões do PNEC [2]

Estes oito objetivos do PNEC 2030 contemplam 58 linhas de atuação e 206 medidas associadas para cada linha de atuação, para conseguir a neutralidade carbónica em 2030. A IP está mencionada numa linha de atuação e em duas medidas de ação, contribuindo na dimensão da descarbonização e eficiência energética. As linhas de atuação consiste em promover a eficiência energética na IP, estando previstas as medidas de ação em definir um regime jurídico da requalificação e instalação de infraestruturas de IP e introduzir um sistema de gestão de consumos da IP.

A Iluminação Pública (IP) é responsável por uma parte muito significativa do consumo de energia elétrica, em especial nos municípios, correspondente a um encargo anual financeiro muito significativo. Por outro lado, existe ainda um grande potencial de economias de energia que deve constituir mais um fator de dinamização por parte dos municípios. Neste contexto, torna-se essencial promover o investimento numa IP eficiente e de nova geração, que permita adequar os níveis de iluminação necessários para a segurança de peões e veículos e consequentemente aumentando as economias de energia. Ao realizar este investimento, permite a introdução de novas funcionalidades e aplicações para gestão e controlo de consumo, e potenciando o modelo desejado de Cidades Inteligentes. Serão adotadas políticas que promovam o desenvolvimento de uma IP eficiente e de nova

geração, promovendo a requalificação energética no sentido de obter economias de energia e garantindo iluminação adequada, de acordo com a normalização em vigor para as vias públicas por todo o país. [2]

## 2.1. Caracterização do consumo de energia elétrica em IP em Portugal

Nas últimas décadas a iluminação pública em Portugal teve significativas alterações no que respeita aos consumos associados, à instalação de rede de IP e também na alteração do preço da energia elétrica. Por este motivo, é imperativo efetuar uma avaliação das soluções atuais e verificar se estas são viáveis economicamente e também tecnicamente.

Na Figura 2-2, observam-se os consumos de energia por setor de atividade em Portugal no ano 2020. O consumo de energia elétrica na iluminação pública representou neste ano 2,68% da energia total consumida em Portugal, sendo uma parcela muito significativa que representa um consumo de 1 266,5 GWh, distribuído por 3 324 168 pontos de luz [3].

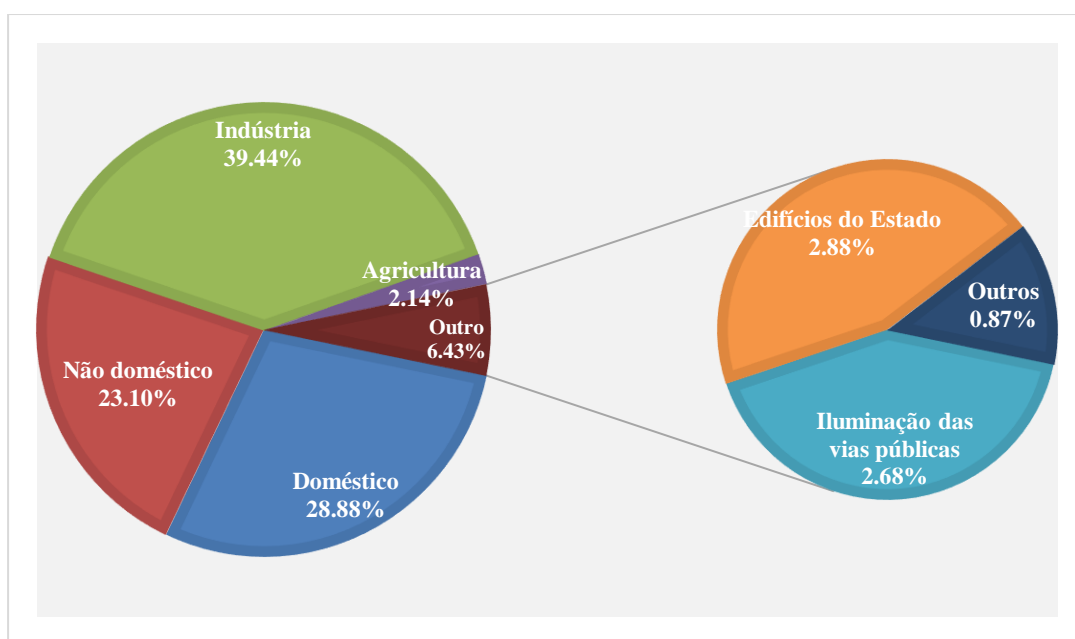


Figura 2-2 – Consumo de energia elétrica por tipo de atividade em Portugal [11]

Estando instaladas 1 013 107 luminárias com tecnologia LED [3] (cerca de 30% do número total de luminárias instaladas), as restantes são luminárias com lâmpadas de vapor de sódio e de mercúrio.

A melhoria da qualidade de vida e também o aumento do poder económico levou a que houvesse um aumento de consumo de energia, mas ultimamente com algumas reformas implementadas, esta tendência abrandou e até diminuiu o consumo relativamente a uma ou duas décadas anteriores. Analisando a Figura 2-3, existe um crescimento do consumo da energia eléctrica em Portugal ente 1994 e 2010, seguido de uma crise económica e financeira aliado também à aplicação de algumas medidas de eficiência energética, que justificou uma diminuição do consumo de energia eléctrica. Com a retoma económica do país, o consumo de energia voltou a aumentar até 2019, tendo novamente em 2020 diminuído devido à pandemia do COVID-19, tendo alguns sectores da economia abrandado significativamente. Na IP o consumo foi sempre aumentando entre 1994 e 2011, mas em 2012 inicia uma queda no consumo de energia devido à crise que levou os municípios a desligarem algumas luminárias com o objetivo de reduzir a fatura energética. Nessa altura, as autarquias iniciaram a implementação de algumas medidas de eficiência energética de acordo com o PNAEE 2008-2015. Uma das medidas foi a instalação de reguladores de fluxo nos ramais de IP.

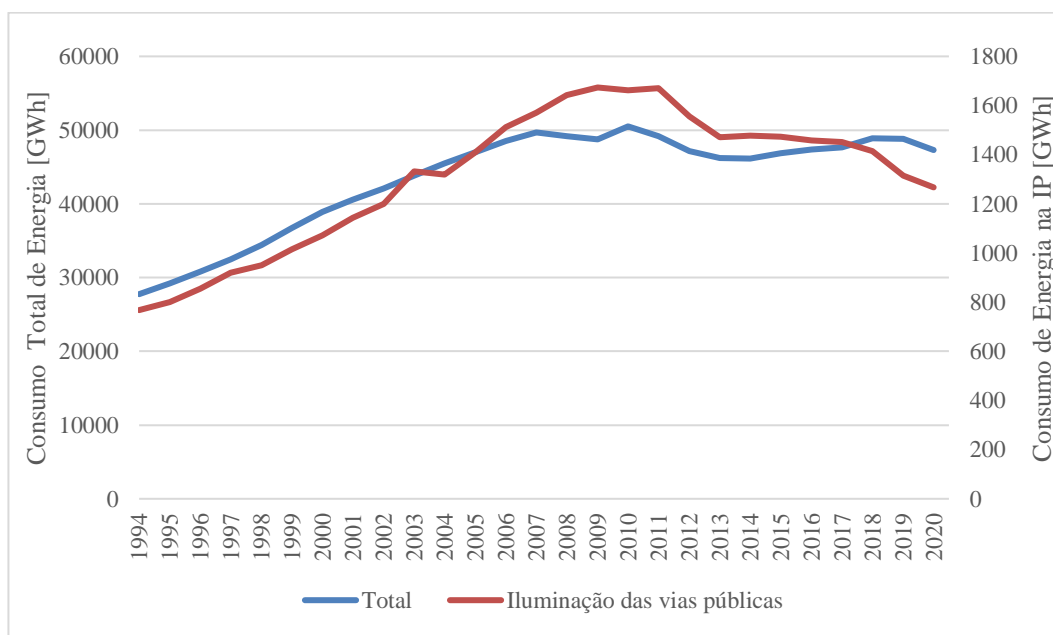
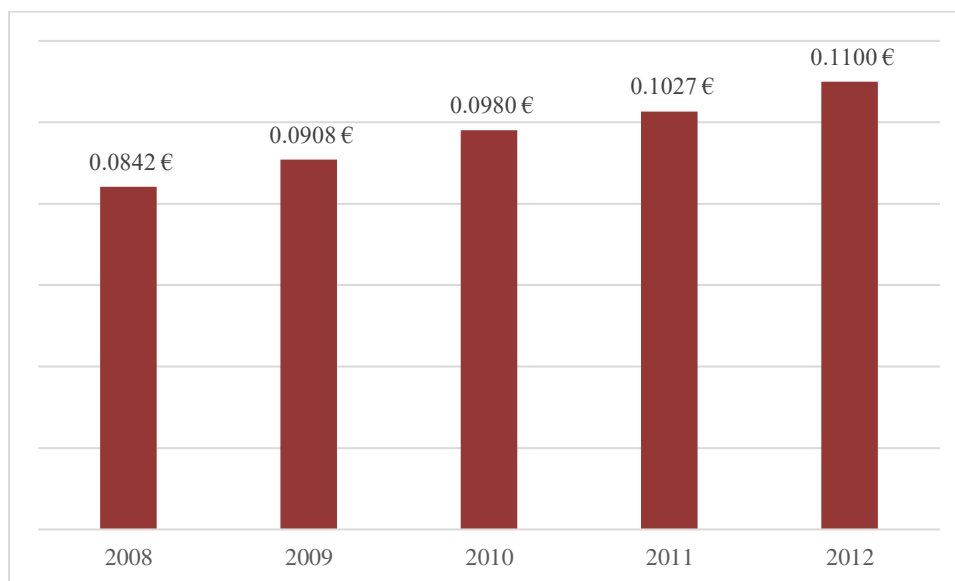


Figura 2-3 – Comparação do consumo total de energia com o consumo da energia na IP em Portugal [11]

O preço da energia na IP é extremamente importante de analisar, já que poderá implicar encargos muito significativos para os municípios. Até ao ano de 2012 existia uma tarifa para o consumo de energia para a IP. A tarifa foi sempre aumentando desde 2008 até 2012, como pode ser verificado na Figura 2-4.



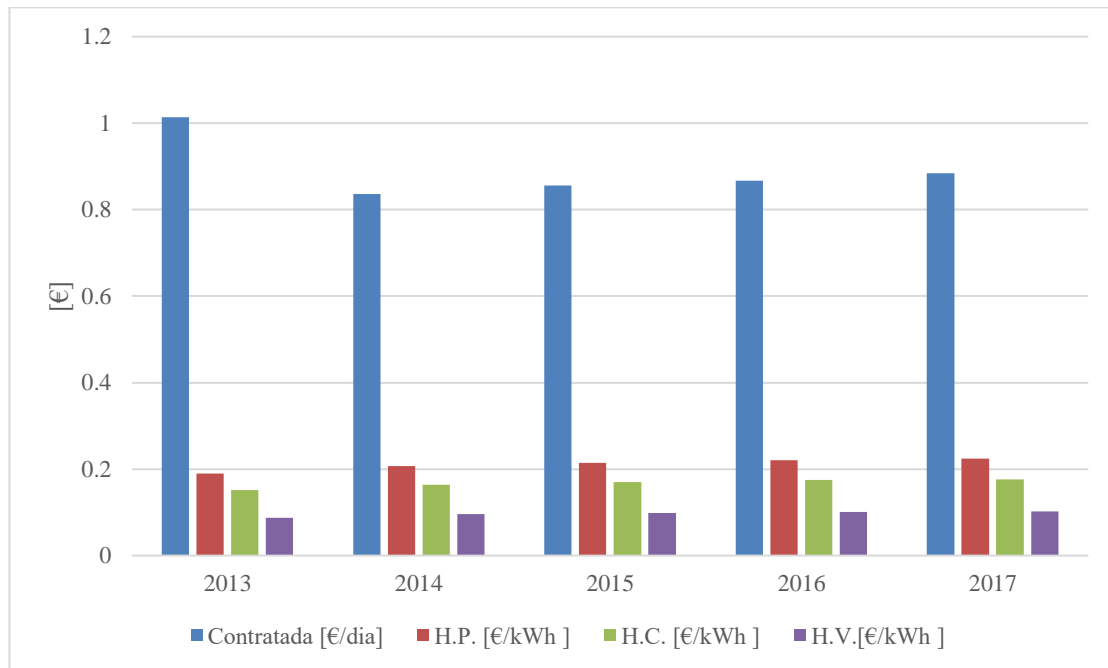
**Figura 2-4 – Tarifa da IP do ano 2008 a 2012**

Com base nos dados fornecidos pela PORDATA verifica-se que, com a evolução desta tarifa, os municípios passaram a ter uma despesa suplementar de cerca de 33 milhões de Euros, quando se compara o ano de 2012 com o ano de 2008.

Em 2013, com as recomendações da União Europeia (EU), iniciou-se o processo de extinção de tarifas reguladas aos clientes de baixa tensão normal (BTN), tendo também este processo suscitado alterações da tarifa da IP. A alteração incide nos fornecimentos de iluminação pública cujos equipamentos de medida estejam transitoriamente inadequados à opção tarifária escolhida. Nestes casos aplicam-se as regras de repartição de consumos e determinação da potência contratada, definidas no Guia de Medição, Leitura e Disponibilização de Dados de Portugal Continental. Para o efeito, os fornecimentos para os quais for estimada uma potência contratada superior a 41,4 kVA serão considerados equiparados a fornecimentos em baixa tensão especial (BTE). [4]

Entre os anos de 2013 e 2017, os municípios começaram a pagar a potência contratada na IP, também o pagamento da tarifa de acesso às redes, no qual contemplava a tarifa tri-

horária (horas de ponta, horas cheias e horas de vazio). Em Portugal, na caracterização da IP por PT, a potência normalmente não é superior a 20,7 kVA logo, com este enquadramento, é apresentada a evolução da tarifa de IP na Figura 2-5.

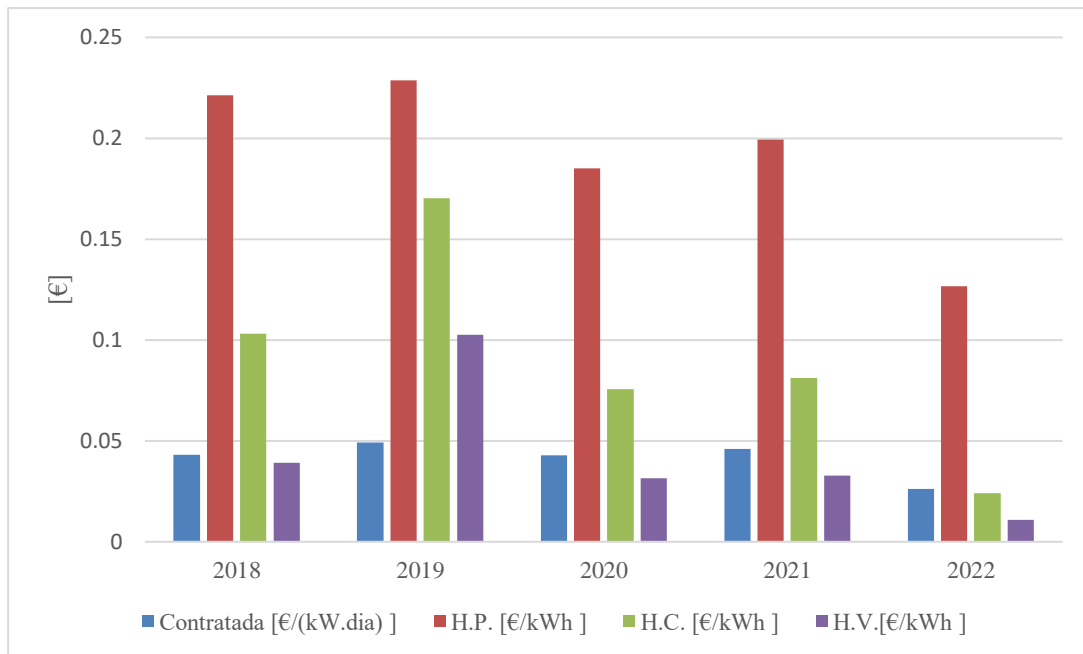


**Figura 2-5 – Tarifa de IP, entre 2013 e 2017, para 20,7 kVA**

Analisando a tarifa da IP, para potência menor ou igual a 20,7 kVA, o preço da potência contratada vem diminuindo ao longo dos anos, em contrapartida o preço da energia nas horas de ponta foi aumentando, nas horas cheias e de vazio o preço começou a descer até 2015, tendo aí invertido essa tendência. Neste período a potência contratada é debitada em euros /dia.

Em 2018, passou a existir uma nova faturação de potência contratada para a iluminação pública com telecontagem [5], sendo cobrada por €/ (kW. Dia).

Na Figura 2-6 observa-se a evolução da tarifa de IP, desde 2018 até atualidade, considerando a potência contratada de 20,7 kVA. Constata-se que a potência contratada tem vindo a diminuir, continuando a tendência do período anterior com o preço da energia das horas de ponta e vazio também a reduzir. Nas horas cheias o preço da energia inverteu a tendência de descida no ano de 2021, mas em 2022 o preço da energia nas horas cheias voltou a descer.



**Figura 2-6 – Tarifa de IP, no ano de 2018 até 2022**

A densidade populacional é diferente de município para município, também o impacto dos custos com a IP é diferente. Os municípios com a densidade populacional mais elevada, tem também um número mais elevado de circuitos de IP, mas com menor distância, originando um custo menor na razão IP/habitante.

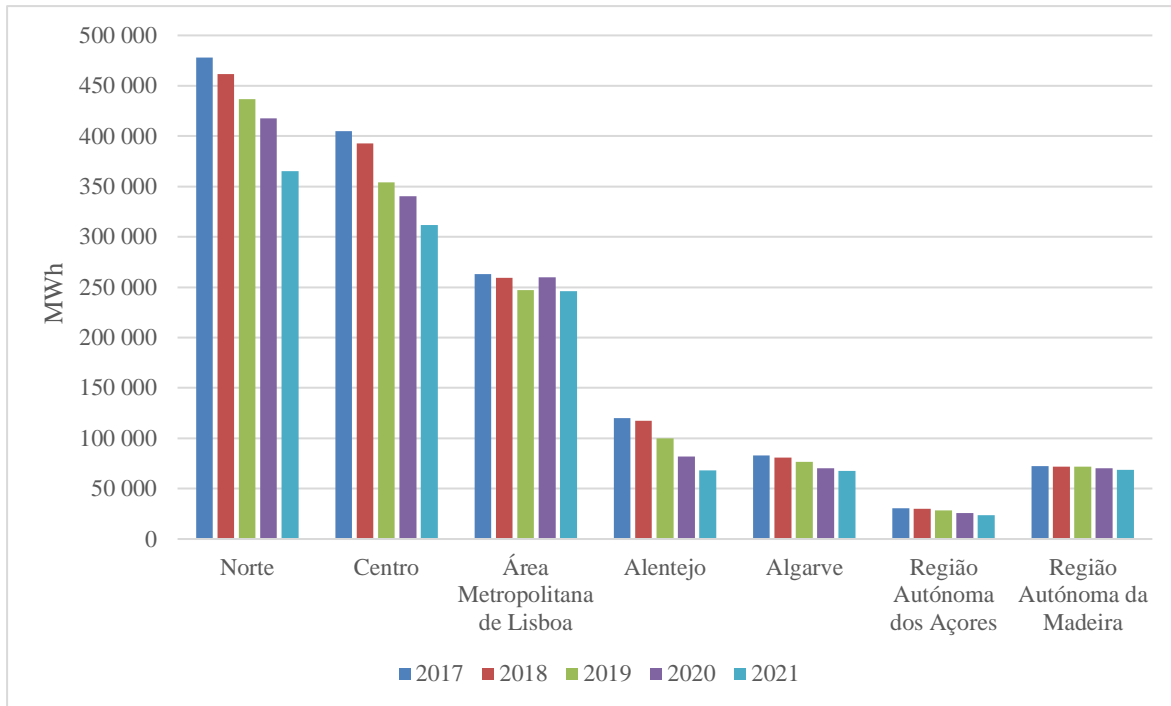


Figura 2-7 – Consumo de energia de IP, por regiões

Analisando a Figura 2-7, a área metropolitana de Lisboa tem um consumo de energia em IP muito próximo das regiões do Norte e do Centro, mas como a densidade populacional é maior, o rácio kWh/habitante vai ser menor. Na Figura 2-8 é representado o consumo de energia na IP por habitante residente em cada área geográfica.

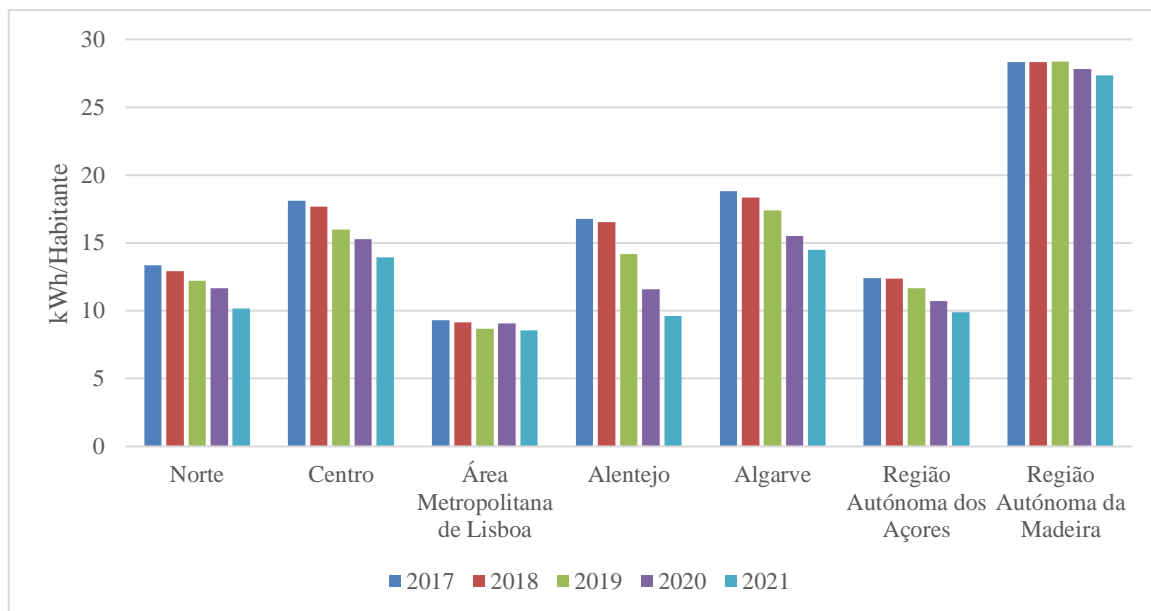


Figura 2-8 – Consumo de energia de IP/habitante

## 2.2. Legislação em vigor

A Tabela 2-1 menciona alguma legislação que se encontra em vigor sobre o tema deste trabalho.

Tabela 2-1 – Enquadramento legislativo

Diploma Legal	Sumário
Despacho Normativo n.º 15/2012, de 3 de julho	Aprova o Regulamento do Sistema de Qualificação de Empresas de Serviços Energéticos (SQESE) interessadas em participar nos procedimentos pré-contratuais relativos à celebração de contratos de gestão de eficiência energética com os serviços e organismos da Administração Pública direta, indireta e autónoma, para efeitos do disposto no n.º 2 do artigo 6.º do Decreto-Lei n.º 29/2011, de 28 de fevereiro.
Decreto-Lei 344-B/82 de 1 de setembro de 1982	Estabelece os princípios gerais da distribuição de energia elétrica em baixa tensão, bem como as condições a que devem obedecer os contratos de concessão a favor da EDP, quando a exploração seja feita nesse regime. Este decreto-lei também regulamentou os contratos de concessão entre o município e a EDP (atualmente E-REDES). [6]
Decreto-Lei n.º 29/2011	Estabelece o regime jurídico à formação e execução dos contratos de desempenho energético, a celebrar entre os serviços e organismos da Administração Pública direta, indireta e autónoma e as empresas de serviços energéticos, com vista à implementação de medidas de melhoria da eficiência energética nos edifícios públicos e equipamentos afetos à prestação de serviços públicos. [7]

Decreto-Lei n.º 50/2021	<p>O presente decreto-lei estabelece o regime jurídico aplicável à formação dos contratos de gestão de eficiência energética, a celebrar entre os serviços e organismos da Administração Pública direta, indireta e autónoma de serviços energéticos, [8]</p> <p>Este decreto-lei alterou alguns parâmetros e diretrizes do anterior Decreto-Lei 29/2011, nomeadamente a duração dos contratos e também para a possibilidade de implementar projetos de produção de energia com o recurso de energia renovável, serem considerados como medidas de melhoria de eficiência energética.</p>
Portaria n.º 454/2001	<p>Ao abrigo do nº 1 do artigo 2º de Decreto-Lei nº 344-B/82, de 1 de setembro e à respetiva portaria nº 148/84, de 15 de março, estabelece as regras, para um modelo do contrato tipo, que devem obedecer os contratos de concessão entre o município em causa e a E-REDES na distribuição de energia elétrica em baixa tensão. Nas diversas cláusulas define o estabelecimento e conservação das redes de iluminação pública e respetivos encargos. [9]</p>
Norma europeia – EN 13201	Orientações sobre a seleção das classes de iluminação.
EN13201- 2:2015	<p>Nesta norma europeia estabelecem-se requisitos de desempenho específicos para cada classe de iluminação, com o objetivo de iluminar as estradas satisfazendo a necessidades visuais dos seus utilizadores e também considera os aspetos ambientais nas vias rodoviárias.</p>
EN13201- 3:2015	<p>Menciona a forma de realizar os cálculos de desempenho da iluminação e os valores fotométricos que devem ter em consideração</p>
EN13201- 4:2015	<p>Referencia os métodos de medição do desempenho da iluminação pública.</p>
EN 13201- 5:2015	<p>Esta secção da Norma Europeia define como calcular os diversos indicadores de desempenho energético de instalações de iluminação pública, utilizando o indicador de densidade de potência (Dp) e o indicador do consumo anual de energia (De).</p>
Decreto-Lei n.º 319/2009 de 3 de novembro	<p>Estabelece objetivos e instrumentos financeiros que devem ser utilizados para incrementar a relação custo-eficácia da melhoria da eficiência na utilização final de energia, de entre os quais os contratos de desempenho energético a serem celebrados com empresas de serviços energéticos (ESE).</p>
Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020	<p>Aprova o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC 2050)</p>

### **2.3. Empresas de serviços energéticos (ESE)**

As empresas designadas por ESE, estão vocacionadas para realizar uma prestação de serviços muito abrangente e completa de auditoria, estudo, implementação, manutenção, gestão e financiamento no conceito de “chave na mão” de sistemas tecnológicos para o aumento da eficiência energética. Os serviços prestados por estas empresas têm o retorno de investimento garantido, total ou parcialmente em função dos objetivos propostos nas economias obtidas na redução no consumo de energia.

As ESE têm uma estrutura implementada de forma a obter investimentos de grande escala essenciais para a implementação dos seus projetos de eficiência energética, e também uma equipa multidisciplinar técnica, económico-financeira e de marketing com o objetivo da realização de contratos de gestão de eficiência energética.

As Empresas de Serviços Energéticos são constituídas por um número reduzido de colaboradores, mas constituída por acionistas ligados a vários setores de negócio, nomeadamente a bancos, seguradoras, sociedades de capital de risco e a empresas de engenharia.

Os contratos de gestão de eficiência energética celebrados são normalmente de média ou de longa duração (5 a 16 anos), com um retorno do investimento considerado curto (2 a 5 anos) e também de uma elevada complexidade. Este tipo de contrato tem riscos de ordem técnica (desfasamento entre as poupanças previstas e as reais), financeira (alteração das taxas de juro), económica (alteração dos preços da energia), regulamentar (alteração da legislação em vigor) e também relativos à hipótese da falência da própria ESE.

Normalmente as Empresas de Serviços Energéticos para adquirirem financiamento para os projetos recorrem a entidades bancárias, com um contrato celebrado entre ambos que não se enquadra nos moldes tradicionais, sendo necessária a participação de técnicos especializados. Por este motivo, os contratos são considerados de alto risco.

### **2.4. Contratos de desempenho energético (CDE)**

A nível Europeu foi publicada em 2006 a Diretiva 2006/32/EU, com o objetivo de incrementar a relação custo-benefício da melhoria da eficiência na utilização final de energia nos Estados-Membros, através:

a) do estabelecimento dos objetivos indicativos, bem como dos mecanismos, incentivos e quadros institucionais, financeiros e jurídicos, necessários a fim de eliminar as atuais deficiências e obstáculos do mercado que impedem uma utilização final de energia eficiente;

b) da criação de condições para o desenvolvimento e promoção de um mercado dos serviços energéticos e para o desenvolvimento de outras medidas de melhoria da eficiência energética destinadas aos consumidores finais. [10]

Esta Diretiva foi revogada pela Diretiva 2012/27/EU, estabelecendo medidas de promoção de eficiência energética da EU, com o objetivo de atingir os 20% de eficiência energética até 2020, e contruindo uma base para prosseguir com novas melhorias nos anos seguintes. Também estabeleceu obrigações aos Estados-Membros para apoiar o mercado de serviços de energia e eliminar os obstáculos do mercado de energia que impedem a eficiência no aprovisionamento e na utilização de energia.

Os obstáculos mencionados anteriormente podem dever-se à forma como está organizada a iluminação pública, podendo haver um desalinhamento de interesses, entre os municípios e a concessionária da rede de distribuição. Quando existe uma expansão de IP, o concessionário suporta os custos de investimento na infraestrutura, nas luminárias e os respetivos materiais necessárias para a sua instalação, e o município suporta os custos com consumo de energia. Naturalmente o agente que realiza o investimento, procura a solução com o menor investimento e não a solução mais eficiente energeticamente, prejudicando economicamente o município. No atual modelo seria muito importante uma intervenção externa, seja por via contratual ou de regulamentação. Os municípios têm contornado esta situação, realizando o investimento próprio nas infraestruturas de IP mais eficientes, em complemento dos investimentos do próprio concessionário. A separação da infraestrutura de IP da concessão da rede de distribuição de BT, traria vantagens e clarificação da forma como os municípios poderiam intervir na IP.

A Diretiva 2012/27/EU definiu diversos conceitos que se devem ter em consideração, nomeadamente serviço energético e contrato de desempenho energético.

O serviço energético está associado a benefícios tangíveis, à utilidade ou às vantagens resultantes de uma combinação de energia com tecnologias e/ou ações energeticamente eficientes – incluindo as operações, a manutenção e o controlo necessários para a prestação

do serviço – que seja realizado com base num contrato e que, em condições normais, tenha dado provas de conduzir a uma melhoria verificável e mensurável ou estimável da eficiência energética ou da economia de energia primária. [11]

O contrato de desempenho energético é um acordo contratual celebrado entre o beneficiário e a parte que aplica uma medida de melhoria da eficiência energética, verificada e acompanhada durante todo o período do contrato, nos termos do qual os investimentos (obra, fornecimento ou serviço) nessa medida são pagos por contrapartida de um nível de melhoria da eficiência energética definido contratualmente ou de outro critério de desempenho energético que tenha sido acordado, nomeadamente economias financeiras. [11]

Normalmente num Contrato de Desempenho Energético (CDE) o financiamento é obtido através da implementação das melhorias de eficiência energética que levam a uma redução do consumo de energia, conseqüentemente a uma redução da despesa na aquisição de energia. O grande desafio é obter o consumo de energia o mais baixo possível, mantendo as condições essenciais para a função para o qual foi projetado.

O CDE deve mencionar as disposições iniciais, o objeto e o âmbito, a duração do Contrato, especificar as obrigações e responsabilidades, o projeto de execução e planeamento das medidas de melhoria da eficiência energética, plano de medição e verificação (M&V) das economias de energia, condições financeiras do contrato, incumprimento e cumprimento defeituoso e o protocolo para a resolução de litígios, extinção e suspensão do contrato.

Neste tipo de contrato existem dois modelos que podem ser celebrados, baseando-se no desempenho das medidas implementadas, designando-se Poupança Garantida ou Poupança Partilhada.

No modelo de Poupança Garantida o cliente paga uma renda mensal acordada a uma instituição financeira ou credor do investimento, servindo também este valor para renumerar a ESE pela elaboração e implementação do projeto. A ESE assegura ao cliente que a poupança obtida na redução do consumo de energia é a suficiente para o pagamento de todo o investimento realizado, no qual se incluem todas as despesas associadas ao plano de M&V e ao serviço de operação e manutenção. Se porventura as economias forem inferiores às calculadas, a ESE suportará a diferença. No caso de serem superiores, o cliente poderá partilhar esta economia extra com a ESE, de acordo com os riscos assumidos e a

extensão dos serviços prestados. Basicamente neste tipo de contrato a ESE fica com o risco do desempenho e o cliente com o risco do crédito, podendo a ESE realizar diversos projetos sem ficar endividada.

No modelo Poupança Partilhada a ESE financia o projeto, ou seja, tem de obter financiamento para a implementação do projeto junto aos credores, ficando endividada e assumindo o risco total do investimento. O cliente renumera mensalmente a ESE das economias obtidas na redução do consumo de energia com a implementação do projeto. Esta mensalidade deve garantir o pagamento de todas as despesas de financiamento ao credor e também para realizar e executar o plano de M&V e a operação e manutenção do projeto. Neste caso a ESE suporta todos os riscos de investimento e do desempenho do projeto, independentemente de o cliente renumerar ou não a ESE.

O Programa ECO-AP veio implementar uma nova fórmula de obtenção de financiamento para ajudar e incentivar na aplicação de medidas de eficiência energética sem a necessidade de disponibilidade financeira e investimento das entidades da Administração Pública.

Tipicamente os CDE são celebrados entre os organismos públicos e a ESE, mencionando e apresentado soluções técnicas e tecnológicas com a finalidade de melhorar a eficiência energética e consequentemente reduzir a fatura de energia. Estes contratos apresentam algumas vantagens para os organismos públicos, permitindo reduzir a despesa com energia, criando valor sem a necessidade de investimento, resultando num melhor desempenho e eficiência do recurso, promovendo-se também a sustentabilidade.

As ESE são renumeradas através das poupanças de energia obtidas durante a vigência do contrato. Desta forma, o projeto a implementar terá de obter poupanças necessárias para pagar o investimento inicial e também uma parte destas poupanças (pagamento mínimo garantido) nunca inferior a 10% será atribuída ao organismo público. Este modelo apresenta grandes vantagens para o município, já que a remuneração da ESE depende das poupanças que conseguir obter com a implementação do projeto e os municípios ficam com uma percentagem garantida das poupanças em energia. A Figura 2-9 mostra um modelo tipo de um contrato de desempenho energético.

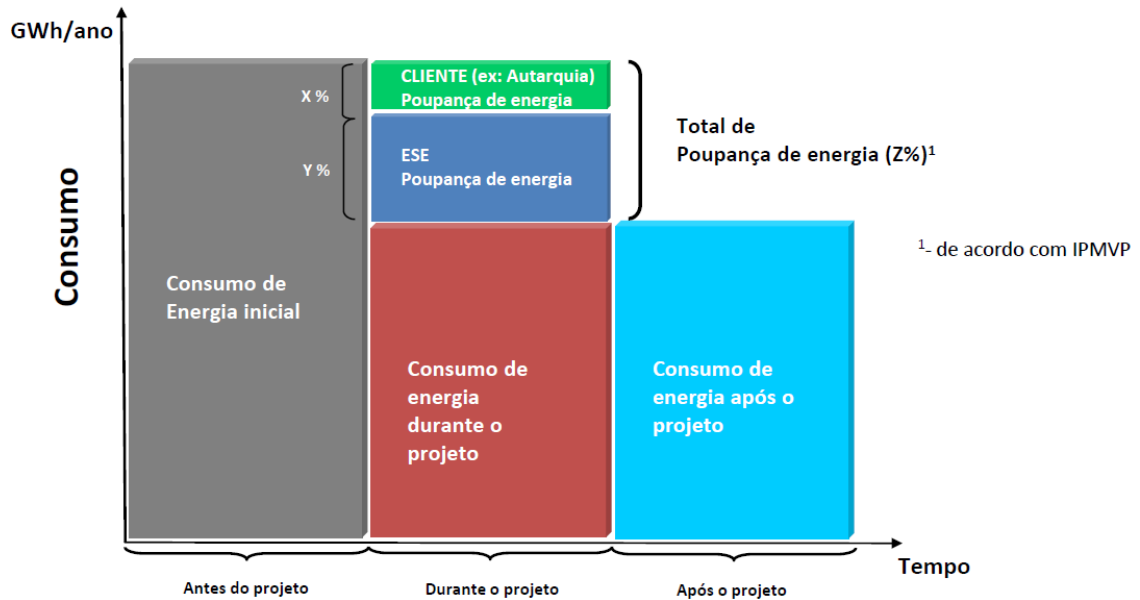


Figura 2-9 – Modelo exemplo de um CDE [12]

Os municípios neste momento têm uma oportunidade para decidirem tornar-se mais sustentáveis e contribuir para um melhor ambiente, com a decisão da aplicação do ECO.AP. Ou seja, podem decidir economizar ou pagar, como exemplifica na Figura 2-10.

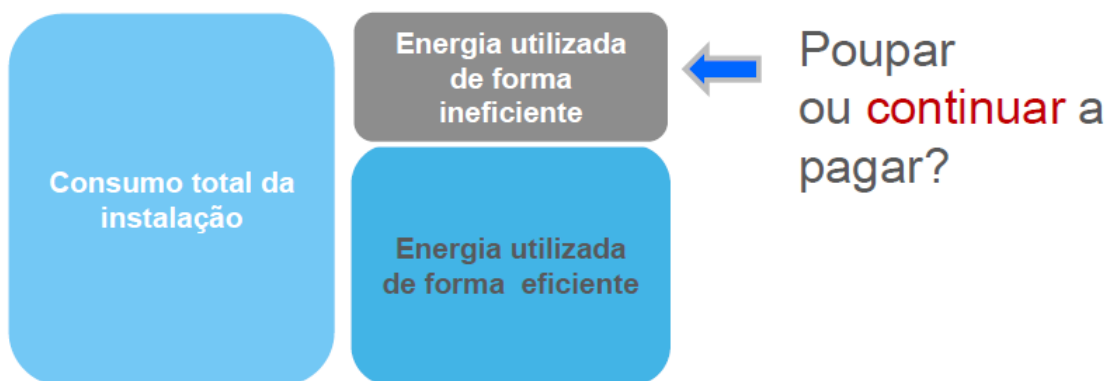
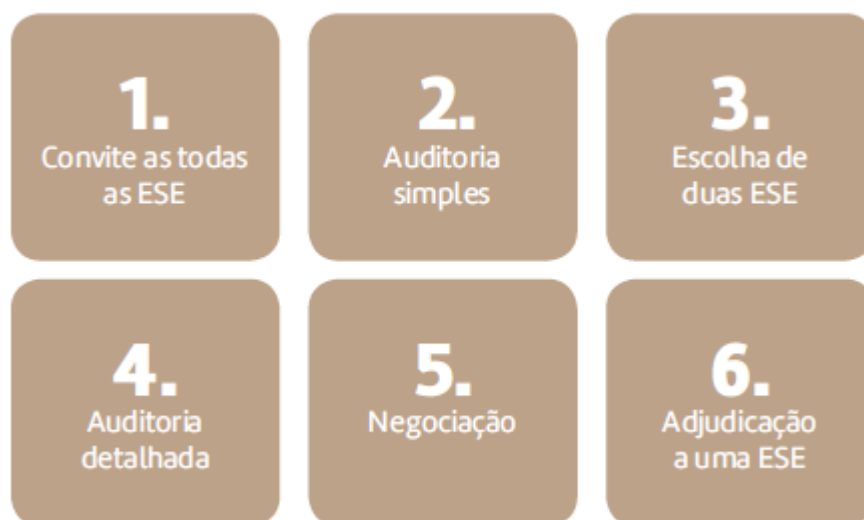


Figura 2-10 – Aplicação do ECO.AP [12]

Caso o município decida avançar para a implementação de um CDE, deve seguir os procedimentos de acordo com a Portaria nº 60/213, de 5 de fevereiro, estabelecendo seis

fases distintas até à assinatura de um CDE. Na Figura 2-11 ilustram-se as seis fases do procedimento para a celebração de um CDE.



**Figura 2-11 – Fases do procedimento para celebração de um CDE [13]**

O procedimento anterior pode ser reduzido em algumas fases quando o convite é realizado a uma ou várias empresas ESE tendo em consideração os resultados de uma auditoria detalhada e medidas de eficiência energética a aplicar. Nesta situação, existe somente uma avaliação das propostas apresentadas pelas ESE. Após a conclusão do procedimento e implementação das medidas, a remuneração da ESE terá como base as economias efetivamente alcançadas. [13]

Para determinar as economias deverão ser aplicados os métodos de M&V, internacionalmente aceites, seguindo as diretrizes do IPMVP. As propostas das ESE devem sempre contemplar um Plano de medição e verificação de acordo com o IPMVP.

O Eurostat em 2017 clarificou que os contratos de desempenho energético deixam de ter uma influência direta no défice e na dívida. Com este esclarecimento, as despesas com os contratos de desempenho energético podem ficar de fora do balanço das entidades da administração pública, desde que a ESE seja considerada como proprietária económica dos ativos instalados. Com esta situação, a ESE assume os riscos da implementação do projeto e também com a maior fatia dos benefícios alcançados no âmbito do contrato de Gestão de Eficiência Energética.

Atualmente, cerca de 77% dos municípios, em Portugal, estão numa situação financeira não muito favorável. Com esta condicionante, a obtenção de verbas para realizar investimentos torna-se dificultada. No caso da IP, alguns Municípios e Comunidade Intermunicipal de municípios (CI), optaram por realizar um concurso público para a implementação de um contrato de desempenho energético (CDE).

Na conjuntura atual existe uma grande instabilidade dos preços de energia, sendo que a tendência é para um aumento dos preços de energia, não se sabendo exatamente a sua dimensão. Esta situação irá afetar as renumerações dos CDE, afetando os municípios e a empresa ESE, não diretamente, mas indiretamente. Normalmente a tarifa energética de base é atualizada com os valores do IPC, sem habitação. Se porventura este índice aumentar ao longo do tempo, o município aumenta a poupança anual em energia (por via do aumento do preço da energia), mas também aumenta a renda à empresa contratada. Na Figura 2-12, observa-se uma simulação da subida do preço da energia em 0,05€ por ano, provocando impacto nas renumerações e nas poupanças afetas ao contrato celebrado.

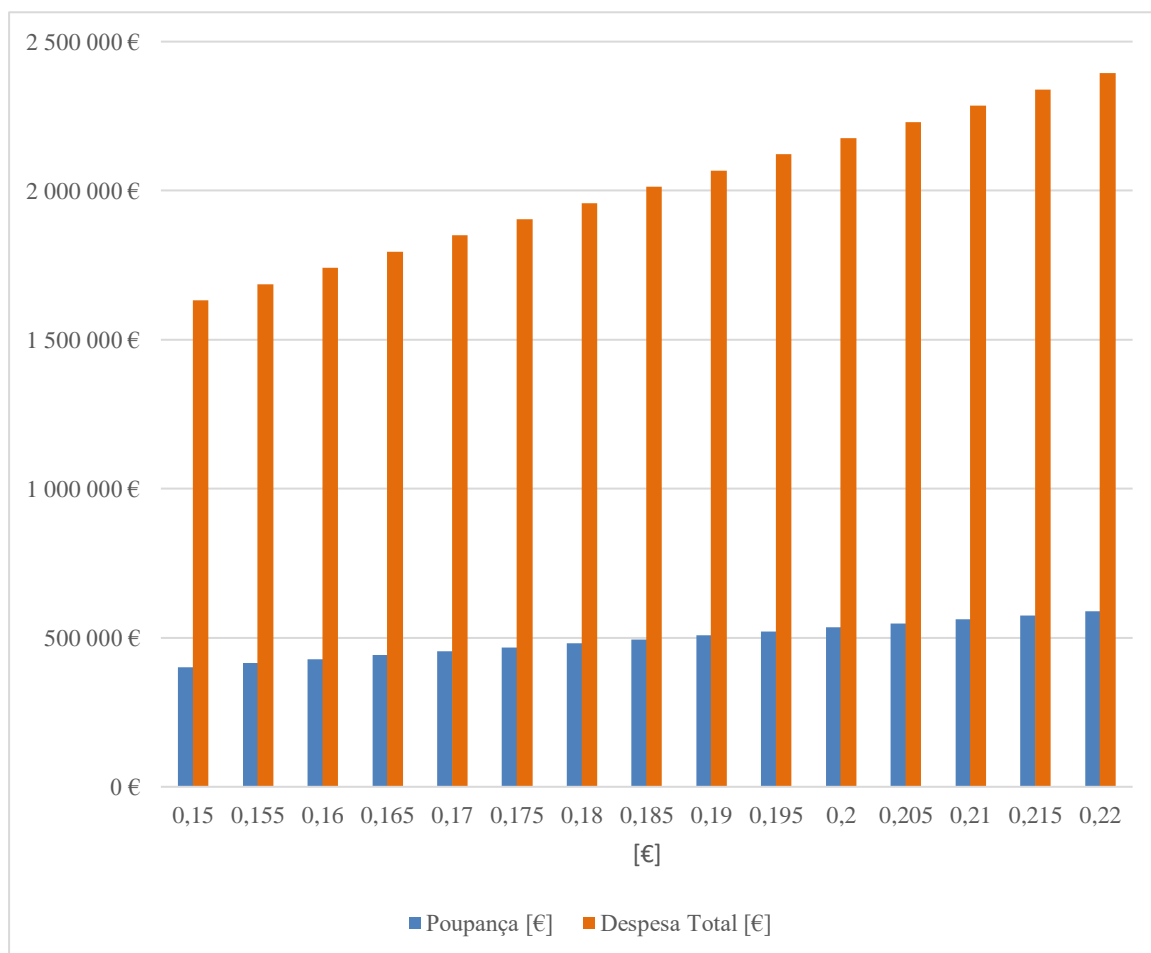


Figura 2-12 – Estimativa da subida do preço do IPC e estimativa da subida do preço da energia.

### 3. Sistema de controlo e gestão de energia

O desenvolvimento da tecnologia LED, com a facilidade e versatilidade de controlo deste tipo de fonte luminosa em comparação às tecnologias convencionais, incentivou o desenvolvimento de novas estratégias para o controlo e gestão energética na IP, tendo também o desenvolvimento dos protocolos de comunicação contribuído para esta evolução.

Atualmente, a solução mais recorrente passa pela substituição total ou parcial das tecnologias convencionais, como a troca de luminárias por tecnologia de LED, sendo esta a opção mais eficiente energeticamente.

Os sistemas de controlo regulam o funcionamento dos sistemas de iluminação através de um sinal externo, por equipamentos dimensionados para o efeito. Estes sistemas automáticos e com gestão remota, ajudam a diminuir o consumo energético, sem prejudicar o conforto e a segurança visual adequados a cada local, otimizando o sistema de IP.

#### 3.1. Interruptor crepuscular

O horário de funcionamento da IP varia ao longo do ano, conforme o nascer e o pôr do sol, mas em alguns dias mais escuros devido às condições climatéricas, poderá existir a necessidade de alterar o tempo de funcionamento. A utilização do interruptor crepuscular (Figura 3-1) vai permitir ligar ou desligar conforme o nível de luminosidade existente no local. Normalmente o interruptor crepuscular é instalado no PT, controlando todos os circuitos alimentados por este.



Figura 3-1 – Interruptor Crepuscular. [14]

### 3.2. Relógios astronômicos

Os relógios astronômicos têm informações exatas sobre o nascer e o pôr do sol para qualquer ponto geográfico, possibilitando o ligar e o desligar da IP. No entanto esta solução não tem em consideração os aspetos do relevo do terreno, ou seja, se estiver numa zona com elevadas colinas ou montanhas que tapam o sol ao amanhecer ou ao anoitecer, também podem existir dias que durante o período diurno tenha a necessidade de ter a IP ligada devido às condições climáticas (dias com nebulosidade elevada, ou fraca visibilidade).

Este equipamento para além de dar ordens para ligar e desligar a IP, pode também reduzir o fluxo luminoso das luminárias durante um período noturno pré-estabelecido, não requerendo qualquer tecnologia incorporada de comunicação.



Figura 3-2 – Relógio Astronômico. [14]

### 3.3. Reguladores de fluxo

Os reguladores de fluxo podem ser instalados a montante do circuito de IP, ou por balastros instalados na própria luminária. Ambas as situações podem ou não estar associadas a um sistema de telegestão. A regulação pode ser realizada ao regular a tensão, corrente ou através da variação de frequência.

O regulador de fluxo tem a função de controlar o processo de arranque, estabilização e redução da potência instalada referente à IP. O seu funcionamento inicia quando recebe uma ordem e vai aumentando gradualmente a tensão até alcançar o valor pré-estabelecido

de funcionamento. Na Figura 3-3, observa-se um exemplo do funcionamento de um regulador de fluxo durante o funcionamento de uma instalação de IP.



Figura 3-3 – Funcionamento de um regulador de fluxo. [15]

Ao aplicar uma tensão inferior à tensão de funcionamento a corrente diminui, e consequentemente a potência absorvida também diminui no circuito de IP.

Ao aplicar este sistema à IP deve-se ter em consideração alguns aspetos, a extensão da rede de IP, a tensão mínima de funcionamento das luminárias e o número de luminárias que serão afetados pelo regulador de fluxo.

Os reguladores de fluxo para além de variarem o fluxo luminoso das luminárias, também estabilizam a tensão cerca de 1% do valor de funcionamento definido. Desta forma, aumenta o tempo de vida útil das lâmpadas (não permitindo que sejam alimentadas com tensões superiores a 5% do seu valor nominal) e reduz os custos do consumo de energia entre 5 e 7%, [15] ao efetuar o corte de tensão, quando é ultrapassado o seu valor nominal de funcionamento e ficando a alimentar a um valor máximo definido.

### 3.4.Soluções de controlo de LED

#### 3.4.1. Driver

O *driver* inteligente da luminária pode ser programado em fábrica com um perfil de *dimming*, com vários níveis de luminosidade. Existindo a possibilidade de programar para funcionar com um fluxo luminoso inferior a 100%, o período definido de funcionamento do driver utiliza o perfil de *dimming* programado, sendo que fora deste período o driver funciona com o *dimming* a 100%. O sistema de *dimming* gera economia de energia, cumprindo os níveis de iluminação exigíveis e a uniformidade durante todo o período noturno. Caso seja

necessário, o *driver* pode ser reprogramado para alterar o perfil de *dimming*. Na Figura 3-4 verifica-se um exemplo de um perfil de *dimming*.

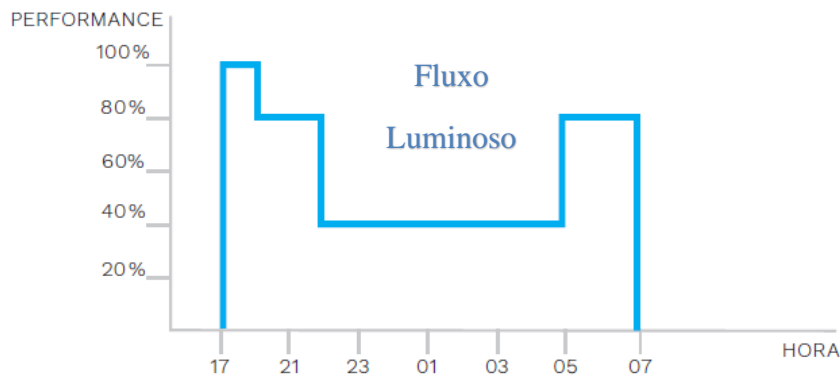


Figura 3-4 – Exemplo de um perfil de dimming [16]

### 3.4.2. Sensores para cenários dinâmicos e autónomos

Atualmente existe uma vasta gama de soluções para controlar e reduzir custos com a IP, de forma a criar ambientes de luminosidade conforme as características ambientais e a ocupação do espaço público.

Os sensores fotoelétricos incorporados na luminária, permitem a estas ligarem quando a luz natural é insuficiente, de modo a proporcionar segurança e o conforto dos utilizadores do espaço público.

Em locais públicos com pouca utilização noturna, a IP pode ser reduzida a maior parte do tempo. Para estas situações, há a possibilidade de utilizar sensores de movimento, como por exemplo o Sensor Infravermelho Passivo (PIR), e com esta solução os níveis de iluminação são elevados quando um veículo ou um peão é detetado no espaço público, podendo estes sensores ser colocados nas luminárias ou nas colunas de IP.

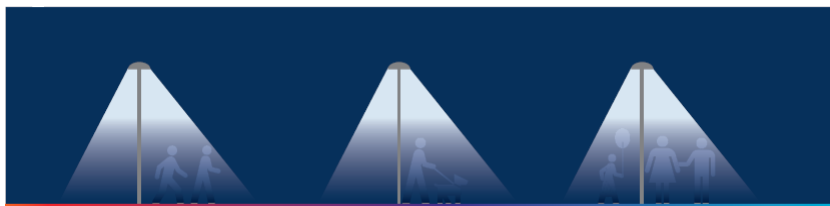


Figura 3-5 – Utilização de sensores PIR. [16]

Os sensores de velocidade tais como radares trabalham numa área de deteção mais vasta para classificar e identificar o veículo em movimento, seguindo a sua velocidade e direção. Com esta classificação consegue-se dar resposta correta de acordo com os cenários de iluminação pré-definidos. Esta solução está a ser implementada nos túneis para evitar o ofuscamento aos condutores à entrada e saída dos mesmos.



Figura 3-6 – Utilização de sensores de radar. [16]

A cor da luz é muito importante no nosso ciclo circadiano, sendo que uma luz branca mais fria otimiza o desempenho, enquanto uma luz mais quente é mais tranquilizadora às pessoas e aos ciclos naturais dos animais. Na IP existe a possibilidade de escolher a temperatura da cor do LED em cenários pré-programados. Este feito consegue-se utilizando dois tipos de LED com temperaturas de cor diferentes na mesma luminária, podendo selecionar-se uma das duas temperaturas de cor ou misturar ambas em vários níveis de *dimming* para criar várias temperaturas de cor. Na Figura 3-7, observa-se um exemplo da tecnologia mencionada.



Figura 3-7 – Cenários de temperatura de cor da luminária conforme a utilização. [16]

Na Figura 3-8 é apresentado um perfil de temperatura de cor durante o período noturno.

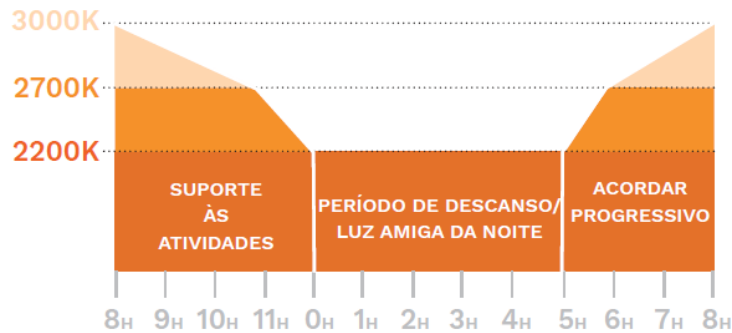


Figura 3-8 – Perfil da temperatura de cor. [16]

### 3.5. Iluminação solar

A evolução da produção de energia através da tecnologia fotovoltaica é já uma realidade na IP. Com esta solução, é possível em qualquer zona com ou sem acesso à rede de IP instalar novos pontos de luz e também substituir as luminárias convencionais por luminárias solares.

Neste conceito de iluminação solar existem luminárias solares para sistema integrado e não integrado, ligado ou desligado da rede de IP.

A luminária solar para o sistema integrado tem incorporado um painel fotovoltaico na parte superior para produzir energia, uma bateria para armazenar energia e um sensor PIR que deteta movimento e, desta forma, viabiliza a redução de energia através da regulação do fluxo luminoso (conforme a ocupação do espaço público). O fabricante garante autonomia de 24 horas com o sensor de movimento e de 12 horas na potência máxima.



**Figura 3-9 – Luminária com sistema integrado. [17]**

O sistema solar desligado da rede traduz uma poupança nos custos de cablagem e distribuição. Neste sistema a bateria está projetada para funcionar autonomamente sem estar ligada à rede elétrica e contém um controlador de carga. O painel fotovoltaico produz energia durante o dia e esta produção é armazenada na bateria, que por sua vez alimenta a luminária à noite.

No sistema solar híbrido para luminárias ligadas à rede, o painel fotovoltaico carrega a bateria durante o dia e a energia armazenada alimenta a luminária durante a noite. No caso de o nível de carga da bateria descer abaixo de um limite pré-definido, a luminária passa a consumir a energia da rede elétrica, prolongando desta forma o tempo de funcionamento da luminária para os dias em que haja pouca radiação solar.

O sistema híbrido não tem painéis fotovoltaicos, mas tem pequenas baterias, permitindo ao sistema poupança durante os períodos de pico na procura de energia, já que incorpora um armazenamento distribuído. Neste sistema as baterias são carregadas durante o período das horas de vazio através da energia fornecida da rede elétrica e, no período das horas fora de vazio, a energia armazenada alimenta a luminária.

### **3.6.Sistemas de telegestão**

A modernização dos sistemas de IP criou tecnologias que contribuem para a eficiência, gestão e manutenção das luminárias. A telegestão é um conjunto de hardware e software que funciona acoplado à luminária, com a finalidade de permitir o controlo e a monitorização de forma remota.

Com esta tecnologia o gestor da rede de IP consegue obter a localização (com coordenadas geográficas) de cada luminária instalada, informando sobre o seu estado de funcionamento e relatando possíveis falhas no equipamento.

A telegestão numa rede de IP proporciona a redução de custos de exploração, o uso racional e eficiente de energia e melhora a qualidade de serviço ao cliente.

Na redução dos custos de exploração destacam-se alguns pontos, nomeadamente a eliminação da pesquisa de avarias no terreno, o planeamento de trabalhos de manutenção corretiva e preventiva, a redução do tempo de intervenção, a emissão de relatórios de avarias e a gestão de reclamações.

No uso racional e eficiente de energia, destacam-se o registo e o supervisionamento dos parâmetros elétricos da instalação e a medição e registo dos consumos de energia em tempo real. Para além disso, torna possível programar remotamente os níveis de luminosidade das luminárias individualmente, ou por grupo, bem como o desligar ou ligar conforme o calendário pretendido, através da indicação da localização e das horas desejadas de funcionamento.

Na melhoria da qualidade de serviço ao cliente, salienta-se a redução de tempo de resposta às reclamações, a diminuição do número de luminária avariadas, a melhoria da qualidade de iluminação e o aumento da perceção de segurança (com fraca luminosidade ou escuridão aumenta a sensação de insegurança).

## 4. Estudo de caso

Este capítulo descreve a caracterização socioeconómica do município em estudo, a classificação das vias e a caracterização das luminárias instaladas.

### 4.1. Caracterização socioeconómica do município

O município em estudo localiza-se na zona litoral de Portugal Continental, sendo constituído aproximadamente por 2 dezenas de freguesias, totalizando uma área cerca de 149 km<sup>2</sup>, 80 291 habitantes e uma densidade populacional de 538,76 habitantes/km<sup>2</sup>.

Sendo um concelho da zona litoral, a população está fortemente ligada ao mar, com um estaleiro de construção e reparação de embarcações de pesca e uma longa zona balnear, o que provoca um aumento da população durante a época balnear.

Segundo os dados da PORDATA, com resultados provisórios em 2020, a indústria é o principal consumidor de energia do município com um peso de 42,81% do consumo de energia elétrica, sendo a IP responsável por 3,4% do consumo de eletricidade. Este valor está acima da média nacional, devido à IP ter uma eficiência energética muito reduzida, e também por ser uma área com elevada densidade populacional. Na Figura 4-1 observa-se o consumo por setor de atividade.

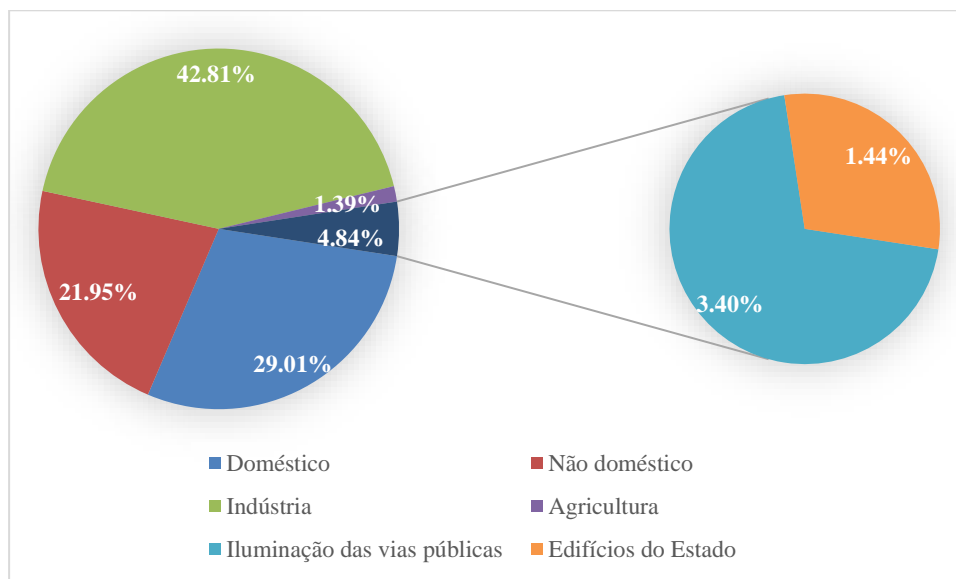


Figura 4-1 – Consumo de energia elétrica por setor de atividade económica no município

A distribuição de energia elétrica em BT em Portugal Continental é da exclusividade dos municípios ou das comunidades intermunicipais, tendo atualmente contratos de concessão do serviço da rede BT. O contrato em vigor tem a duração de 20 anos, mas como os contratos não iniciaram todos ao mesmo tempo, os primeiros contratos já terminaram em 2016 e os últimos terminarão até 2026, mas a maioria terminou entre 2021 e 2022. O operador principal destes contratos é a E-REDES, com 95,5% das concessões.

Na atribuição das novas concessões existem algumas condicionantes, nomeadamente a uniformidade dos tarifários, a exigência em termos técnicos e financeiros da concessão, e também condicionantes relacionadas com a qualidade do serviço prestado aos consumidores.

A infraestrutura da IP está associada à concessão da rede de distribuição em BT, portanto o concessionário é responsável pela manutenção e preservação da rede de distribuição. A IP é constituída por apoios, ramais, luminárias e equipamentos associados, entre outros. A forma inicial da construção e exploração da rede de distribuição resultou da partilha das infraestruturas com a rede de iluminação pública, mas esta partilha para os dias de hoje não faz muito sentido. A evolução da tecnologia e o desenvolvimento urbanístico levou à construção de uma rede de IP e de colunas somente para serviço de iluminação pública.

No tema da eficiência energética da IP, o modelo atual instalado não defende os interesses de ambos os interlocutores. Um interlocutor suporta os encargos com a energia consumida pelas luminárias e o outro suporta o investimento de toda a infraestrutura da IP. Para existir uma redução no consumo da energia tem de existir um investimento maior em luminárias com os melhores desempenhos energéticos. No entanto, existem condicionantes a nível contratual e de regulamentação. Os municípios têm contornado esta situação suportando o investimento das infraestruturas de iluminação pública mais eficiente, complementando o investimento com o dono da concessão.

Na atualidade, na IP tem existido algum desentendimento e um conjunto de reclamações entre o município e o concessionário, nomeadamente na manutenção, no tempo de resolução de avarias e a falta de investimento na IP, o que levou a que a iluminação pública ficasse excluída do Regulamento da Qualidade de Serviço.

Para resolver o problema exposto, a separação da infraestrutura da IP da concessão da distribuição da rede de baixa tensão prevê-se que trará enormes vantagens para os

municípios. Desta forma, poder-se-ia concessionar a rede de BT e a rede de IP a diferentes entidades ou concessões, ou fazer uma gestão direta na rede de IP. Ao fazer uma gestão direta na IP, os municípios teriam de suportar custos de indemnização dos ativos da infraestrutura da concessionária cessante.

Algumas comunidades intermunicipais e municípios têm implementado projetos de eficiência energética, com a instalação de luminárias mais eficientes, reduzindo a fatura energética. Estes projetos têm associado o serviço de manutenção de IP com contratos de concessão.

No concelho em estudo, o consumo de energia elétrica com a IP, representa cerca de 60% do consumo total em energia elétrica. O município, como tantos outros em Portugal, têm investido em projetos de eficiência energética na rede de IP, beneficiando a qualidade de serviço aos cidadãos e reduzindo a despesa associada ao consumo de energia das luminárias.

O município em colaboração com a concessionária da rede, tem implementado medidas para reduzir a fatura energética, destacando-se as seguintes:

- instalação de relógios astronómicos nos postos de transformação, permitindo as luminárias estarem em funcionamento somente nos períodos estritamente necessários;
- redução das potências das luminárias em locais que estavam sobredimensionadas;
- substituição de algumas luminárias convencionais por tecnologia LED;
- revisão das potências contratadas, devido a haver uma faturação para esta parcela, no qual, por vezes está desatualizada (normalmente cobrada por excesso).

Na Figura 4-2 apresenta-se o total do consumo de energia elétrica pela rede de IP e nos edifícios do município em estudo, segundo os dados (alguns provisórios) da PORDATA, desde o ano de 1970 até 2020.

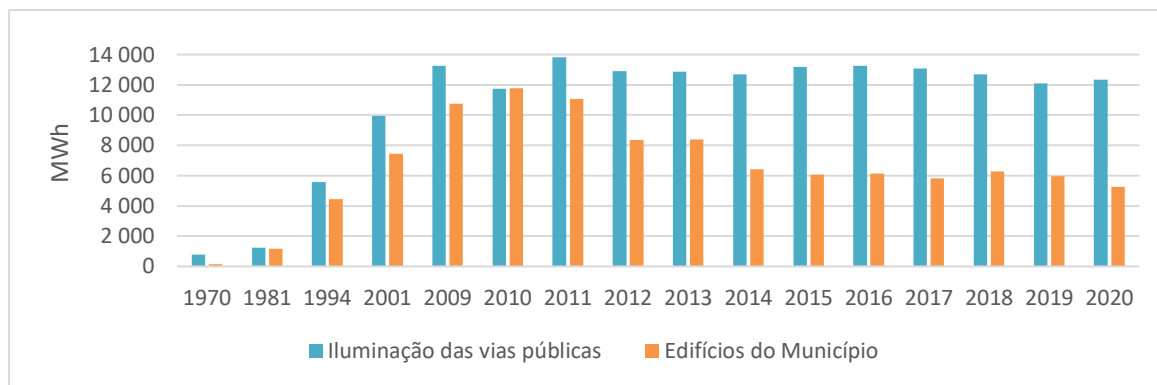


Figura 4-2 – Consumo de energia elétrica na IP e nos edifícios do município, em MWh (município em estudo)

Analisando a figura anterior, desde o ano de 1970 até 2011 que se verificou um aumento do consumo de energia, estando relacionado com o aumento da expansão da rede de IP que dotou o município de mais iluminação pública justificada pelo aumento da população residente.

Do ano de 2012 até 2014, houve uma redução do consumo de energia na IP, acompanhando a tendência a nível nacional devido à crise económica e financeira. Em 2015 houve um aumento do consumo até 2017, após este período começou a reduzir o consumo de energia, mas pouco significativo. Com este cenário é imperativa a implementação de soluções e medidas de eficiência energética mais eficazes, traduzindo-se em reduções significativas da fatura energética com a IP.

## 4.2. Classificação das vias

A rede viária do concelho em estudo está ordenada e hierarquizada com base numa estratégia territorial de mobilidade constante no PDM (Plano Diretor Municipal) em vigor e que se revela de extrema importância na tipificação das vias, quanto à sua classe de iluminação, para garantia dos requisitos fotométricos referidos na norma EN 13201.

A classificação das vias do município em estudo está resumida na Tabela 4-1, conforme o PDM.

Tabela 4-1 – Classificação das vias do município em estudo.

Classificação das Vias		
Tipo de Via	Zona Urbana	Zona Rural
Estradas Nacionais e Municipais	M2	M5
Arruamentos e Caminhos	M4	-
Ruas de Partilha e ou com Ciclovias	P1	-

Os requisitos fotométricos requeridos para as diferentes classes estão representados na Tabela 4-2.

Tabela 4-2 – Níveis de iluminação para as diferentes Classes.

Classe M	Luminância [cd/ m <sup>2</sup> ]	Classe C	Iluminância [lux]	Classe P	Iluminância [lux]
-	-	C0	50,0	-	-
M1	2,00	C1	30,0	-	-
M2	1,50	C2	20,0	-	-
M3	1,00	C3	15,0	P1	15,0
M4	0,75	C4	10,0	P2	10,0
M5	0,50	C5	7,5	P3	7,5
M6	0,30	-	-	P4	5,0
-	-	-	-	P5	3,0
-	-	-	-	P6	2,0

As classes M destinam-se a vias destinadas ao tráfego motorizado, nomeadamente autoestradas, vias de circulação periféricas dos tecidos urbanos (por exemplo circulares internas ou externas), vias de acesso, estradas municipais, vias urbanas de tráfego misto (peões, e condutores de veículos não motorizados). Na determinação da classe deve ter em consideração a velocidade, o volume de tráfego, a composição do trânsito, a separação das faixas, densidade dos cruzamentos, veículos estacionados, luminância ambiente e o controlo do trânsito.

Para as classes M, os níveis médios calculados não deverão ultrapassar 120% nem serem inferiores a 95% dos níveis de referência. [18] Estes valores devem ser cumpridos para assegurar o conforto visual, evitar o encadeamento perturbador e evitar reflexo ou brilho da iluminação no caso da via pública com piso molhado.

### 4.3. Caracterização das luminárias instaladas

Para conseguir realizar o estudo luminotécnico do município em estudo foi necessário recolher dados, nomeadamente as características das luminárias, a sua constituição e o tipo de lâmpada que estão equipadas. Com esta recolha de informações será possível realizar o estudo luminotécnico da situação de referência (a situação atual é designada como de referência).

Relativamente às lâmpadas utilizadas na iluminação pública, estas seguem a tendência a nível nacional e europeu, sendo maioritariamente lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão (VSAP). Na Figura 4-3 verifica-se o tipo de lâmpada utilizada na IP enquadrada neste projeto.

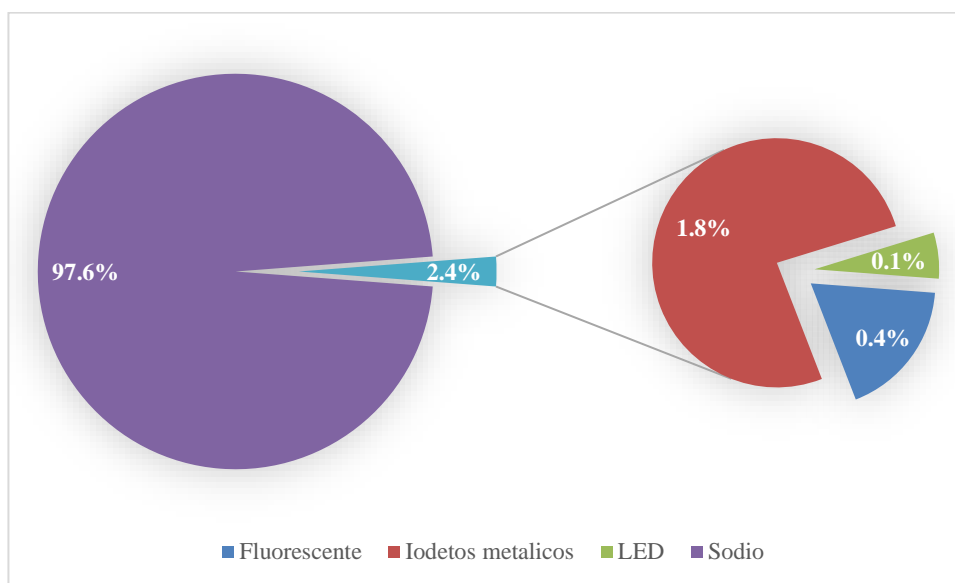


Figura 4-3 – Caracterização do tipo de lâmpada no projeto

Analisando a figura anterior, 97,6% são luminárias equipadas com lâmpadas de VSAP, 1,8% são de iodetos metálicos, 0,4% lâmpadas fluorescentes e somente 0,1% são luminárias com tecnologia LED.

As luminárias distinguem-se pelo tipo de lâmpada utilizada, tipo de luminária e o local onde estão instaladas, com as designações da Tabela 4-3.

**Tabela 4-3 – Caracterização das luminárias instaladas**


<b>Designação</b>	<b>Tipo de Luminária</b>	<b>Tipo de Lâmpada</b>
A1	Viária urbano	VSAP LED
A2	Viária rural	
A3	Jardim	

Neste projeto foram excluídas as luminárias decorativas e especiais, devido a estas serem utilizadas especificamente para iluminar monumentos e edifícios arquitetónicos, que obedecem a outros critérios diferentes à iluminação pública, devendo ser devidamente estudados de forma separada.

Na potência da luminária não se deve contabilizar somente a potência da lâmpada instalada, porque uma lâmpada de VSAP ou Iodetos Metálicos necessita de uma reactância e de um arrancador para funcionar, sendo que estes componentes também consomem energia e, quanto maior potência da lâmpada, maior será a potência consumida pelos equipamentos auxiliares.


A Tabela 4-4 demonstra alguns exemplos de luminária Tipo A1 na situação de referência equipadas com lâmpadas de sódio de 70W, 100W, 150W e 250 W, bem como as suas principais características.

Tabela 4-4 – Luminária Tipo A1.

<b>Designação - A1</b>					
					
<b>Quantidade</b>	<b>Lâmpada [W]</b>	<b>Potência instalada [W] [lâmpada + balastro]</b>	<b>Energia Anual [kWh]</b>	<b>Custo [€]</b>	<b>Emissões de GEE [kgCO<sub>2e</sub>]</b>
9 879	70	84	3 402 328	510 349,14	2 245 536
189	100	117	90 663	13 599,50	59 837
5 929	150	175	4 254 058	638 108,63	2 807 677
2 754	250	285	3 218 049	482 707,35	2 123 912


Na Tabela 4-5 visualiza-se um exemplo de luminária Tipo A2 e as suas características.

Tabela 4-5 – Luminária Tipo A2.

<b>Designação - A2</b>					
					
<b>Quantidade</b>	<b>Lâmpada [W]</b>	<b>Potência instalada [W] [lâmpada + balastro]</b>	<b>Energia [kWh]</b>	<b>Custo [€]</b>	<b>Emissões de GEE [kgCO<sub>2e</sub>]</b>
1 737	70	84	598 223	89 733,42	394 827
260	100	117	124 722	18 708,30	82 317
889	150	175	637 858	95 678,63	420 986
21	250	285	24 539	3 680,78	16 195

Na Figura 4-6 observa-se uma luminária Tipo A3 e as suas características

Tabela 4-6 – Luminária tipo A3

Designação – A3					
					
Quantidade	Lâmpada [W]	Potência instalada [W] [lâmpada + balastro]	Energia [kWh]	Custo [€]	Emissões de GEE [kgCO <sub>2e</sub> ]
587	70	84	202 163	30 324,42	133 427
111	100	117	53 247	7 987,01	35 143
578	150	175	414 715	62 207,25	273 712
29	250	285	33 887	5 082,98	22 365

A Tabela 4-7, contata-se o as caraterísticas das lâmpadas que equipam as luminárias na situação de referência.

Tabela 4-7 – Características das lâmpadas que equipam as luminárias na situação de referência

Designação	Quantidade	Lâmpada [W]	Fluxo [lm]	Potência Total da Luminária [W]	lm/W
A1	9 879	70	5 900	84	70
	189	100	10 300	117	88
	5 929	150	17 500	175	100
	2 754	250	33 200	285	116
A2	1 737	70	5 900	84	70
	260	100	10 300	117	88
	889	150	17 500	175	100
	21	250	33 200	285	116
A3	587	70	5 900	84	70
	111	100	10 300	117	88
	578	150	17 500	175	100
	29	250	33 200	285	116

A Tabela 4 -8 mostra o resumo por tipo de luminárias instaladas na situação de referência e os respetivos consumos.

**Tabela 4-8 – Resumo por tipo de luminária do projeto em estudo.**

Designação	Quantidade	Potência Instalada [kW]	Energia Anual [kWh]	Custo [€]	Emissões de GEE [kgCO <sub>2e</sub> ]
A1	18 751	2 674,41	427,91	1 754 415,58	7 236 964
A2	2 907	337,89	54,06	221 654,53	914 325
A3	1 305	171,71	27,47	112 641,76	464 647
<b>TOTAL</b>	<b>22 963</b>	<b>3 184</b>	<b>509</b>	<b>2 088 711,87</b>	<b>8 615 936</b>

Os dados apresentados na Tabela 4-9, mostra o período de funcionamento anual da IP, o preço médio do kWh, bem como fator de conversão da energia primária e o fator de conversão da emissão de gases com feito de estufa da eletricidade produzida em Portugal.

**Tabela 4-9 – Valores de referência para cálculos de consumos**

Horas Utilização Anual	4 100	h
Custos de Eletricidade	0,16	€/kWh
Energia Primária	2,5	kWh <sub>EP</sub> /kWh
Emissões GEE	0,264	kgCO <sub>2e</sub> /kWh <sub>EP</sub>

Tendo como referência a Tabela 4-9, é possível calcular os encargos que cada componente representa num ano de utilização da iluminação pública do município em estudo.

**Tabela 4-10 – Encargos da IP na situação de referência**

	Eanual [kWh/ano]	Encargos Anuais [€]	Energia Primária [kWh <sub>EP</sub> ]	Emissões de GEE [kgCO <sub>2e</sub> ]
IP	13 054 449	2 088 712	32 636 123	8 615 936

A Tabela 4-10 apresenta todos os encargos monetários e emissões provenientes do consumo anual da iluminação pública para a situação de referência. Nesta situação verifica-se um elevado encargo anual (2 088 712 €) e uma elevada emissão de gases derivados da produção de energia 8 615 936 kgCO<sub>2e</sub>.

Na Figura 4-4 observa-se a distribuição das luminárias na área geográfica, referenciadas por coordenadas, em que cada cor representa o tipo de luminária instalada. O projeto em estudo na situação de referência, com o total de 22 963 luminárias, contabilizando uma potência instalada cerca de 3,2 MW.

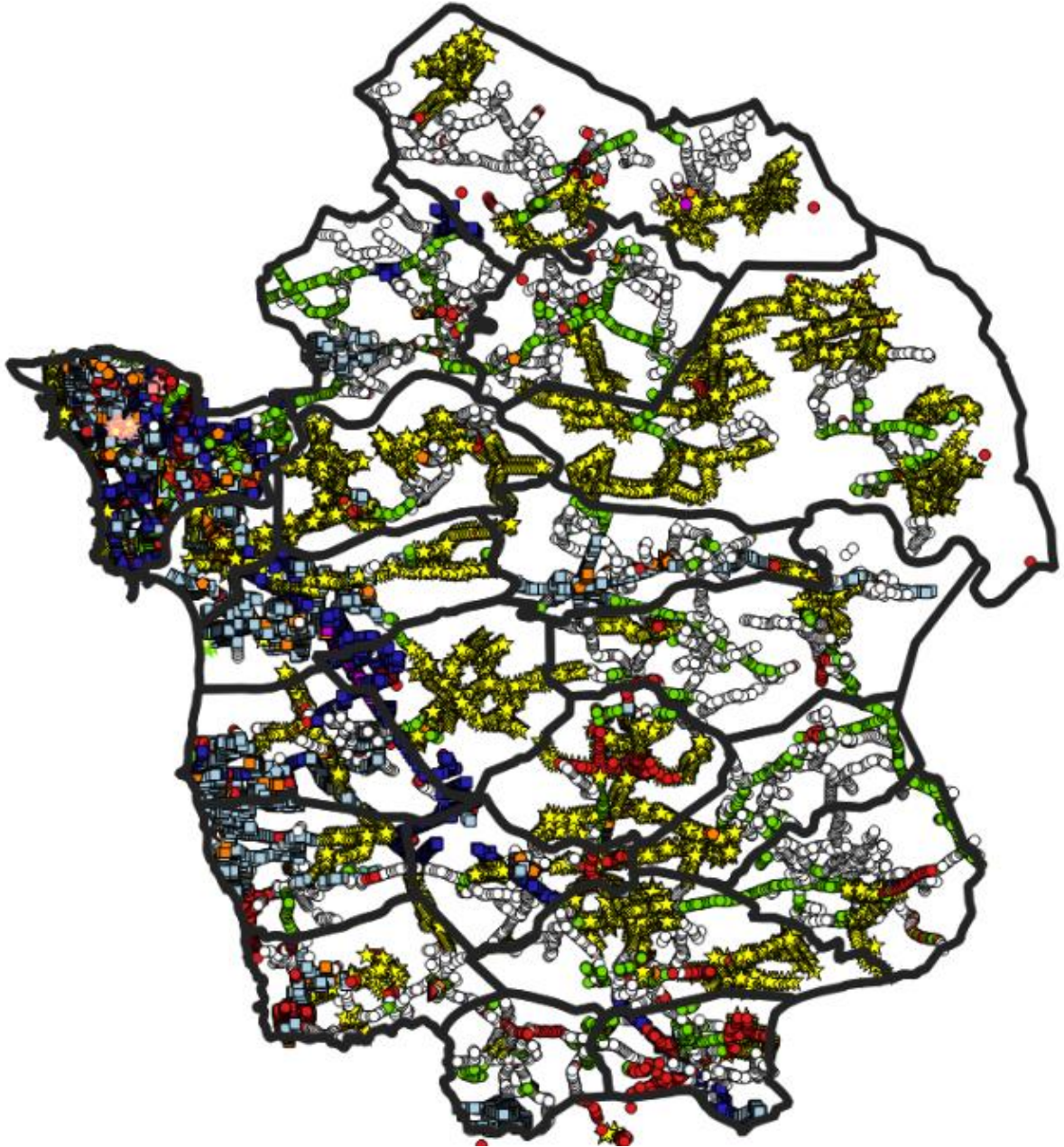


Figura 4-4 – Imagem do projeto de iluminação pública

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## 5. Proposta de melhoria

Neste capítulo é apresentada a proposta de reformulação da IP do município em estudo, com o principal objetivo de melhorar a eficiência energética e cumprir as normas e os requisitos legais, tendo em consideração o aspeto económico e ambiental.

### 5.1.Introdução

Na apresentação de uma proposta de melhoria para iluminação pública é necessário seguir critérios de aquisição e de qualidade. Entre estes critérios, podem apontar-se os seguintes:

- caso não haja predeterminação da classificação da via, deve determinar-se o tipo de via e a respetiva classe de iluminação;
- identificar todas as zonas de conflito (cruzamentos, passadeiras, rotundas, locais com elevada sinistralidade, alteração da geometria da via, etc.), passagens inferiores, túneis, zonas de jardins, vias de aceleração e desaceleração, zonas de estacionamento, ciclovias, largura da faixa de rodagem e quantidade de faixas, curvas perigosas, etc.;
- identificar a passagem de peões;
- determinar as zonas a iluminar, de acordo com a largura dos diferentes pavimentos;
- identificar a altura de instalação da luminária e o tipo de apoio a utilizar;
- identificar as zonas com árvores e a sua influência na iluminação;
- ter em consideração a poluição luminosa, encadeamento e luz intrusiva;
- eficiência energética da fonte e acessórios (lm/W);
- características fotométricas da luminária;
- fator de manutenção da luminosidade da luminária (FMLL);
- fator de sobrevivência da luminária (FSL);
- fator de manutenção da instalação (FM);
- potência do sistema;
- identificadores de eficiência energética;
- avaliação de custos.

A escolha das luminárias teve em consideração as características dos apoios existentes, a classificação dos locais da sua instalação e os resultados fotométricos obtidos na simulação

no DIALUX EVO. Em anexo apresenta-se exemplos de resultados obtidos para uma luminária equipada com lâmpada de sódio (Anexo A) e para uma luminária LED (Anexo B).

Com os resultados obtidos, selecionaram-se as luminárias que apresentam melhores desempenhos, nomeadamente no que respeita a consumos energéticos, iluminância e fiabilidade.

## **5.2. Caracterização das luminárias da proposta de melhoria**

As luminárias sugeridas na proposta de melhoria cumprem com determinados requisitos fundamentais com o intuito de garantir a rentabilidade de um projeto de eficiência energética.

Por este motivo, as luminárias selecionadas garantem requisitos mínimos de qualidade e cumprem com diversas especificações técnicas. Entre estas, destaca-se a durabilidade que deve ser superior a 25 anos, os componentes eletrónicos que devem garantir uma vida útil superior a 13 anos e a depreciação de fluxo luminoso ser inferior a 20% durante o período da vida útil dos componentes eletrónicos. As luminárias são compostas por acessórios ou componentes para a sua instalação nos apoios e braços pertencentes à rede de IP, existindo a possibilidade de regular a inclinação da luminária relativamente ao braço para ajustar o feixe luminoso relativamente à via a iluminar. Estas devem estar equipadas com fichas para instalar controladores para viabilizar um sistema de telegestão, IK08 e IP66 (Índice de Proteção 66), fator de potência superior ou igual a 0,95, proteção contra descargas atmosféricas de 10kV, incorporada num SPD, *driver* com a possibilidade de ser programado, IRC  $\geq 80$  e o Rácio de Saída do Fluxo Luminoso Ascendente  $ULOR \geq 3\%$ .

As luminárias para a proposta de melhoria cumprem os pressupostos anteriormente referidos e permitem também uma substituição direta, não havendo necessidade de acessórios de adaptação. Consequentemente, são desprezadas despesas extras de montagem e aquisição de acessórios.

Seguidamente, visualizam-se as luminárias propostas, bem como as suas principais características. As luminárias propostas são da marca Philips e as suas referências estão descritas na Tabela 5-1.

Tabela 5-1 – Modelos das luminárias da proposta de melhoria

Designação	Modelo	Descrição	Imagem
LED 1	ClearWay	BGP307 LED45-4S/740 I DM50 DDF27 D18	
LED 2	DigiStreet	BGP762 LED170/740 I DM10 KC DGR DDF27 SRG10 32/48	
LED 3	TownTune	BDP268 LED30/740-4s DX50 DR-GO CLO DDF1 48/60A	
LED 4	TownTune	BDP266 LED50/740-4s DS50 DDF2 76A	
LED 5	Lanterna Villa	BDP768 LED40-4S/740 PSDD DW50 I FG BK DDF27	
LED 6	Lanterna Villa	BDP768 LED69-4S/740 PSDD DW50 I FG BK DDF27	

Na Tabela 5-2 apresentam-se as quantidades de luminárias para a proposta de melhoria e as suas características para cada solução, bem como o plano de substituição das luminárias da situação de referência.

**Tabela 5-2 – Quantidade de luminárias para a proposta de melhoria e as suas características**

Designação		Luminária da Proposta de Melhoria				
Referência	Proposto	Quantidade	Fluxo [lm]	Potência [W]	Eficiência luminosa [lm/W]	TOTAL [kW]
A1	LED 1	9 879	4 500	28,5	158	281,6
A1	LED 2	8 872	9 790	67	146	594,4
A2	LED 3	1 737	268	19	119	33,0
A2	LED 4	1 170	4 050	30	135	35,1
A3	LED 5	587	2 760	24	115	14,1
A3	LED 6	718	4 760	40,5	118	29,1
<b>TOTAL</b>		<b>22 963</b>				<b>987,2</b>

Na Tabela 5-3 verifica-se o consumo anual de energia relativo à proposta de melhoria para a iluminação pública.

**Tabela 5-3 – Consumo anual da proposta de melhoria**

Tipo	Potência [W]	QTD	TOTAL [kW]	Consumo anual de Energia [kWh]
LED 1	28,5	9 879	281,6	1 154 361,2
LED 2	67	8 872	594,4	2 437 138,4
LED 3	19	1 737	33,0	135 312,3
LED 4	30	1 170	35,1	143 910 ,0
LED 5	24	587	14,1	57 760,8
LED 6	40,5	718	29,1	119 223,9
Total Geral		22 963	987	4 047 706,6

Considerando os valores de referência para os cálculos dos consumos na Tabela 4-9, é possível calcular os encargos de cada parcela num ano de utilização da iluminação pública. Na Tabela 5-4 são apresentados os encargos monetários e emissões resultantes do consumo anual de energia da iluminação pública perante a proposta de melhoria. O consumo de energia primária da IP é expresso em [kWh<sub>EP</sub>], sendo determinado a partir do fator de conversão que consta no Despacho nº 15793-D/2013.

**Tabela 5-4 – Encargos da IP com a proposta de melhoria**

Proposta de Melhoria	E anual [kWh/ano]	Encargos Anuais [€]	Energia Primária [kWh <sub>EP</sub> ]	Emissões de GEE [kgCO <sub>2e</sub> ]
	4 047 707	647 633	10 119 266	2 671 486

### 5.3. Análise comparativa da situação de referência com a proposta de melhoria

Analisando o sistema de referência da IP, observa-se que existe uma grande margem para melhorar a eficiência energética. Atualmente a IP tem uma potência instalada de 3 184 kW e com a solução da proposta de melhoria estima-se uma potência instalada de 1 147 kW.

Considerando a proposta de melhoria das luminárias da IP do município em estudo por luminárias LED com sistema de controlo e gestão, podem obter-se claras poupanças de energia, conforme se demonstra na Tabela 5-5.

Tabela 5-5 – Situação de referência vs. proposta de melhoria

Situação de Referência		Quantidade	Proposta de Melhoria		Economia de energia [kWh]
Potência Lâmpada [W]	Energia Total/Sistema [kWh]		Potência da Luminária Equivalente em Led [W]	Energia Total Espectável [kWh]	
70	3 402 328	9 879	29	1 154 361	2 247 966
100	90 663	189	67	51 918	38 745
150	4 254 058	5 929	67	1 628 696	2 625 361
250	3 218 049	2 754	67	756 524	2 461 525
70	598 223	1 737	19	135 312	462 911
100	124 722	260	30	31 980	92 742
150	637 858	889	30	109 347	528 511
250	24 539	21	30	2 583	21 956
70	202 163	587	24	57 761	144 402
100	53 247	111	41	18 432	34 815
150	414 715	578	41	95 977	318 738
250	33 887	29	41	4 815	29 071
<b>TOTAL</b>	<b>13 054 449</b>	<b>22 963</b>		<b>4 047 707</b>	<b>9 006 743</b>

Apresentando a Tabela 5-6, é possível visualizar resumidamente todos os valores obtidos na situação de referência e na proposta de melhoria.

Tabela 5-6 – Comparação do sistema de referência e a proposto de melhoria

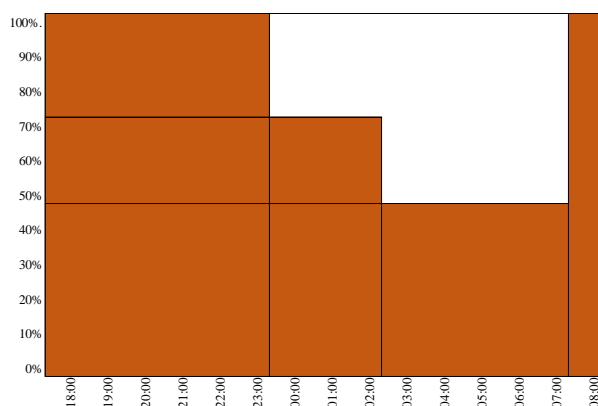
IP	Energia Anual [kWh/ano]	Encargos Anuais [€]	Energia Primária [kWh <sub>EP</sub> ]	Emissões de GEE [kgCO <sub>2e</sub> ]
Referência	13 054 449	2 088 712	32 636 123	8 615 936
Proposta de Melhoria	4 047 707	607 156	10 119 266	2 671 486
Benefício	9 006 743	1 441 079	22 516 857	5 944 450

Na tabela apresentada anteriormente, verifica-se efetivamente uma redução muito significativa na energia consumida anualmente e conseqüentemente uma redução dos encargos anuais, na energia primária e nas emissões de GEE. A proposta apresentada representa uma redução de cerca de 64% nos parâmetros mencionados anteriormente.

Estes resultados representam somente a troca da luminária, mas como a luminária da proposta de melhoria tem a possibilidade da aplicação de *dimming* de diversos patamares e também na aplicação de telegestão, aplicando somente uma solução ou as duas em simultâneo, os benefícios podem ser bem mais elevados.

Os perfis de *dimming* são elaborados em função do comportamento da população onde o sistema é implementado, e também pode ter em consideração a época do ano (verão ou inverno). Normalmente a população durante o verão circula nos espaços públicos até mais tarde.

Atualmente os PT têm instaladas células fotoelétricas ou interruptores horários com relógios astronômicos incorporados, não permitindo a ligação da IP durante o período diurno. Por este motivo é apresentado somente um perfil de *dimming*, estando este representado na Figura 5-1.



**Figura 5-1 – Perfil proposto para a IP.**

O perfil proposto tem por base o comportamento da população, sugerindo-se a redução de 25% do fluxo luminoso das luminárias das 23:00 horas às 2:00 horas e a redução de 50% até ao nascer do dia.

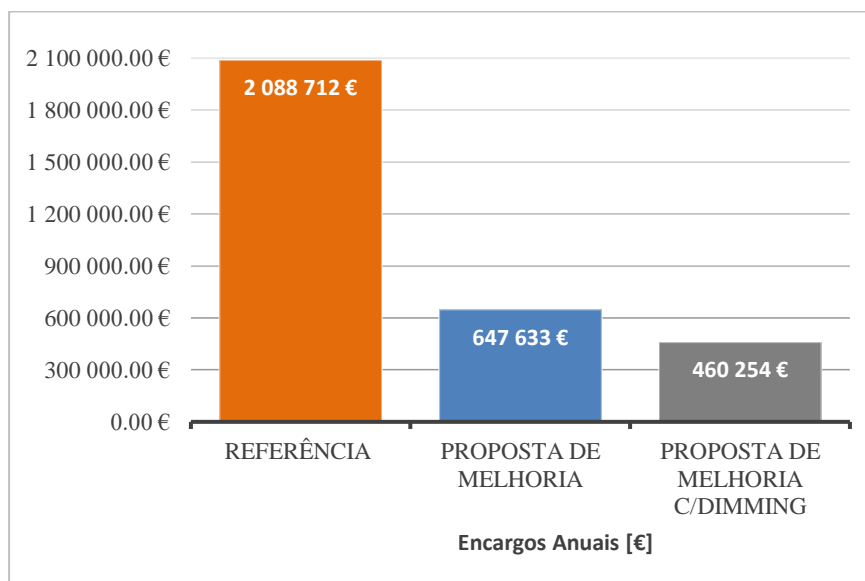
Com a aplicação de *dimming* nas luminárias, os benefícios serão maiores relativamente ao consumo de energia, nos encargos com a energia e conseqüentemente nos aspetos

ambientais. Outros benefícios indiretos estão também associados, já que se prolonga a vida útil do LED devido à diminuição do fluxo luminoso. Na Tabela 5-5 verificam-se os benefícios com a utilização de luminárias com o *dimming*, relativamente às luminárias sem controlo.

**Tabela 5-7 – Benefícios da aplicação do *dimming***

IP	Eannual [kWh/ano]	Encargos Anuais [€]	Energia Primária [kWh <sub>EP</sub> ]	Emissões de GEE [kgCO <sub>2e</sub> ]
Referência	13 054 449	2 088 712	32 636 123	8 615 936
Proposta de melhoria sem <i>dimming</i>	4 047 707	647 633	10 119 266	2 671 486
Proposta de melhoria c/ <i>dimming</i>	2 876 587	460 254	7 191 466	1 898 547

Observando a Tabela 5-7 com a aplicação do perfil de *dimming*, tal estratégia traduz-se numa redução cerca de 28,9% da energia anual consumida, encargos anuais, energia primária e também nas emissões de GEE. A Figura 5-2 compara a despesa anual da situação de referência com a proposta de melhoria aplicando ou não o *dimming* nas luminárias.



**Figura 5-2 – Comparação dos encargos anuais do sistema atual com os sistemas propostos.**

Nas Figuras 5-3 e 5-4, o sistema de referência da IP é comparado com o sistema da proposta de melhoria, ao nível do consumo de energia primária e das emissões dos gases com efeito de estufa, respetivamente.

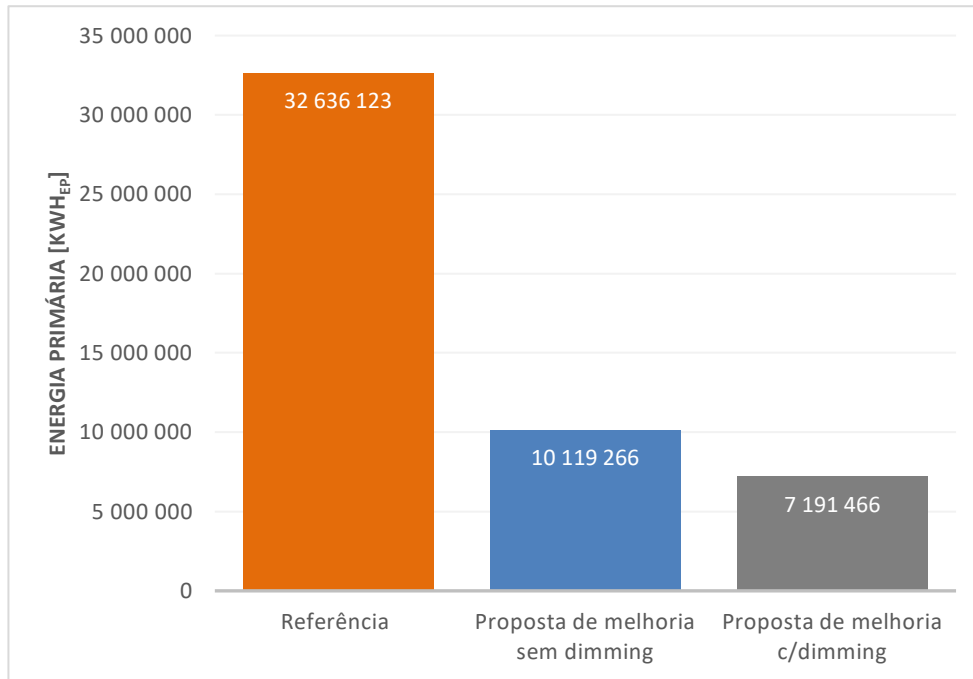
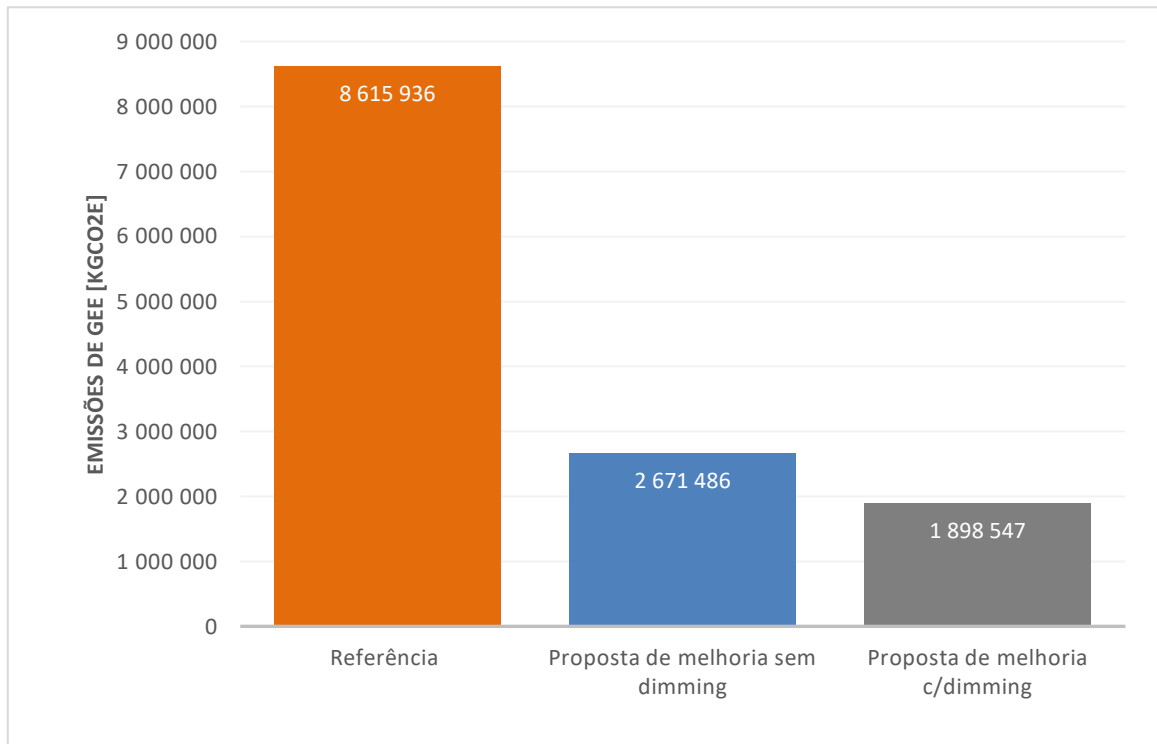


Figura 5-3 – Comparação do consumo da energia primária do sistema de referência com os sistemas propostos.



**Figura 5-4 - Comparação das emissões de GEE do sistema de referência com os sistemas propostos**

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## 6. Análise de viabilidade técnico-económica do projeto

No capítulo anterior abordou-se uma proposta de melhoria de modo a aumentar a eficiência luminosa e diminuir a despesa afeta ao consumo de energia da IP. Neste capítulo será analisado o aspeto económico da proposta de melhoria, em algumas soluções para a sua implementação.

### 6.1. Introdução

Nesta secção será apresentado o estudo da viabilidade económica dos sistemas de iluminação pública mencionados nos anteriores capítulos (projeto de investimento envolvendo terceiros, projeto envolvendo apenas capitais próprios para investimento e manutenção do sistema de iluminação e troca de luminária de sódio por luminária LED).

A viabilidade económica tem como finalidade os investidores analisarem e avaliarem o risco e a rentabilidade de um determinado negócio, baseando-se em alguns indicadores económicos, tais como VAL (valor atual líquido), TIR (taxa interna de rentabilidade), ROI (Retorno do investimento) e *Payback* (período de retorno do investimento).

O VAL é a diferença entre os valores atualizados de entrada e saída de capital, durante o período de vida útil do projeto. O projeto só terá viabilidade se o VAL for superior a zero, pois indica a recuperação do capital a investir e se vão existir excedentes monetários.

O TIR é a taxa de atualização que anula o VAL. Indica o montante que o investidor pode contrair em empréstimo com uma taxa incluída para financiar o projeto sem ter prejuízo. O investimento será atrativo quanto maior for este indicador.

O ROI é um índice de rentabilidade obtido por unidade de capital investido. O investimento deve ser realizado quando este indicador for superior a 1.

O *Payback* determina o tempo de recuperação do capital investido, ou seja, determina o período de funcionamento de um projeto para que o somatório entre despesas e receitas seja igual a zero. O projeto torna-se mais atrativo quanto menor for este indicador.

## 6.2. Pressupostos utilizados para a definição de cenários

Na realização da análise de investimento é considerado o valor mais baixo de mercado de alguns fornecedores de luminárias. A Tabela 6-1 mostra o investimento na aquisição das luminárias necessárias para o projeto em estudo.

Tabela 6-1 – Valor do orçamento

Tipo	Potência [W]	Quantidade	Preço [€]	Total
LED 1	28,5	9 879	279,38 €	2 759 995,02 €
LED 2	67	8 872	450,18 €	3 993 996,96 €
LED 3	19	1 737	394,67 €	685 541,79 €
LED 4	30	1 170	394,67 €	461 763,90 €
LED 5	24	587	432,49 €	253 871,63 €
LED 6	40,5	718	450,18 €	323 229,24 €
Total Geral		22 963		8 478 398,54 €

O custo total de investimento inclui as luminárias, ficha ZHAGA para associar a um sistema de telegestão, SPD de 10kV, *driver* programável de cinco níveis compatível com o sistema de telegestão e pintura adequando ao ambiente do local da instalação. Segundo o fabricante, as luminárias ao fim de 100 000 horas de utilização ainda mantêm pelo menos 95% do fluxo inicial. Este período é alcançado aos 24 anos de utilização, contudo o estudo será realizado para o horizonte de 20 anos de utilização.

A implementação desta medida de racionalização energética representa um investimento inicial de 10 223 586,54 €, repartidos conforme a Tabela 6-2.

Tabela 6-2 – Investimento inicial

Luminárias	8 478 398,54 €
Sistema Telegestão	1 171 113,00 €
Mão de Obra	574 075,00 €
<b>Investimento Total</b>	<b>10 223 586,54 €</b>

Nos dados utilizados para os cálculos da análise de investimento para o projeto em estudo, foi atribuída a taxa de atualização do capital de 5,7% e o preço da energia de 0,16 € por kWh. Também está incluído o valor anual de 28 703,75 € para despesas de manutenção da rede de IP.

### 6.3.Cenário 1 – Investimento com capitais próprios

Nesta seção será apresentada os dados para o investimento com capitais próprios na implementação da proposta de melhoria com ou sem *dimming*.

Considerando a Tabela 6-2, para o investimento inicial e a previsão da despesa de manutenção referido no capítulo anterior, seguidamente é mostrado o fluxo monetário.

Na Figura 6-1 observa-se o fluxo monetário que o município pode obter ao longo de 20 anos após a realização do investimento, recorrendo a capitais próprios na proposta de melhoria sem *dimming*.

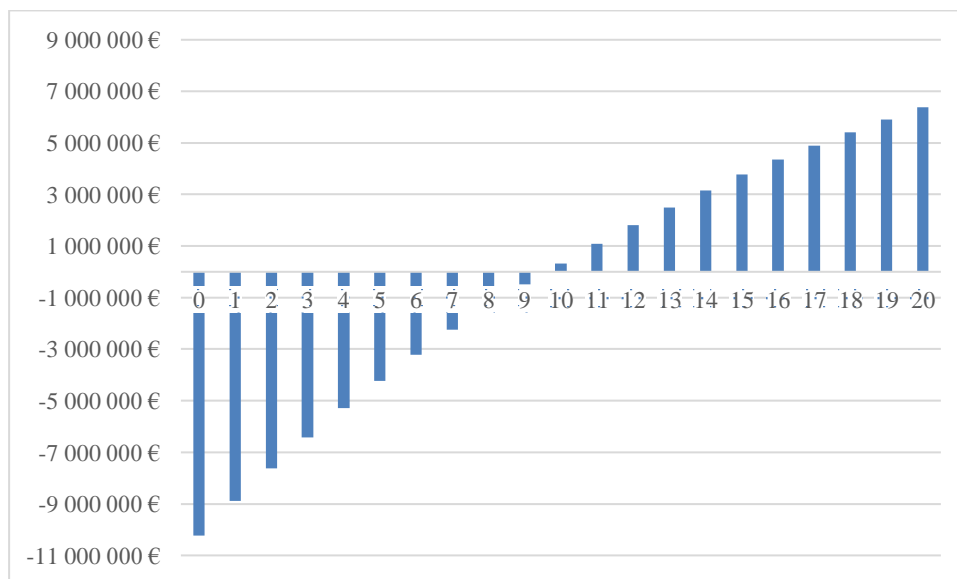


Figura 6-1 – Análise do fluxo monetário da proposta de melhoria (sem *dimming*)

A análise de investimento para a proposta de melhoria sem *dimming*, observa-se na Tabela 6-3.

Tabela 6-3 – Resultado da análise económica da proposta de melhoria sem *dimming*

TAN	5,7%
VAL	6 378 272,90 €
TIR	12,3%
ROI	1,6
<i>payback</i> (anos)	9,6

Analisando a Figura 6-1 e Tabela 6-3, constata-se que por volta dos 9,6 anos após o investimento obtém-se o retorno do investimento. Passado 20 anos do investimento inicial, obtém-se um VAL 6 378 272,90 €, com um retorno de investimento de 1,6, assegurando-se com este indicador a viabilidade no investimento neste projeto em análise.

Na proposta de melhoria aplicando o *dimming*, o investimento inicial seria o mesmo, mas obtém-se uma poupança anual em energia cerca de 29% relativamente à proposta sem *dimming*.

Na Figura 6-2 e na Tabela 6-4, observa-se a análise de investimento da proposta de melhoria com *dimming*.

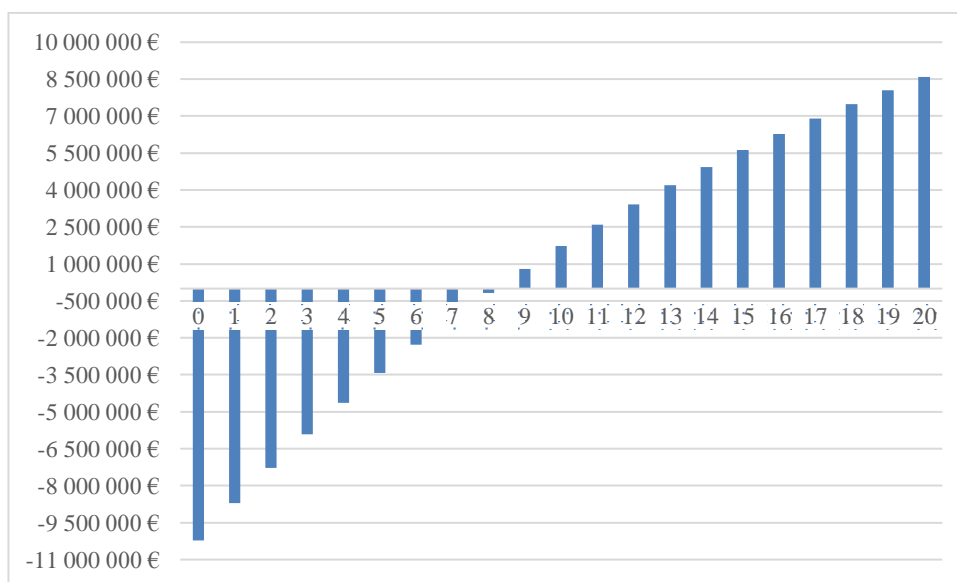


Figura 6-2 – Análise económica da proposta de melhoria com *dimming*

Tabela 6-4 – Resultado da análise económica da proposta de melhoria com *dimming*

TAN	5,7%
VAL	8 580 834,46 €
TIR	14,4%
ROI	1,8
<i>payback</i> (anos)	8,2

Observando os valores da Tabela 6-4, estima-se que aos 8,2 anos obtém-se o retorno do investimento. Aos 20 anos, consegue-se ter um VAL de 8 580 834,46 €, um ROI de 1,8, sendo estes valores bons indicadores que aconselham a realização do investimento.

## 6.4.Cenário 2 – Investimento com financiamento de terceiros

Nesta secção será apresentada uma análise de investimento recorrendo a financiamento de terceiros, tendo um contrato com a duração de 13 anos, no qual 70% da poupança do consumo de referência será atribuída aos investidores e os restantes 30% será para o município, relativamente à proposta de melhoria com *dimming* apresentada anteriormente.

Na Tabela 6-5, verifica-se a forma de remuneração aos investidores, os encargos com a energia e a redução dos encargos do município.

Tabela 6-5 –Encargos com financiamento de terceiros

	Referência	Proposta de melhoria sem <i>dimming</i>	Proposta de melhoria com <i>dimming</i>
Encargos anuais Energia	2 088 711,87 €	647 633,05 €	460 253,85 €
Remuneração anual aos Investidores	--	1 008 755,18 €	1 102 444,77 €
Redução anual de encargos	--	432 323,65 €	526 013,25 €
Redução global de encargos (Município)	--	6 917 178,36 €	8 416 211,92 €

Na Figura 6-3 verifica-se a economia que o município obtém recorrendo a investidores terceiros na proposta de melhoria sem *dimming*.

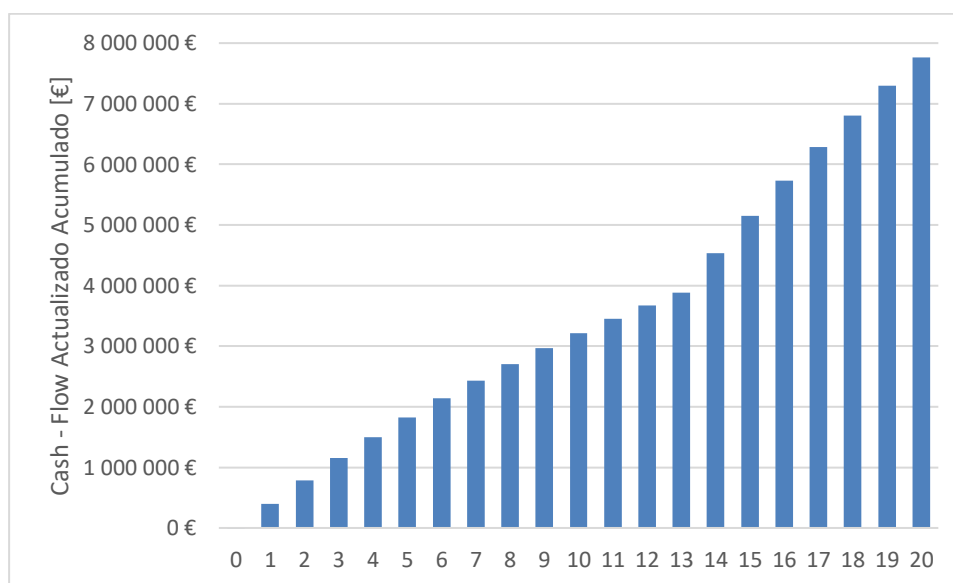


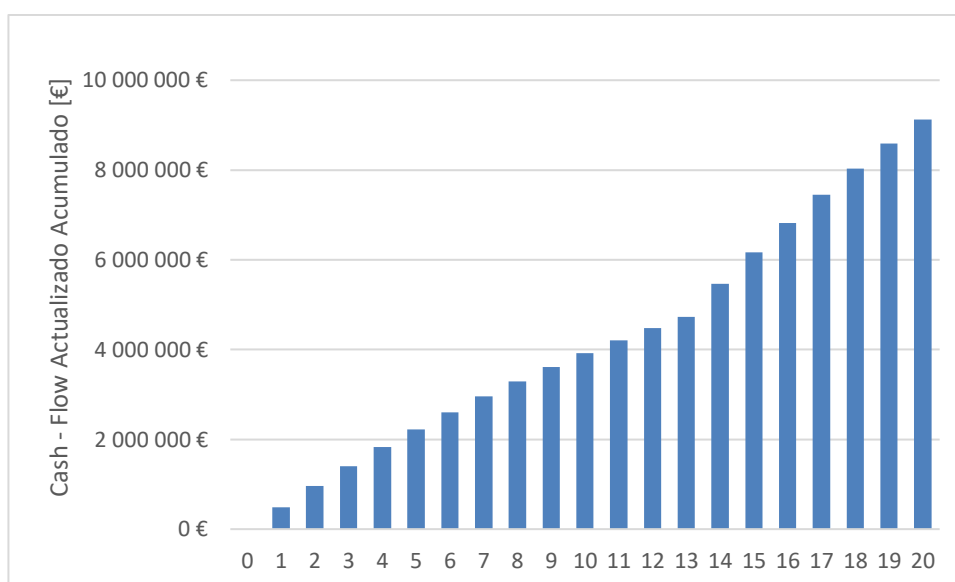
Figura 6-3 – Poupança utilizando investidores terceiros sem *dimming*

Na Tabela 6-6 são mostrados os valores utilizando investidores terceiros após 20 anos da implementação da proposta de melhoria.

**Tabela 6-6 – Resultado da análise económica da proposta de melhoria sem *dimming* com investimento de terceiros**

TAN	5,7%
VAL	7 761 688,80 €

Na Figura 6-4 são apresentados os valores que o município pode beneficiar com o investimento de terceiros, na proposta de melhoria com *dimming* proposto.



**Figura 6-4 – Análise económica com investimento de terceiros, da proposta de melhoria com *dimming***

Na Tabela 6-7, observam-se os valores de investimento de terceiros após 20 anos da implementação da proposta de melhoria com *dimming*.

**Tabela 6-7 – Resultado da análise económica da proposta de melhoria com *dimming* com investimento de terceiros**

TAN	5,7%
VAL	9 120 115,92 €

Analisando a Tabela 6-7 e 6-6, como a Figura 6-4 e 6-3, verifica-se em termos económicos é mais vantajoso o município optar pela proposta de melhoria com *dimming*.

## 6.5. Análise comparativa cenário 1 versus cenário 2

Neste subcapítulo será apresentada uma comparação entre o cenário 1 e o cenário 2, com o objetivo de escolher o melhor cenário nos diversos critérios de análise.

A Figura 6-5 compara o VAL aos 20 anos, entre os dois cenários propostos.

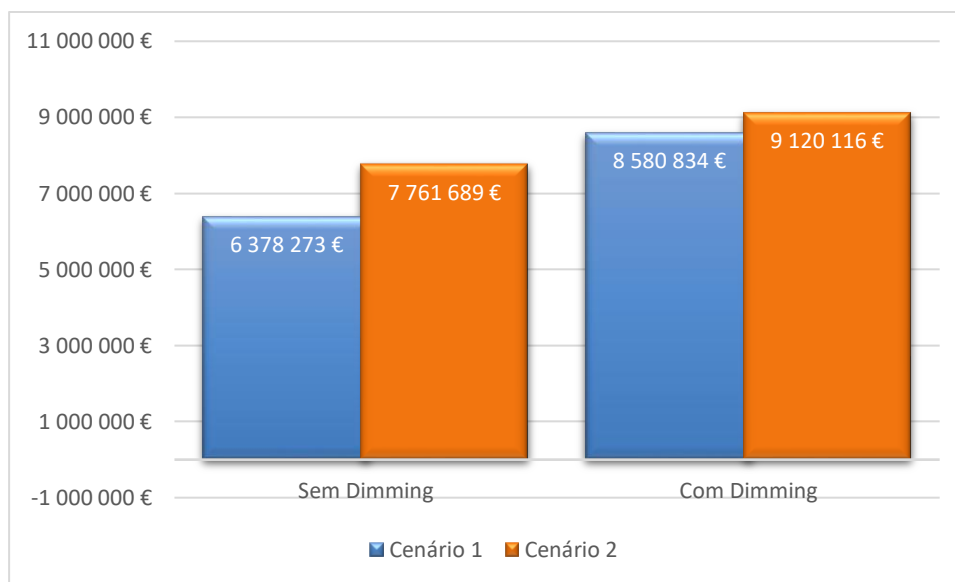


Figura 6-5 – Comparação do VAL aos 20 anos após o investimento

Analisando a figura anterior, o município tem mais vantagens económicas na implementação do cenário 2, no horizonte de 20 anos.

Com este estudo pretendeu-se elaborar um projeto de IP para o município em estudo recorrendo a um sistema mais económico e amigo de ambiente. O município em causa terá duas hipóteses para realizar o projeto em estudo, uma seria realizar o investimento com capitais próprios e a outra hipótese seria recorrer a investidores externos, tendo neste último caso maiores vantagens económicas.

Qualquer das soluções apresentadas são viáveis para a sua implementação desde que haja liquidez financeira, sendo a realização do investimento do cenário 2 o mais favorável, devido a não ter de realizar qualquer investimento e logo após a implementação do projeto, começa a reduzir despesa com a IP. Para além disso, tem como vantagem consistir num sistema de IP moderno, com telegestão com a possibilidade de ser integrada num conceito de Cidade Inteligente e sem despesas de manutenção.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## 7. Considerações finais e trabalho futuro

Na conjuntura atual é imperativo aplicar medidas de eficiência energética e a gestão dos recursos energéticos. O consumo de energia tem de diminuir, recorrendo a tecnologias mais modernas e eficientes e alterando hábitos de consumo. A elaboração deste trabalho teve como objetivo analisar as soluções que os municípios possam optar para reduzir a despesa com a iluminação pública, e também mostrar medidas para melhorar o desempenho energético. Qualquer proposta apresentada pressupõe uma melhoria no desempenho energético e obtenção de poupanças na aplicação dos mesmos. A aplicação do *dimming* nas luminárias garante poupanças muito significativas que não devem ser descuradas.

Os municípios têm a possibilidade de renovar o sistema de IP, e conseqüentemente obter benefícios económicos, realizando investimento com capitais próprios ou através de investimento de capitais de terceiros, que não fica registado como dívida de tesouraria, sendo neste caso mais rentável economicamente.

Atualmente a eficiência energética na iluminação pública não consiste somente em trocar luminárias com lâmpadas de sódio por luminárias com a tecnologia LED. Existe uma grande oferta de serviços e tecnologias associados ao conceito das cidades inteligentes, Internet das Coisas, e ultimamente com o aparecimento do 5G. Com a evolução destas tecnologias e conceitos, a iluminação pública também acompanha esta evolução.

As cidades inteligentes ou *smart cities*, são cidades desenvolvidas tecnologicamente com o intuito do desenvolvimento social e ambiental, através de tecnologias digitais e disruptivas. Estas cidades utilizam estrategicamente as infraestruturas, serviços, informação e comunicação com o planeamento e ordenamento da gestão urbana, respondendo às necessidades sociais e económicas dos seus habitantes. Com este conceito, seria interessante realizar um estudo da iluminação pública com telegestão e interagir com os movimentos da sociedade.

Um trabalho futuro interessante seria realizar o estudo da evolução da iluminação pública com a telegestão e integrar o conceito das cidades inteligentes. Para dar seguimento a este trabalho realizado, seria de todo o interesse a realização de um estudo e a implementação de um plano de medições e verificações, com o intuito de ser utilizado após a implementação do projeto, em qualquer um dos cenários propostos neste trabalho.

Atualmente existem luminárias que se baseiam no aproveitamento de energias renováveis, nomeadamente as luminárias solares com sistema de armazenamento. em que a própria luminária tem um painel solar na parte superior desta e integra sistemas de armazenamento. Em alternativa, também existem luminárias com baterias que são carregadas através da rede elétrica durante o período das horas de vazio. Seria interessante analisar as vantagens e desvantagens destes sistemas para a IP, bem como a sua viabilidade económica.

## Bibliografia

- [1] A. P. d. Ambiente, “Inventário Nacional de Emissões 2021,” 2021.
- [2] A. P. d. Ambiente, “PLANO NACIONAL ENERGIA E CLIMA 2021-2030 (PNEC 2030),” 2019.
- [3] E-REDES, “Iluminação Pública - Um instrumento de Cidadania,” [Online]. Available: <https://www.e-redes.pt/pt-pt/historias/iluminacao-publica-um-instrumento-de-cidadania>. [Acedido em 22 02 2022].
- [4] Diário da República, “Diretiva n.º 20/2012,” *Diário da República, 2.ª série — N.º 249 — 26 de dezembro de 2012*, p. 61, 26 dezembro 2012.
- [5] Diário da República, “Diário da República, 2.ª série — N.º 3 — 4 de janeiro de 2018,” *Diretiva n.º 2/2018*, 4 janeiro 2018.
- [6] DRE, “Decreto-lei 344-B/82,” 1982.
- [7] DRE, “Decreto-Lei n.º 29/2011,” 2011.
- [8] DRE, “Decreto-Lei n.º 50/2021,” 2021.
- [9] DRE, “Portaria nº 454/2001,” 2001.
- [10] J. O. d. U. Europeia, “DIRECTIVA 2006/32/CE,” *DIRECTIVA 2006/32/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO*, 27 abril 2003.
- [11] J. O. d. U. Europeia, “DIRETIVA 2012/27/UE,” *DIRETIVA 2012/27/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO*, 25 outubro 2012.
- [12] APES Energia, “Aplicação do Programa ECO.AP ao nível municipal”. *Visão das ESE*.
- [13] ECO.Ap, “Manual Da Eficiência Energética”.
- [14] S. Electric. [Online]. Available: <https://www.se.com/pt/pt/>. [Acedido em 15 01 2022].
- [15] E. -. Distribuição, “Manual de Iluminação Pública,” outubro 2016.
- [16] SCHRÉDER. [Online]. Available: <https://pt.schreder.com/pt/>. [Acedido em 22 01 2022].

- [17] PHILIPS. [Online]. Available: [https://www.lighting.philips.pt/prof/luminarias-de-exterior#pfpath=0-OCOUTD\\_GR](https://www.lighting.philips.pt/prof/luminarias-de-exterior#pfpath=0-OCOUTD_GR). [Acedido em 15 01 2022].
- [18] DREEIP, “Eficiência Energética na Iluminação Pública II - Documento de Referência,” *Parte II - Projeto de Iluminação Pública - Especificações*, 2018.
- [19] NASA, “Nasa.gov,” NASA, 7 08 2017. [Online]. Available: <https://www.nasa.gov/content/iberian-peninsula-at-night>. [Acedido em 10 09 2021].
- [20] “Instituto Nacional de Estatística,” [Online]. Available: [https://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=censos21\\_main&xpid=CENSOS21&xlang=pt](https://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=censos21_main&xpid=CENSOS21&xlang=pt). [Acedido em 30 10 2021].
- [21] N-INVEST, [Online]. Available: <https://www.n-investportugal.pt/pt/municipio-vila-do-conde/>. [Acedido em 31 10 2021].
- [22] B. d. D. P. Contemporâneo, “Pordata,” [Online]. Available: <https://www.pordata.pt/Portugal/Consumo+de+energia+el%C3%A9ctrica+total+e+por+tipo+de+consumo-1124-9093>. [Acedido em 31 10 2021].
- [23] S. FFMS. [Online]. Available: <https://www.ffms.pt/crises-na-economia-portuguesa/5047/a-mais-longa-e-severa-das-crises>. [Acedido em 31 10 2021].
- [24] A. Magazine, “<https://www.ambientemagazine.com/>,” [Online]. Available: <https://www.ambientemagazine.com/peniche-desenvolve-o-primeiro-grande-contrato-ese-em-portugal/>. [Acedido em 28 10 2021].
- [25] ECO.AP, “programa de Eficiência Energética de Recursos na Administração Pública,” [Online]. Available: <https://www.ecoap.pt/ecoap-2030/>. [Acedido em 30 10 2021].
- [26] IPCC, “PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE mudanças climáticas,” em *Primeira Sessão Conjunta dos Grupos de Trabalho I, II e III do IPCC*, Incheon, Coreia do Sul, 2018.
- [27] A. R. d. E. e. a. d. Centro, “AREAC,” [Online]. Available: <http://www.areac.pt/pt/>. [Acedido em 01 11 2021].
- [28] PPORADTA, “<https://www.pordata.pt/>,” [Online]. Available: <https://www.pordata.pt/Portugal/Consumo+de+energia+el%C3%A9ctrica+total+e+por+tipo+de+consumo-1124>. [Acedido em 16 01 2022].

- [29] D. d. República, “Despacho normativo n.º 15/2012,” MINISTÉRIO DA ECONOMIA E DO EMPREGO, Lisboa, 2012.
- [30] PHILIPS, *Guia de Iluminação*, 2005.
- [31] ADEPORTO, *Plano Diretor de Iluminação Pública - PDIP - Município da Maia*, Porto, 2021.
- [32] M. M. R. Camões, “ISEP,” *ESTUDO DOS IMPACTOS DA SUSTITUIÇÃO DE LUMINÁRIAS CONVENCIONAIS POR LUMINÁRIAS LED NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA*, 10 2019.
- [33] RNAE, “Contratos de Performance de Energia (CPE),” 2014.
- [34] E. (. V. Organization), “Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance,” *Conceitos e Opções para Determinação das Economias de energia e Água*, Janeiro 2012.
- [35] A. ILLUMINAZIONE. [Online]. Available: <https://www.aecilluminazione.com/>. [Acedido em 20 01 2021].
- [36] SONERES. [Online]. Available: <https://www.sonerres.pt/>. [Acedido em 22 01 2022].
- [37] DREEIP, “Eficiência energética na Iluminação Pública - Documento de Referência I,” *Parte I -Conceitos de Luminotecnica*, 2018.
- [38] Wikipédia, “Luminância,” 07 08 2019. [Online]. Available: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Lumin%C3%A2ncia>. [Acedido em 01 06 2020].
- [39] P. L. Pro, “Iluminação LED para o Exterior,” *Guia de Orientação*, Setembro 2017.
- [40] J. G. M. T. M. Katharina Lorenz, “Díodos emissores de luz e iluminação”.*Para os físicos e amigos da física..*
- [41] Wikipédia, “Telegestão,” [Online]. Available: <https://pt.wikipedia.org/wiki/TelegestãoWi>. [Acedido em 20 02 2022].
- [42] A. P. d. Ambiente, “Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030 (PNEC 2030),” DEZEMBRO 2019.
- [43] A. -A. P. d. Ambiente, “Fator de emissão da Eletricidade 2022,” 01 03 2022.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## **Anexos**

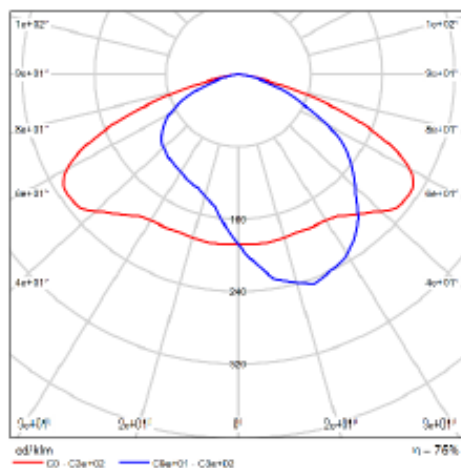
# Anexo A – Luminária equipada com lâmpada de sódio

## Folha de dados do produto

PHILIPS SGS253 FG 1xSON70W OR P5X



P	80.0 W
$\Phi_{\text{Lâmpada}}$	5600 lm
$\Phi_{\text{Luminária}}$	4213 lm
$\eta$	75.23 %
Rendimento luminoso	52.7 lm/W
CCT	3000 K
CRI	100



CDL polar

Iridium – lighting the road ahead Iridium is a family of road-lighting luminaires designed for three main applications – residential areas and minor roads, major roads and motorways. Its modularity allows the integration of optical or electronic components in order to adapt to the changing demands of road lighting, e.g. the growing demand for white light and controls. Iridium ensures low cost of ownership thanks to its superior optics, dimming and Telemanagement capability, and ease of installation and maintenance.

The Iridium luminaire family includes MASTERColour CDM Elite MW, CosmoPolls and LED-enabled versions. It comes in four different sizes – for mounting heights from 3.5 to 12 meters – and is suitable for side-entry and post-top mounting. A full range of brackets ensures visual consistency between the column and the gently rounded luminaire, making Iridium a total solution.

Each Iridium luminaire is fully recyclable; only the light source and driver have to be recycled separately.

Rua 3 · Alternativa 3

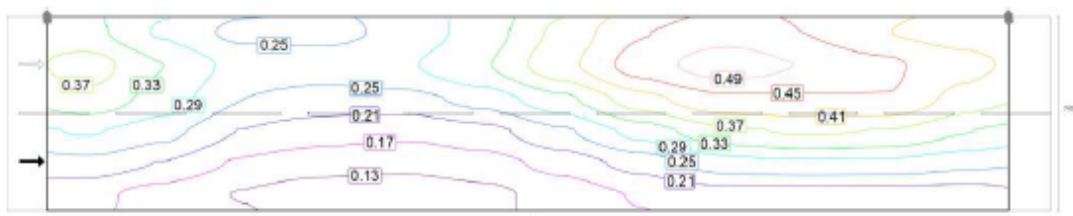
**Pista de rodagem 1 (M4)**

Resultados para o campo de avaliação

	Tamanho	Calculado	Nominal	Check
Pista de rodagem 1 (M4)	$L_m$	0.27 cd/m <sup>2</sup>	≥ 0.75 cd/m <sup>2</sup>	✗
	$U_o$	0.37	≥ 0.40	✗
	$U_l$	0.49	≥ 0.60	✗
	TI	6 %	≤ 15 %	✓
	$R_{gl}$	0.47	≥ 0.30	✓

Resultados para o observador

	Tamanho	Calculado	Nominal	Check
Observador 1 Posição: -60.000 m, 1.750 m, 1.500 m	$L_m$	0.29 cd/m <sup>2</sup>	≥ 0.75 cd/m <sup>2</sup>	✗
	$U_o$	0.38	≥ 0.40	✗
	$U_l$	0.49	≥ 0.60	✗
	TI	4 %	≤ 15 %	✓
Observador 2 Posição: -60.000 m, 5.250 m, 1.500 m	$L_m$	0.27 cd/m <sup>2</sup>	≥ 0.75 cd/m <sup>2</sup>	✗
	$U_o$	0.37	≥ 0.40	✗
	$U_l$	0.51	≥ 0.60	✗
	TI	6 %	≤ 15 %	✓



Observador 1: Valor de manutenção de luminância com via de rodagem seca [cd/m<sup>2</sup>] (Linhas de isolux)

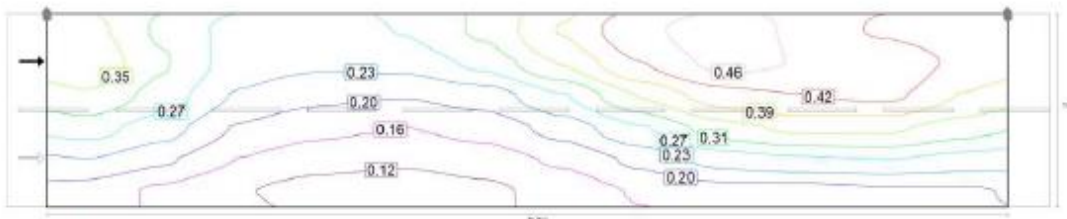


Observador 1: Luminância com instalação nova [cd/m<sup>2</sup>] (Grelha de valores)

m	1.458	4.375	7.292	10.208	13.125	16.042	18.958	21.875	24.792	27.708	30.625	33.542
6.417	0.52	0.43	0.36	0.36	0.39	0.46	0.57	0.67	0.71	0.68	0.62	0.59
5.250	0.58	0.49	0.41	0.40	0.43	0.49	0.60	0.71	0.77	0.73	0.69	0.63
4.083	0.53	0.47	0.37	0.35	0.35	0.40	0.48	0.60	0.66	0.66	0.67	0.59
2.917	0.44	0.40	0.31	0.28	0.27	0.29	0.37	0.46	0.54	0.56	0.55	0.50
1.750	0.35	0.31	0.24	0.22	0.21	0.23	0.28	0.34	0.41	0.42	0.42	0.39
0.583	0.27	0.23	0.19	0.17	0.16	0.18	0.22	0.26	0.29	0.29	0.29	0.29

Observador 1: Luminância com instalação nova [cd/m<sup>2</sup>] (Tabela de valores)

	L <sub>m</sub>	L <sub>min</sub>	L <sub>max</sub>	g <sub>1</sub>	g <sub>2</sub>
Observador 1: Luminância com instalação nova	0.43 cd/m <sup>2</sup>	0.16 cd/m <sup>2</sup>	0.77 cd/m <sup>2</sup>	0.378	0.213



Observador 2: Valor de manutenção de luminância com via de rodagem seca [cd/m<sup>2</sup>] (Linhas de isolux)

## Anexo B– LED 2

Rua 4 · Alternativa 4

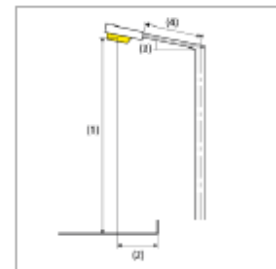
### Resumo (em direcção EN 13201:2015)



Fabricante	PHILIPS	P	100.0 W
Nº do artigo		$\Phi_{\text{Lámpada}}$	17000 lm
Nome do artigo	BGP762 T25 1 xLED170-4S/740 DM10	$\Phi_{\text{Luminária}}$	15226 lm
Equipagem	1x LED170-4S/740	$\eta$	89.56 %

BGP762 T25 1 xLED170-4S/740 DM10 (unilateral em baixo)

Distância entre postes	35.000 m
(1) Altura de ponto de luz	8.000 m
(2) Saliência de ponto de luz	0.000 m
(3) Inclinação de braço extensor	0.0°
(4) Comprimento braço extensor	0.000 m
Horas de funcionamento anual	4000 h: 100.0 %, 100.0 W
Consumo	2900.0 W/km
ULR / ULOR	0.00 / 0.00
Intensidades luminosas máx. Em todas as direcções que, em uma luminária correctamente instalada, formam o ângulo dado com as verticais inferiores.	$\geq 70^\circ$ : 586 cd/klm $\geq 80^\circ$ : 99.5 cd/klm $\geq 90^\circ$ : 0.00 cd/klm
Classe de potência luminosa Os valores de intensidade luminosa em [cd/klm] para o cálculo da classe de intensidade luminosa referem-se ao fluxo luminoso das luminárias de acordo com EN 13201:2015.	G*3
Classe de índice de encandeamento	D.5



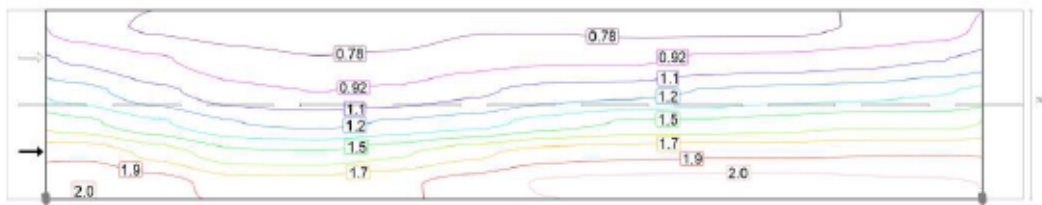
Rua 4 · Alternativa 4  
**Pista de rodagem 1 (M4)**

Resultados para o campo de avaliação

	Tamanho	Calculado	Nominal	Check
Pista de rodagem 1 (M4)	$L_{eq}$	1.31 cd/m <sup>2</sup>	≥ 0.75 cd/m <sup>2</sup>	✓
	$U_o$	0.55	≥ 0.40	✓
	$U_l$	0.80	≥ 0.60	✓
	TI	14 %	≤ 15 %	✓
	$R_{ef}$	0.67	≥ 0.30	✓

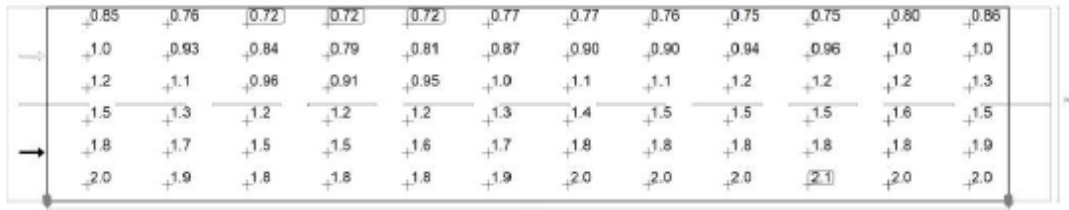
Resultados para o observador

	Tamanho	Calculado	Nominal	Check
Observador 1 Posição: -60.000 m, 1.750 m, 1.500 m	$L_{eq}$	1.31 cd/m <sup>2</sup>	≥ 0.75 cd/m <sup>2</sup>	✓
	$U_o$	0.55	≥ 0.40	✓
	$U_l$	0.80	≥ 0.60	✓
	TI	14 %	≤ 15 %	✓
	Observador 2 Posição: -60.000 m, 5.250 m, 1.500 m	$L_{eq}$	1.43 cd/m <sup>2</sup>	≥ 0.75 cd/m <sup>2</sup>
$U_o$		0.55	≥ 0.40	✓
$U_l$		0.83	≥ 0.60	✓
TI		11 %	≤ 15 %	✓



Observador 1: Valor de manutenção de luminância com via de rodagem seca [cd/m<sup>2</sup>] (Linhas de isolux)

Projeto Integrado de eficiência energética do sistema de IP

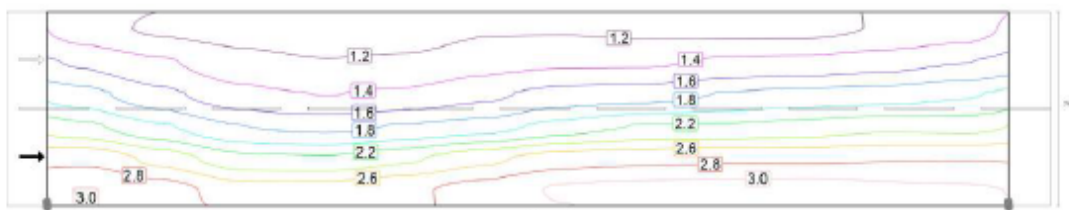


Observador 1: Valor de manutenção de luminância com via de rodagem seca [cd/m<sup>2</sup>] (Grelha de valores)

m	1.458	4.375	7.292	10.208	13.125	16.042	18.958	21.875	24.792	27.708	30.625	33.542
6.417	0.85	0.76	0.72	0.72	0.72	0.77	0.77	0.76	0.75	0.75	0.80	0.86
5.250	1.03	0.93	0.84	0.79	0.81	0.87	0.90	0.90	0.94	0.96	1.00	1.05
4.083	1.23	1.09	0.96	0.91	0.95	1.02	1.10	1.13	1.19	1.23	1.25	1.31
2.917	1.49	1.33	1.19	1.15	1.19	1.25	1.38	1.46	1.47	1.51	1.56	1.55
1.750	1.82	1.67	1.50	1.47	1.56	1.69	1.79	1.82	1.83	1.83	1.85	1.85
0.583	2.00	1.92	1.79	1.79	1.83	1.91	2.01	2.04	2.04	2.06	2.02	2.01

Observador 1: Valor de manutenção de luminância com via de rodagem seca [cd/m<sup>2</sup>] (Tabela de valores)

	$L_m$	$L_{min}$	$L_{max}$	$g_1$	$g_2$
Observador 1: Valor de manutenção de luminância com via de rodagem seca	1.31 cd/m <sup>2</sup>	0.72 cd/m <sup>2</sup>	2.06 cd/m <sup>2</sup>	0.548	0.348



Observador 1: Luminância com instalação nova [cd/m<sup>2</sup>] (Linhas de isolux)