



# A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA APLICADA À ILUMINAÇÃO PÚBLICA DAS AUTOESTRADAS CASO DE ESTUDO DAS A27 E A28

**JOÃO MANUEL ALCOBIA CAMAÑO NOBRE GOUVEIA**

setembro de 2022

# A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA APLICADA À ILUMINAÇÃO PÚBLICA DAS AUTOESTRADAS: CASO DE ESTUDO DAS A27 E A28

João Manuel Alcobia Camaño Nobre Gouveia



Departamento de Engenharia Eletrotécnica  
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia  
**2022**



Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de  
TEDSEE – Dissertação/Estágio do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas  
Elétricos de Energia

Candidato: João Manuel Alcobia Camaño Nobre Gouveia, Nº 1141291,  
1141291@isep.ipp.pt

Orientação científica: Teresa Alexandra Nogueira, tan@isep.ipp.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica  
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia  
**2022**



Para Sempre...



## *Agradecimentos*

O desenvolvimento desta dissertação não seria possível sem a ajuda e apoio da minha família, nomeadamente a minha mulher.

Agradecer ao apoio e dedicação da Eng.<sup>a</sup> Teresa Nogueira, orientadora da minha dissertação, pela ajuda e paciência e perseverança ao longo de todo este processo.

Agradecer aos meus colegas da empresa SONERES – Iluminação Pública, S.A., pela ajuda e ferramentas disponibilizadas ao longo de todos estes processos.

Por fim, agradecer a disponibilidade e ajuda da empresa Auto - Estradas Norte Litoral - Sociedade Concessionária - Aenl, S.A, pela disponibilização dos dados, para a realização do caso de estudo.

## *Resumo*

O aumento dos custos associados ao consumo de energia e o crescimento da tecnologia *LED*, aplicado à iluminação, tem vindo a fomentar o desenvolvimento de luminárias *LED* cada vez mais eficientes, permitindo aos decisores optarem pela transição das luminárias de tecnologia convencional por tecnologia *LED*.

Dada a relevância desta temática, a presente dissertação tem como objetivo o estudo da transição energética aplicado à iluminação pública das autoestradas, tendo como caso de estudo as autoestradas A27 e A28. Tem como objetivo determinar as melhores estratégias para potenciar a eficiência energética, mantendo o conforto e a segurança dos utilizadores. De modo a alcançar os respetivos objetivos, serão necessários realizar alguns estudos de cariz mais técnico e económico, através da realização de estudos luminotécnicos e de estudos de viabilidade económica das soluções apresentadas. O caso de estudo apresentado será referente a um período de 20 anos, de modo a avaliar os ganhos obtidos a longo prazo, com a transição energética das luminárias.

As poupanças geradas com a substituição das luminárias de VSAP para *LED*, são a redução do consumo energético em cerca de 58%, correspondente a 629 MWh/ano, com uma redução próxima de 120 000 € anuais na fatura de energia e uma redução de emissões de CO<sub>2</sub> de 295 toneladas. Em termos de custos de manutenção, ao fim de 20 anos estas poderão gerar poupanças na ordem dos 470 000 €. No estudo económico-financeiro efetuado para o período de 20 anos, obteve-se uma TIR de 12 %, um VAL próximo dos 800 000€, sendo o investimento recuperado (*Payback Period*) nos primeiros 6 anos e 2 meses aproximadamente, sendo que o projeto apresenta uma taxa de rentabilidade de 1,16.

### *Palavras-Chave*

Iluminação Pública, Luminárias *LED*, Luminárias VSAP, Eficiência Energética, Estudo Luminotécnico, Estudo de Viabilidade Económica.

## *Abstract*

The increase in costs associated with energy consumption and the growth of LED technology, applied to lighting, has fostered the development of increasingly efficient LED luminaires, allowing decision-makers to opt for the transition from conventional luminaires to LED technology.

Given the relevance of this theme, this dissertation aims to study the energy transition applied to public lighting on highways, taking the A27 and A28 highways as a case study. Its objective is to determine the best strategies to enhance energy efficiency, while maintaining user comfort and safety. To achieve the respective objectives, it will be necessary to carry out some studies of a more technical and economic nature, by carrying out lighting studies and economic feasibility studies of the solutions presented. The case study presented will refer to a period of 20 years, to evaluate the gains obtained in the long term, with the energy transition of the luminaires.

The savings generated with the replacement of VSAP luminaires for LED, are the reduction of energy consumption by around 58%, corresponding to 629 MWh/year, with a reduction of close to 120 000 € per year in the energy bill and a reduction in emissions of CO<sub>2</sub> of 295 tons. In terms of maintenance costs, after 20 years they could generate savings of around €470,000. In the economic-financial study carried out for a period of 20 years, an IRR of 12% was obtained, a NPV close to €800,000, with the investment being recovered (Payback Period) in the first 6 years and 2 months approximately, and the project has a rate of return of 1.16.

### ***Keywords***

Public Lighting, LED Luminaire, VSAP Luminaire, Energy Efficiency, Lighting Study, Economic Feasibility Study.

# Índice

<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>I</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>II</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1.ENQUADRAMENTO .....	1
1.2.OBJETIVOS.....	2
1.3.ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO.....	2
<b>2. CARATERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE IP.....</b>	<b>5</b>
2.1.CONCEITOS LUMINOTÉCNICOS .....	5
2.2.A FONTE DE LUZ .....	10
2.3.SISTEMAS DE CONTROLO E REGULAÇÃO DE LUZ.....	15
2.4.A ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....	21
2.4.1.Clases de Iluminação e níveis mínimos de referência.....	22
2.4.2.Arquiteturas de Instalação em IP.....	26
2.5.INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA IP .....	28
<b>3. ILUMINAÇÃO PÚBLICA DAS AUTOESTRADAS: A27 E A28.....</b>	<b>31</b>
3.1.CARATERIZAÇÃO DA REDE DE IP.....	31
3.2.ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL: LUMINÁRIAS DE VSAP.....	33
3.3.DIMENSIONAMENTO COM LUMINÁRIAS LED.....	35
3.3.1.Metodologia de Cálculo.....	35
3.3.2.Configuração das Malhas de Cálculo.....	37
<b>4. RESULTADOS OBTIDOS: LUMINÁRIAS VSAP VERSUS LED.....</b>	<b>43</b>
4.1.CONSUMO ENERGÉTICO EXISTENTE VS. PROPOSTO.....	44
4.2.CUSTO ENERGÉTICO EXISTENTE VS. PROPOSTO .....	47
4.3.EMISSIONES DE CO <sub>2</sub> EXISTENTES VS. PROPOSTO .....	48
4.4.AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÓMICA DA SOLUÇÃO EXISTENTE VS. PROPOSTO .....	50
4.4.1.Custo de Aquisição e Manutenção da Solução Existente vs. Proposto.....	50
4.4.2.Indicadores Financeiros.....	52
4.4.3.Análise da Viabilidade Económica do Projeto.....	57
4.5.CENÁRIOS DE FUNCIONAMENTO.....	59

4.6. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS .....	62
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>65</b>
5.1. ANÁLISE CONCLUSIVA .....	65
5.2. PERSPETIVAS FUTURAS.....	67
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXO A. FLUXOGRAMA CLASSES DE ILUMINAÇÃO .....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO B. FATORES DE PESO DE CARATERIZAÇÃO DA IP .....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXO C. FICHA TÉCNICA LUMINÁRIA LUSA DA SONERES .....</b>	<b>75</b>
<b>ANEXO D. ESTUDO LUMINOTÉCNICO NÓ ENTRADA/SAÍDA AUTOESTRADA.....</b>	<b>83</b>
<b>ANEXO E. ESTUDO LUMINOTÉCNICO VIA PRINCIPAL AUTOESTRADA A.....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXO F. ESTUDO LUMINOTÉCNICO VIA PRINCIPAL AUTOESTRADA B .....</b>	<b>91</b>

## *Índice de Figuras*

Figura 1 – Fluxo Luminoso.	6
Figura 2 – Ângulo Sólido.	6
Figura 3 – Iluminância.	7
Figura 4 – Malha de cálculo com valores da iluminância horizontal.	8
Figura 5 - Luminância.	9
Figura 6 – Conceitos base da luminotecnia.	9
Figura 7 - Constituição típica de uma luminária LED	10
Figura 8 – Temperatura de Cor.	11
Figura 9 - Variação do CRI.	13
Figura 10 - Fator de manutenção de uma instalação IP.	14
Figura 11 - Topologias dos sistemas de controlo de IP.	16
Figura 12 - Exemplo de regime horário aplicado a uma luminária.	16
Figura 13 – Sistema de telegestão PLC (SUNDRAX Electronics, 2018).	18
Figura 14 - Rede Mesh	19
Figura 15 - Rede Estrela.	19
Figura 16 - Luminária com conector Nema ou Zhaga e luminária com antena.	20
Figura 17 - Sistema de telegestão GSM (SUNDRAX Electronics, 2018).	21
Figura 18 - Número de luminárias de VSAP na A27 e A28.	33
Figura 19 – Exemplo de configurações de pontos de luz da A27 e A28.	34

Figura 20 – Malha de Cálculo Nó de entrada/saída.	37
Figura 21 – Malha de cálculo Via Principal A.	39
Figura 22 – Malha de cálculo Voa Principal B.	40
Figura 23 - Relação entre os custos energéticos da solução existente vs. Proposta.	48
Figura 24 – Relação entre emissões de CO <sub>2</sub> da solução existente vs. Proposta.	49
Figura 25 - Evolução dos custos associados à solução existente vs. proposta.	59

## *Índice de Tabelas*

Tabela 1 – Requisitos fotométricos classe de iluminação M.	23
Tabela 2 - Requisitos fotométricos classe de iluminação C (método da luminância).	24
Tabela 3 - Requisitos fotométricos classe de iluminação C (método da iluminância).	25
Tabela 4 - Requisitos fotométricos classe de iluminação P.	26
Tabela 5 – Esquematisações usuais da disposição dos postes nas vias de circulação	27
Tabela 6 - Classificação Energética instalação IP largura via superior a 6m.	29
Tabela 7 - Classificação Energética instalação IP largura via inferior ou igual a 6m.	29
Tabela 8 - Rede IP da A27 e A28.	32
Tabela 9 – Relação de luminárias por cada autoestrada	34
Tabela 10 - Classe de via Nó Entrada/Saída e Via Principal Autoestrada A e B.	36
Tabela 11 – Definição da classe de iluminação de cada malha de cálculo.	37
Tabela 12 - Resultados malha de cálculo Nó Entrada/Saída Autoestrada	38
Tabela 13 - Resultados malha de cálculo Via Principal Autoestrada A	39
Tabela 14 - Resultados malha de cálculo Via Principal Autoestrada B	41
Tabela 15 - Relação luminárias VSAP e LED	44
Tabela 16 - Relação de luminárias de VSAP com regulação.	45
Tabela 17 - Regime horário luminárias <i>LED</i> .	45
Tabela 18 – Relação de consumos da solução existente vs proposta.	45
Tabela 19 - Consumos de energia anuais da solução existente vs proposta.	46
Tabela 20 - Custos anuais de energia da solução existente vs proposta.	47

Tabela 21 - Emissões CO2 anuais da solução existente vs. Proposta.	49
Tabela 22 - Custo de aquisição luminárias existentes vs. proposta.	51
Tabela 23 - Custos de manutenção inerente às luminárias de VSAP.	51
Tabela 24 - Custos de manutenção desgaste anual da solução existente vs. proposta.	52
Tabela 25 - Poupanças obtidas com substituição de tecnologia período de 20 anos.	57
Tabela 26 - Resultado do estudo económico–financeiro.	58

## *Siglas e Acrónimos*

VSAP	- Vapor de Sódio de Alta Pressão
LED	- <i>Light-Emitting Diode</i>
IP	- Iluminação Pública
A27	- Autoestrada nº 27
A28	- Autoestrada nº 28
CCT	- Temperatura de Cor Correlacionada
IM	- Iodetos Metálicos
DMA	- Diretiva de Materiais e Aparelhos
CRI	- Índice de Restituição Cromática
PLC	- <i>Power Line Communication</i>
GSM	- <i>Global System for Mobile Communications</i>
RF	- Radiofrequência
CCF	- Corta Circuitos Fusível
SPD	- <i>Surge Protection Device</i>
PCB	- Printed Circuit Board
IEE	- Índice de Eficiência Energética
DREEIP	- Documento de Referência de Eficiência Energética para a IP
CO <sub>2</sub>	- Dióxido de Carbono
TIR	- Taxa Interna de Rentabilidade
VAL	- Valor Atual Líquido

CFD - *Cash Flow* Descontados



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. ENQUADRAMENTO

O crescimento dos sistemas de iluminação nas autoestradas e o aumento dos custos associados à sua tecnologia, associados à necessidade de medidas de sustentabilidade energética, exigem das empresas o desenvolvimento de projetos de Iluminação Pública (IP) inovadores e competitivos. Torna-se necessário projetar luminárias com baixos custos de aquisição, operação e manutenção durante o seu ciclo de vida, ao mesmo tempo com elevada eficiência energética.

Em Portugal, a IP representa cerca de 3% do consumo global de energia elétrica (Parte I - & ANMP, 2018), apresentando atualmente um consumo de energia na casa dos 1,2 TWh (E-REDES, 2019), representando em alguns municípios um custo que pode ir até aos 50% do seu orçamento municipal. Estima-se que em todo o mundo, a IP represente 15% da energia produzida (INSTALADOR, 2021). Com a introdução da tecnologia *Light-Emitting Diode* (LED), quando bem implementada, esta pode representar uma redução na fatura de energia que pode ir até aos 40% (Bustorff, 2018), sendo a tecnologia LED uma solução viável e tem um papel fundamental para o aumento da sustentabilidade da iluminação das vias. Aos dias de hoje, o parque da IP possui mais de 3 milhões de pontos de luz instalados, sendo que as luminárias LED representam cerca de 15% de todo o parque (E-REDES, 2019), sendo que a taxa anual de crescimento se situa entre os 6 e 8%.

Na perspetiva de reduzir consumos e custos associados a estes sistemas de iluminação, a empresa Auto-Estradas Norte Litoral – Sociedade Concessionária está a realizar uma

transição energética das luminárias de tecnologia de Vapor de Sódio de Alta Pressão (VSAP) para a tecnologia *LED* nas duas autoestradas que intervenciona, nomeadamente a autoestrada nº 27 (A27) e a autoestrada nº 28 (A28). De modo a ir ao encontro das necessidades detetadas, será necessário realizar um levantamento global à rede concessionada, desenvolvendo metodologias de cariz técnico-económica e estudos luminotécnicos que sustentem a validação das soluções, obtendo resultados para diferentes cenários de funcionamento.

## **1.2. OBJETIVOS**

Esta dissertação tem como principal objetivo dar uma forte contribuição ao estudo da eficiência energética nos sistemas de iluminação em autoestradas, concretizando os seguintes objetivos:

- Revisão bibliográfica dos equipamentos e tecnologias;
- Exploração da análise técnica e energética da rede que alimenta as autoestradas a intervencionar;
- Desenvolvimento duma metodologia de cálculo para maximização da eficiência energética;
- Cálculo dos estudos luminotécnicos, pelo desenvolvimento duma ferramenta automática;
- Análise da viabilidade técnico-económica;
- Comparação de soluções e apoio ao decisor sobre os ganhos energéticos e o impacto ambiental.

## **1.3. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO**

Esta dissertação de mestrado está dividida em 5 capítulos, cujos temas abordados são os seguintes:

No capítulo 1 é realizada uma introdução a esta temática, realizando a devida contextualização da iluminação pública na transição energética. São também definidos os objetivos propostos de modo a satisfazer os requisitos desta dissertação, finalizando com a estrutura a que o documento está sujeito.

No capítulo 2 é realizado uma caracterização dos sistemas de IP, introduzindo alguns conceitos chave para a melhor leitura desta dissertação, bem como, a caracterização das

fontes de luz, os sistemas de controlo e regulação na IP, finalizando com a temática da eficiência energética na IP, onde serão explorados os indicadores de eficiência de uma rede IP.

O capítulo 3 é dedicado ao caso de estudo desta dissertação, são caracterizadas e dimensionadas as luminárias *LED* que iram substituir as luminárias de tecnologia convencional, são realizados estudos luminotécnicos para sustentação das opções.

No capítulo 4 é desenvolvido a análise de cariz mais técnico-económico das soluções encontradas e realizada uma análise global ao caso de estudo, com a introdução de diversos cenários para comparação.

O capítulo 5 é dedicado às conclusões finais obtidas com esta dissertação bem como apontadas oportunidades de melhoria na instalação de IP.



## 2. CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE IP

Este capítulo visa caracterizar os sistemas de IP LED, introduzindo os conceitos base da luminotecnia, que irão ser os pilares para uma mais fácil leitura do documento escrito. Será abordado o panorama atual da IP em Portugal, desde as normas que a regem até às boas práticas, na elaboração de um sistema IP.

### 2.1. CONCEITOS LUMINOTÉCNICOS

Na IP é necessário avaliar as diversas soluções de iluminação, estas grandezas irão definir parâmetros de qualidade de uma instalação de IP, bem como delinear a solução de iluminação mais eficiente para cada situação.

#### Fluxo Luminoso

Entende-se por fluxo luminoso, como a quantidade de luz emitida por uma fonte de luz, independentemente da sua tecnologia, em diversas direções, sendo captada pela visão

mesópica<sup>1</sup>, tendo o fluxo luminoso como unidade de medida o lúmen (E-REDES, 2016), conforme visualizado na Figura 1.

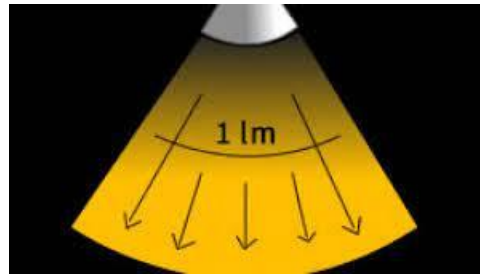


Figura 1 – Fluxo Luminoso.

O fluxo luminoso pode ser representado pela seguinte equação:

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

### Intensidade Luminosa

Pode-se caracterizar a intensidade luminosa, com unidade de medida o candela, como sendo o fluxo luminoso emitido, por uma fonte de luz, numa dada direção por unidade de ângulo sólido<sup>2</sup> nessa direção (Parte I - & ANMP, 2018), conforme pode ser visualizado na Figura 2.

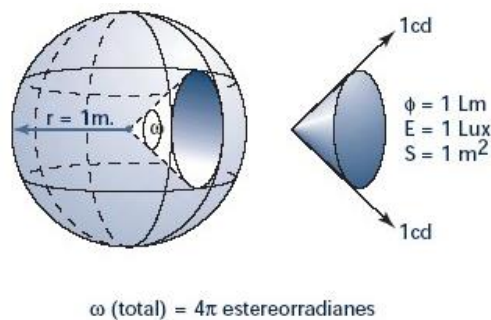


Figura 2 – Ângulo Sólido.

---

<sup>1</sup> Conjugação da visão fotópica e escotópica, que proporciona a adaptação da visão humana à noite com a IP ligada (E-REDES, 2016).

<sup>2</sup> O ângulo sólido é definido como “aquele que, quando visto no centro de uma esfera, percorre uma dada área sobre superfície dessa esfera” (Parchão, 2019).

Uma fonte de luz não consegue irradiar a mesma energia luminosa em todas as direções, sendo que para tal acontecer o espectro de luz seria distribuído de uma forma esférica.

A intensidade luminosa é representada pela seguinte equação:

$$I = \frac{\phi}{W} \quad (2)$$

em que:

I – Intensidade luminosa, cd;

$\phi$  – Fluxo luminoso, lm;

W – Ângulo sólido, °;

### Iluminância

A iluminância tem como unidade de medida o lux sendo um dos parâmetros mais importantes, no dimensionamento da instalação de IP. Este é definido com sendo o quociente entre a fluxo luminoso emitido, por uma fonte de luz, incidente numa dada superfície e a área a mesma(Parte I - & ANMP, 2018), conforme pode ser visualizado na Figura 3.

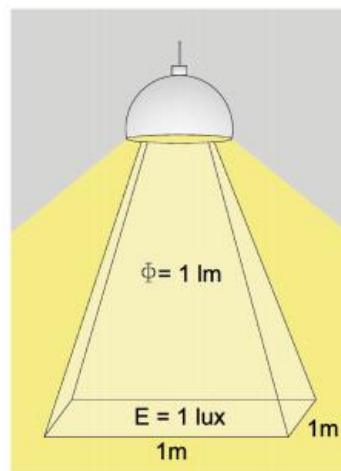


Figura 3 – Iluminância.

A iluminância é um do parâmetro que pode ser medido, facilmente, no local da instalação IP, através de um luxímetro, permitindo assim uma primeira análise do estado da IP. Tipicamente esta medição é caracterizada por iluminância horizontal, sendo esta medida ao nível do plano de uso, sendo que na IP este é medido ao nível do solo, em cada ponto definido

na área de medição, de modo a poder obter um valor médio da instalação, conforme pode ser visualizado na Figura 4.

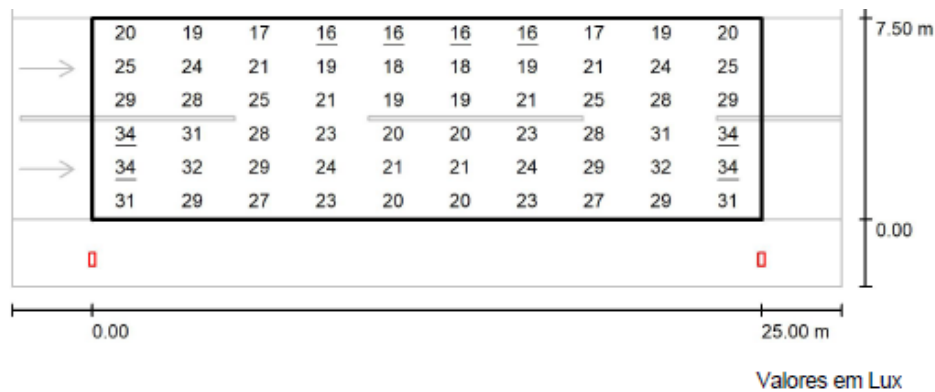


Figura 4 – Malha de cálculo com valores da iluminância horizontal.

A iluminância pode ser representada pela seguinte equação:

$$E = \frac{\phi}{A} \quad (3)$$

em que:

E – Iluminância, lux;

$\phi$  – Fluxo luminoso, lm;

A – Área de uma dada superfície, m<sup>2</sup>;

Além da iluminância horizontal, também é possível calcular a iluminância vertical<sup>3</sup>, semicilíndrica e hemisférica.

## Luminância

A luminância é definida pelo coeficiente entre a densidade da intensidade luminosa refletida numa dada direção, que descreve a quantidade de luz que é emitida por uma superfície (Parte I - & ANMP, 2018). Por outras palavras, é luz proveniente da superfície como é percebida

<sup>3</sup> Medida a 1,5 metros acima da via. Tem como objetivo principal tornar visível as proporções e limites espaciais. Pode em certos casos complementar o projeto de iluminação, cada uma à sua maneira. Utilizado na IP, como um dos fatores de avaliação do dimensionamento de luminárias para a iluminação de passadeira de peões ou para reconhecimento facial (Parte II - CPI; OE; OET; RNAE; DGEG; ANMP, 2018).

pelo olho humano. Este valor poderá ser bastante volátil, pois é influenciado por diversos fatores, desde a idade da pessoa, o material da superfície refletora, a distância a que se encontra do ponto de calculo, entre outros fatores. Podemos visualizar o conceito da luminância através da Figura 5.

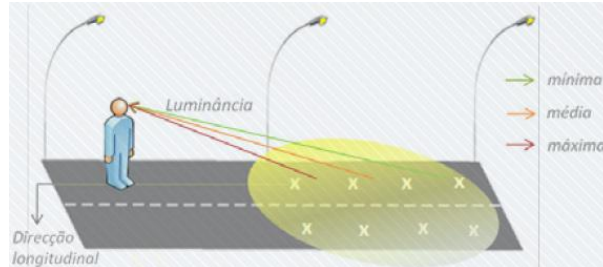


Figura 5 - Luminância.

Ao contrário da iluminância, este parâmetro apesar de ser é um dos principais fatores no dimensionamento de soluções de IP, não permite ser obtido de uma forma prática no local da instalação de IP, sendo este valor calculado, através de um *software* dedicado para o efeito. A unidade de medida da luminância é a candela por metro quadrado (cd/m<sup>2</sup>).

A luminância pode ser representada pela seguinte equação:

$$L = \frac{I}{A \times \cos(\theta)} \quad (4)$$

em que:

L – Luminância, cd/m<sup>2</sup>;

Em modo resumo, a conjugação destes quatro fatores, visualizados na Figura 6, irão determinar todos os aspetos daqui a diante, no dimensionamento de soluções de IP.

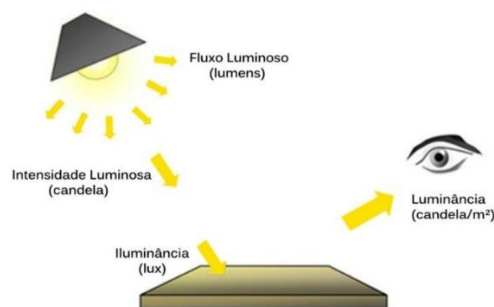


Figura 6 – Conceitos base da luminotecnia.

## 2.2. A FONTE DE LUZ

A fontes de luz na IP são compostas por luminárias de tecnologia convencionais (VSAP, iodetos metálicos (IM), entre outros) e *LED*, ao longo dos últimos anos, as luminárias *LED* têm vindo a ganhar cada vez maior espaço no parque de IP em Portugal, representando aos dias de hoje cerca de 15% de todas as luminárias instaladas em Portugal, com taxas de crescimento entre 6 e 8% ao ano (E-REDES, 2019).

### Constituição de uma luminária *LED*

As luminárias *LED* ao contrário das luminárias de tecnologia convencional, não necessita de lâmpadas, condensadores<sup>4</sup>, ignitores<sup>5</sup>, balastos<sup>6</sup>, entre outros componentes. A luminária *LED* tipicamente é constituída pelos elementos mencionados na Figura 7.

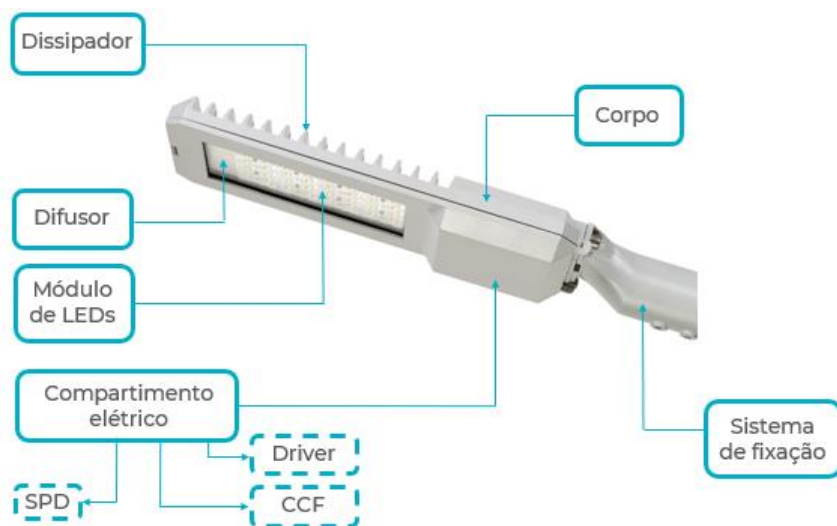


Figura 7 - Constituição típica de uma luminária LED

---

<sup>4</sup> Normalmente colocado em paralelo no circuito do balastro e tem a função de aumentar o fator de potência.

<sup>5</sup> Assegura o pré-aquecimento dos elétrodos da lâmpada, irá gerar impulsos de tensão de modo a proporcionar o início da descarga da lâmpada.

<sup>6</sup> Equipamento inserido entre a rede de alimentação e uma lâmpada de descarga, cuja função principal é limitar a corrente para valores exigidos a um funcionamento adequado da lâmpada.

O corpo ou carcaça da luminária *LED* é produzido, aos dias de hoje, tipicamente em alumínio devido à sua durabilidade e capacidade de dissipação do calor, sendo que dentro desta gama, o mesmo pode ser injetado, fundido, laminado. O difusor da luminária usualmente é constituído em vidro temperado, polimetacrilato ou em policarbonato. O dissipador do calor produzido pela luminária pode ser interno ou externo à mesma. O sistema de fixação da luminária à coluna por ser feito via um encabadouro ou por um sistema de regulação angular, do tipo rótula. O compartimento elétrico da luminária pode albergar diversos dispositivos, sendo que os mais habituais são o *driver* (fonte de alimentação), o corta circuito fusível (CCF) e o *Surge Protection Device* (SPD). O compartimento ótico alberga o módulo *LED* da luminária, que inclui o *Printed circuit board* (PCB) e as lentes dos *LEDs*.

### Temperatura de Cor Correlacionada

A temperatura de cor correlacionada (CCT) ou simplesmente temperatura de cor, tem como unidade de medida o *Kelvin* (K) e é definida como “*Característica da luz visível, determinada pela comparação da sua saturação cromática com um corpo negro radiante ideal*” (E-REDES, 2016), ou seja, é um parâmetro que permite a classificação do tipo de luz emitido pela luminária. A CCT foi uma das características que maior evolução teve com a introdução da tecnologia *LED* devido à facilidade da escolha da CCT. Apesar das luminárias convencionais terem CCT diferentes consoante o tipo de lâmpada utilizada, estas ficavam limitadas a intervalos de operação muito curtos. No caso das lâmpadas de VSAP estas operavam entre os 2600 e 3200 K e as luminárias de IM operam entre os 3300 e 5500 K. Por sua vez, as luminárias *LED*, conseguem operar com um intervalo bastante superior, podendo ir dos 2200 e 10000K (E-REDES, 2016). A diferença entre as diversas CCT por ser visualizada pela Figura 8.

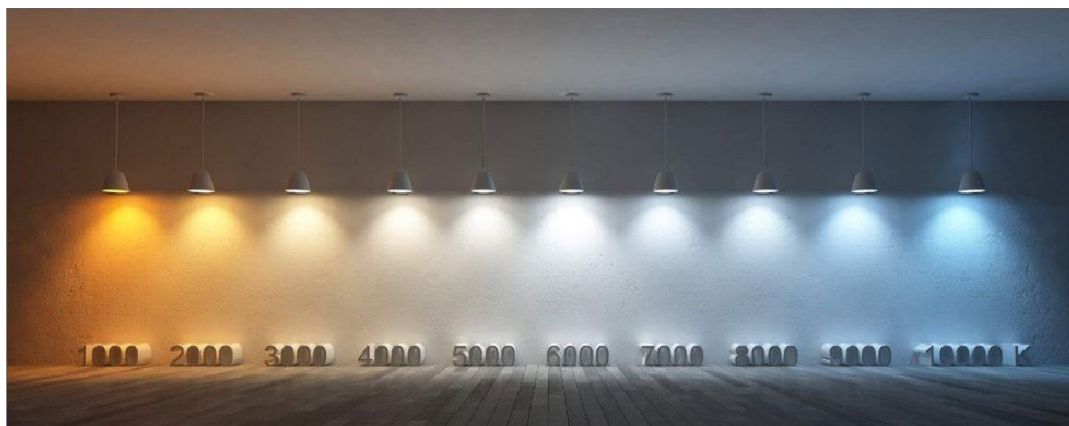


Figura 8 – Temperatura de Cor.

Na IP são definidas três gamas de temperatura de cor:

- Branco Quente:  $CCT < 3300\text{ K}$
- Branco Neutro:  $3300\text{ K} \leq CCT \leq 5000\text{ K}$
- Branco Frio:  $CCT > 5000\text{ K}$

A E-REDES<sup>7</sup>, publicou a Diretiva de Materiais de Aparelhos de Iluminação Elétrica e Acessórios (DMA-C71-111/N), definindo com prática comum, utilizar luminárias uma CCT de 4000 K para iluminar vias de circulação automóvel e CCT de 3000 K para iluminar jardins e parques (E-REDES, 2017). É possível visualizar que alguns municípios, optam por luminárias *LED*, com uma CCT cada vez mais baixas, sendo que existem estudos que demonstram uma melhoria na saúde das pessoas (Maierová, 2018).

### Índice de Restituição Cromática

O índice de restituição cromática (CRI) ou índice de restituição de cor, é definido como “A capacidade que uma fonte de possui em restituir fielmente as cores de um objeto ou de uma superfície iluminada” (E-REDES, 2016). A máxima fidelidade de restituição de cor de um objeto iluminado é de 100, sendo que a mínima fidelidade de restituição de cor de um objeto iluminado é de 0. As fontes de luz *LED*, também introduziram alguma flexibilidade neste campo, pois as tecnologias convencionais apresentam CRI que se situam entres os 20 e 40 em lâmpadas de VSAP e 80 a 90 nas lâmpadas de IM. As fontes de luz *LED* apresentam uma maior flexibilidade relativamente a estas tecnologias à semelhança do CCT, sendo que podem operar em CRI, dos 20 aos 90 (Parchão, 2019). A variação do CRI pode ser visualizada na Figura 9.

---

<sup>7</sup> Antiga EDP Distribuição, é a entidade responsável pela rede de distribuição pública de iluminação em Portugal, define as características e ensaios, dos quais as luminárias têm de obedecer de modo a poderem ser instaladas nesta rede pública.



Figura 9 - Variação do CRI.

A E-REDES define um CRI de 70 para as luminárias a instalar na rede de IP, sendo que em alguns municípios começa a ser prática utilizar *LEDs* com um CRI de 80.

### Tempo de Vida Útil *LED*

A vida útil do *LED* é representada pelo período desde o início do funcionamento até à perda de uma determinada percentagem do fluxo luminoso inicial, ou seja, uma depreciação do fluxo luminoso (Parte I - & ANMP, 2018). Este fator é dividido em duas parcelas, a percentagem de fluxo luminoso mantido, face ao inicial ( $L_x$ ) e a percentagem da redução do fluxo luminoso ( $B_y$ ), ou seja, a percentagem de *LEDs* que se situam abaixo de um certo nível de fluxo luminoso incluído os que possam estar apagados.

Por exemplo, um L90B10 às 100.000 horas de funcionamento, com uma temperatura ambiente de 25°C, indica-nos que após as 100.000 horas de funcionamento, pelo menos 10% da população dos *LEDs*, terá um valor de fluxo luminoso inferior a 90% do fluxo inicial, ou estarão apagados, sendo que a restante população mantém valores iguais ou superiores a 90% do fluxo luminoso inicial.

### Eficácia Luminosa

A eficácia luminosa é o quociente entre o fluxo luminoso emitido pela fonte de luz e a potência elétrica por ela absorvida. A unidade de medida da eficácia luminosa é os lumens por Watt. Este parâmetro é um dos principais indicadores para comparação de soluções de iluminação (E-REDES, 2016).

A eficácia luminosa pode ser representada pela seguinte equação:

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad (4)$$

em que:

$\eta$  – Eficácia luminosa, lm/W;

P – Potência absorvida, W;

Quando as luminárias *LEDs* foram introduzidos na rede de IP em Portugal, estas apresentavam valores que poderiam rondar os 60 lm/W, níveis bastantes inferiores aos que são praticados aos dias de hoje, sendo espectável que em 2025, as luminárias possuam eficácias globais superiores a 200lm/W (E-REDES, 2019).

### Fator de Manutenção

O fator de manutenção de uma instalação IP, é definido pelo rácio da iluminância num determinado tempo e a iluminância inicial daquela instalação (Parte I - & ANMP, 2018), conforme pode ser visualizado na Figura 10.

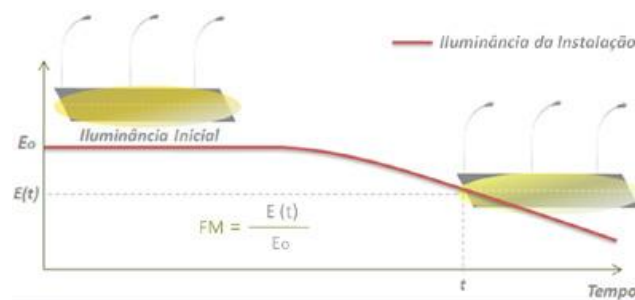


Figura 10 - Fator de manutenção de uma instalação IP.

Este parâmetro pode afetar de maneira significativa o dimensionamento de uma instalação IP, quer pela potência da fonte de luz, bem como o distancia entre estes, podendo influenciar o número total de pontos de luz que uma instalação IP.

O fator de manutenção de uma instalação IP, pode ser representado pela seguinte equação:

$$FM = FMLL + FSL + FML \quad (5)$$

em que:

FM – Fator de manutenção;

FMLL – Fator de luminosidade da lâmpada;

FSL – Fator de sobrevivência da lâmpada;

FML – Fator de manutenção da luminária;

O FMLL à semelhança do FM, este apresenta o rácio do fluxo luminoso da fonte de luz num certo momento com o inicial. O FSL representa o número global de lâmpadas que continuam a funcionar após um certo período e sob determinadas condições de funcionamento. O FML representa o rácio do fluxo luminoso emitido pela luminária num certo período com o fluxo luminoso inicial emitido.

### Proteção contra a penetração de poeiras, corpos sólidos e humidade

Este parâmetro é representado pelas siglas IP, que significa “Proteção de Ingresso”, estabelece os requisitos que classificam, os equipamentos elétricos, eletrónicos e afins, consoante a sua classificação dos diferentes graus de proteção do invólucro contra elementos externos, sendo neste caso aplicado a agentes sólidos e água. Este parâmetro irá definir o grau de proteção através de dois algarismos, sendo que o primeiro representa os agentes sólidos externos, que varia de 0 a 8 e o segundo algarismo representa a resistência penetração de água, que varia de 0 a 8 (Neutro à Terra, 2021).

### Proteção contra impactos mecânicos externos

Este parâmetro é representado pelas siglas IK, estabelece a resistência mecânica dos sistemas a impactos nocivos ao ponto de o poder danificar. À semelhança do índice de proteção IP, o IK varia de 0 (resistência mínima) a 10 (resistência máxima), sendo que para a determinação deste parâmetro é preciso de ter em consideração a altura do impacto, o peso do objeto que irá provocar o dano e a energia exercida pelo mesmo (Neutro à Terra, 2021).

## **2.3. SISTEMAS DE CONTROLO E REGULAÇÃO DE LUZ**

Os sistemas de controlo e regulação de iluminação, são dispositivos que regulam a operação através de um sinal externo, são cada vez mais importantes numa instalação IP, pois visam a otimizar os custos associados aos consumos de energia das fontes de luz, através de dispositivos que regulam, gerem e monitorizam a operação do sistema de iluminação. Quando bem implementados, estes sistemas apresentam ganhos significativos de poupança energética, sem que a segurança e conforto dos seus utilizadores fique em causa.

A gestão do controlo dos sistemas de regulação na IP pode ser individualizada ou em grupo, no primeiro caso, o controlo e monitorização é feito de forma independente para cada ponto de luz, no segundo caso, vários pontos de luz são controlados no armário central do sistema de iluminação.

Os sistemas de controlo e regulação podem ser subdivididos em dois grupos, um grupo de controlo autónomo e um grupo de controlo centralizado, conforme visualizado na Figura 11 (Cruzeiro, 2021).

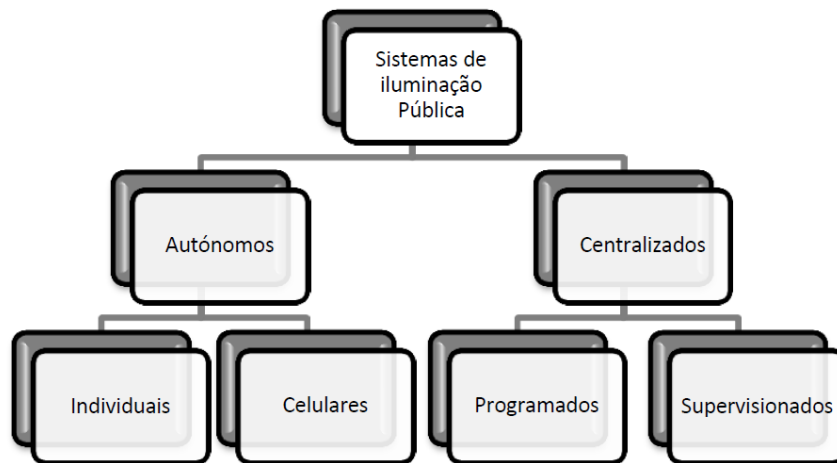


Figura 11 - Topologias dos sistemas de controlo de IP.

### Sistema “Stand Alone”

O sistema “*stand alone*” é o método mais simples para ligar e desligar os equipamentos de iluminação, através do relógio astronómico ou das células fotoelétricas (Parte I - & ANMP, 2018). Estes sistemas respeitam o horário estabelecido ao longo de todo o ano, adaptando o regime do horário de verão para o regime horário de inverno e vice-versa. O sistema “*stand alone*” também permite que as luminárias detenham um regime horário pré-programado de fábrica, com diversos patamares de regulação de fluxo luminoso ao longo da noite, conforme pode ser visualizado na Figura 12.

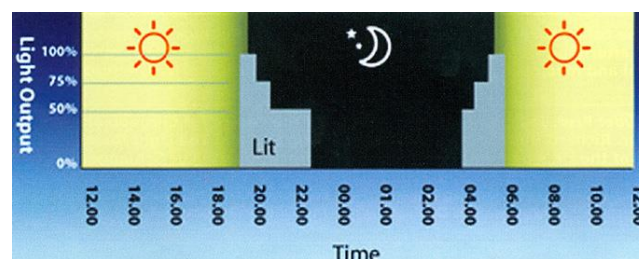


Figura 12 - Exemplo de regime horário aplicado a uma luminária.

De modo a ser exequível realizar esta operação, as luminárias *LED* têm de ser dotadas de um *driver*, que opere com um protocolo de comunicação *DALI*, 1-10V, 0-10V, entre outros. O sistema “*stand alone*” apresenta algumas limitações no caso de o operador pretender alterar o regime horário da luminária, este deve ir individualmente a cada luminária

reprogramar o sistema, o que torna pouco atrativo e bastante oneroso a sua alteração após a instalação da luminária no local.

Atendendo que este sistema apresenta algumas limitações na sua operação a longo prazo, com a migração da IP para a tecnologia *LED*, são utilizados sistemas de telegestão, que permitem uma gestão e controlo remoto dos sistemas de IP, o que os torna mais dinâmicos, eficientes e sustentáveis.

### Sistema de Telegestão

Um sistema de telegestão na IP é definido como um equipamento de telecomunicações que permite o controlo e monitorização do sistema de iluminação que visa a facilitar a interação com o utilizador, sendo que a operação do sistema é remota, através de um *software* dedicado para o efeito, permitindo que as luminárias sejam controladas individualmente ou em grupo. Os sistemas de telegestão podem significar poupanças energéticas, para os municípios, na ordem dos 70% em relação aos consumos atuais (Branco, 2010).

Os sistemas de telegestão têm como principais vantagens:

- A redução dos custos de exploração;
- O uso racional e eficiente da energia;
- Melhoria da qualidade do serviço ao utilizador;
- Prolongamento da vida útil das luminárias;
- Base de dados centralizada para melhor gestão e monitorização dos sistemas.

Atualmente existem diversas arquiteturas de sistemas de telegestão, sendo que os sistemas mais utilizados são o *Power Line Communication (PLC)*, *Wireless* ou radiofrequência (RF) e *Global System for Mobile Communications (GSM)*. Conforme mencionado anteriormente, todos os sistemas de telegestão o *driver* deve possuir um protocolo de comunicação *DALI*, 1-10V, 0-10V ou equivalente.

## Sistema de telegestão via PLC

O sistema PLC é uma tecnologia de controlo remoto e transmissão de dados, sendo o sinal de comunicação transmitido pelas linhas de energia de baixa tensão, sendo posteriormente o sinal desacoplado da distribuição de energia, usando para o efeito indutâncias de filtragem apropriadas (SUNDRAX, 2018). De modo que o sistema seja funcional, deve possuir um controlador em cada luminária, de modo a controlar o *driver* da luminária e de todos os sistemas acoplados a esta. O sistema PLC deve também ser dotado de um *gateway*<sup>8</sup> (controlador de segmento) e um sistema de gestão central (*software*), de modo a integrar uma plataforma de controlo e monitorização da IP.

Na Figura 13 pode ser visualizado o princípio de funcionamento do sistema PLC.



Figura 13 – Sistema de telegestão PLC (SUNDRAX Electronics, 2018).

---

<sup>8</sup> Unidade que recebe a informação de cada luminária e reencaminha para um servidor ou nuvem.

## Sistema de telegestão via RF

O sistema de telegestão RF, comunica via radiofrequência, operando em dois tipos de rede, a rede Mesh e rede estrela (Parte I - & ANMP, 2018).

Na rede Mesh, o sinal é transmitido de luminária a luminária até chegar a um *gateway*, o sistema pode operar na frequência 868 MHz ou 2,4 GHz. A rede Mesh, pode ser visualizada na Figura 14.

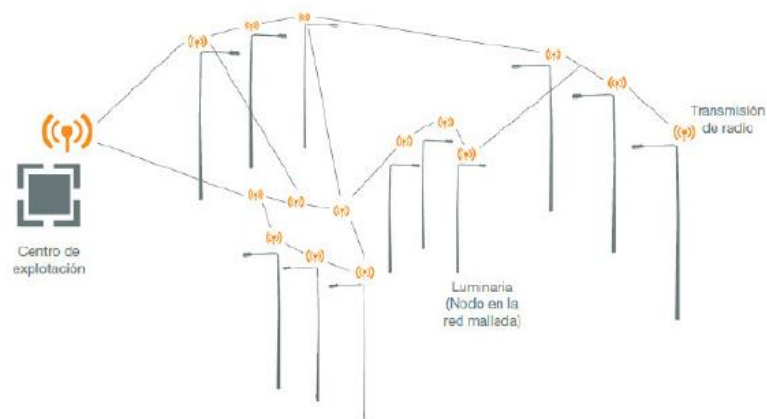


Figura 14 - Rede Mesh

A rede estrela, o método de operação é realizado em cada luminária, sendo a comunicação direta com a *gateway*, via radiofrequência, conforme pode ser visualizado pela Figura 15.

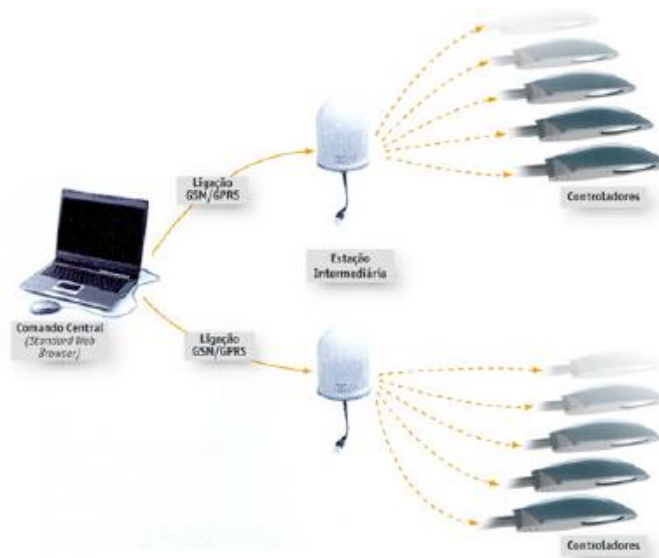


Figura 15 - Rede Estrela.

O sistema de telegestão RF, de modo a ser operacional, as luminárias deveram ser dotadas de um conector externo, do tipo NEMA 3, 5 ou 7 pinos ou de um conector ZHAGA Book 18, de modo a incorporar o controlador de telegestão RF. Esta solução tem vindo a ganhar mais espaço de mercado, devido à facilidade na troca de controladores iguais ou mais desenvolvidos, sem que exista a necessidade abrir a luminária. Também existe a possibilidade de incorporar o controlador de telegestão RF, dentro do compartimento elétrico da luminária e exteriormente existir uma antena para comunicação e transmissão do sinal de radiofrequência.

A aplicação destes conectores e sistemas pode ser visualizado na Figura 16.



Figura 16 - Luminária com conector Nema ou Zhaga e luminária com antena.

O sistema de telegestão RF deve também ser dotado de um *gateway* e um *software* dedicado para o efeito, de modo a integrar uma plataforma de controlo e monitorização da IP.

### Sistema de telegestão via GSM

O sistema de telegestão GSM executa a comunicação direta, entre cada luminária individualmente ou em grupo, com o servidor, aproveitando para isso a rede existente de GSM, tipicamente utilizada nos nossos *smartphones* (Parte I - & ANMP, 2018). À semelhança do sistema de telegestão RF, as luminárias deveram ser equipadas com um conector NEMA 3, 5 ou 7 pinos ou de uma conector ZHAGA Book 18, de modo a incorporar o controlador, sendo também necessário o *software* dedicado para o efeito. Uma das vantagens deste sistema é a não utilização de *gateways*, permitindo assim uma gestão mais fácil dos equipamentos, bem como redução de custos de aquisição e instalação. Este sistema é indicado para territórios de elevada densidade de edificados ou até mesmo de terrenos montanhosos, sendo também aplicado em zonas onde a legislação proíbe o uso de sistemas do tipo radiofrequência.

Na Figura 17 pode ser visualizado como o sistema opera.



Figura 17 - Sistema de telegestão GSM (SUNDRAX Electronics, 2018).

## 2.4. A ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A IP pode ser definida como “*Uma instalação fixa de iluminação destinada a permitir que os utilizadores de zonas de circulação públicas exteriores possam usufruir de uma boa visibilidade durante as horas de escuridão, em prol da segurança e do fluxo de tráfego e da segurança pública*” (UE, 2007).

Na realização de um projeto de iluminação é essencial o cumprimento dos requisitos mínimos e da legislação aplicável, de modo a assegurar o bom funcionamento da iluminação de um determinado espaço. A IP em Portugal e um conjunto alargado de países europeus, é regida pela EN 13201. Esta norma desdobra-se em cinco partes, que visam cumprir os seguintes objetivos:

- **EN 13201-1:** Escolha das classes de iluminação;
- **EN 13201-2:** Parâmetros fotométricos recomendados;
- **EN 13201-3:** Cálculo dos parâmetros fotométricos;
- **EN 13201-4:** Métodos de medição das performances fotométricas;

- **EN 13201-5:** Indicadores de eficiência energética.

Este subcapítulo pretende estabelecer as linhas de orientação para a boa execução de um projeto de IP, bem como dar a entender quais as opções que poderão otimizar a solução a aplicar no caso de estudo desta dissertação.

#### **2.4.1. CLASSES DE ILUMINAÇÃO E NÍVEIS MÍNIMOS DE REFERÊNCIA**

As classes de iluminação são compostas por um conjunto de requisitos fotométricos normativos, que visam a satisfazer as necessidades de visibilidade dos utilizadores da via pública (E-REDES, 2016). A determinação e metodologia, na definição da classe de iluminação a considerar, pode ser visualizada no ANEXO A e ANEXO B.

As classes de iluminação estão divididas em três grupos:

- Classe de iluminação M;
- Classe de iluminação C;
- Classe de iluminação P.

#### **Classe de iluminação M**

Aplica-se a vias de circulação automóvel com velocidade moderadas ou elevadas. São exemplos as estradas nacionais, autoestradas, entre outros. A classe de iluminação M, baseia-se no cálculo da luminância média ( $L_m$ ), uniformidade geral ( $U_0$ ) uniformidade longitudinal ( $U_L$ ), valor de encadeamento incapacitante (TI) e a relação de entorno (EIR). Em Portugal os valores normativos considerados são os aplicados em pisos de vias de circulação automóvel secos<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> Os pisos molhados são situações pontuais e raras em Portugal, mas para casos muito particulares de vias com pisos predominantemente molhados devem prevalecer os valores indicados na norma EN 13201-2:2015, ou seja, em tudo iguais aos valores do piso seco exceto a uniformidade geral, cujo valor é 0,15 para todas as classes (Parte II - CPI; OE; OET; RNAE; DGEG; ANMP, 2018).

A metodologia de cálculo, da luminância, não pode ser aplicada se o traçado da via não permitir colocar o observador (condutor), com uma visão de 60 metros de distância ou se a iluminação envolvente alterar fortemente a luminância calculada, por exemplo nos centros das cidades onde existe uma grande preponderância de montras, *muppis* ou áreas adjacentes com bastante iluminação que desvirtuem o resultado real (Parte II - CPI; OE; OET; RNAE; DGEG; ANMP, 2018). Nestes casos deve-se utilizar a classe de iluminação C.

Os valores normativos para cada classe de iluminação podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1 – Requisitos fotométricos para a classe de iluminação M.

Classe de iluminação	Lm (cd/m <sup>2</sup> )	U0	UL	TI (%)	EIR
M1	2,00	0,40	0,70	10	0,35
M2	1,50	0,40	0,70	10	0,35
M3	1,00	0,40	0,60	15	0,30
M4	0,75	0,40	0,60	15	0,30
M5	0,50	0,35	0,40	15	0,30
M6	0,35	0,35	0,40	15	0,30

No cálculo luminotécnico da classe de iluminação M, é boa prática, que os valores de Lm não ultrapassem 20% do seu valor normativo, nem que os mesmos sejam inferiores a 5% deste mesmo valor (Parte II - CPI; OE; OET; RNAE; DGEG; ANMP, 2018).

Por exemplo, para uma classe de iluminação M3, o valor de Lm normativo é 1,00 cd/m<sup>2</sup>, o cálculo do Lm não deve exceder 1,2 cd/m<sup>2</sup> nem ser inferior a 0,95 cd/m<sup>2</sup>.

A luminância média pode ser representada pela seguinte equação:

$$L_m = \frac{1}{n} \times \sum_{k=1}^{k=n} L_k \quad (6)$$

A Lm é a média aritmética de todos os pontos de luminância da malha de calculo, onde ‘n’ é o número de pontos de luminância calculados sobre a malha de calculo.

A uniformidade geral pode ser representada pela seguinte equação:

$$U_0 = \frac{L_{min}}{L_m} \quad (7)$$

A U0 é definida como o rácio entre a luminância mínima (Lmin), num ponto da malha de calculo, com a luminância média da mesma malha.

A uniformidade longitudinal pode ser representada pela seguinte equação:

$$U0 = \frac{L_{\min}}{L_{\max}} \quad (9)$$

A UL é calculada através do quociente entre o valor mais baixo e o valor mais alto da luminância, na direção longitudinal, ao longo do centro de cada faixa de rodagem.

O encadeamento incapacitante pode ser representado pela seguinte equação:

$$TI = \frac{65}{L^{0,8}} \times Lv \quad (8)$$

O TI é a medida que permite quantificar a perda de visibilidade causada pelo encandeamento das luminárias de IP, sendo um parâmetro mensurável de forma objetiva, dado pelo incremento limite. O  $L_v$  representa a luminância de véu, por outras palavras, é o brilho encandeante que se forma na retina do olho reduzindo, assim, a percepção do contraste da imagem, ao observador (E-REDES, 2016).

### Classe de iluminação C

Aplica-se a zonas de conflito, onde tipicamente as faixas dos veículos interagem com áreas que são frequentadas por pedestres ou ciclistas, onde a probabilidade de acidentes é superior aos restantes espaços (Parte II - CPI; OE; OET; RNAE; DGEG; ANMP, 2018). São exemplos rotundas, cruzamentos, entroncamentos, parque de estacionamento, entre outros. À semelhança da classe de iluminação M, a classe de iluminação C deve seguir a mesma metodologia de cálculo, conforme pode ser visualizado na Tabela 2.

Tabela 2 - Requisitos fotométricos para a classe de iluminação C (método da luminância).

Classe da estrada adjacente	Classe da área de conflito
M1	M1 + 30%
M2	M1
M3	M2
M4	M3
M5	M4
M6	M5

Quando tal não for possível, devido às razões previamente mencionadas, esta classe de iluminação deve basear-se no cálculo da iluminância média ( $E_m$ ) e da uniformidade média ( $U_m$ ), conforme pode ser visualizado na Tabela 3.

Tabela 3 - Requisitos fotométricos para a classe de iluminação C (método da iluminância).

Classe da zona de conflito	Em (lux)	Um
C1	30	0,40
C2	20	0,40
C3	15	0,40
C4	10	0,40
C5	7,5	0,40

A iluminância média pode ser representada pela seguinte equação:

$$Em = \frac{1}{n} \times \sum_{k=1}^{k=n} Ek \quad (9)$$

A Em é a média aritmética de todos os pontos de iluminância da malha de calculo, onde ‘n’ é o número de pontos de luminância calculados sobre a malha de cálculo.

A uniformidade média pode ser representada pela seguinte equação:

$$Um = \frac{Emin}{Em} \quad (10)$$

A Um é o quociente entre a iluminância mínima (Emin), num ponto da malha de cálculo, com a iluminância média da mesma malha.

### Classe de iluminação P

São zonas exclusivas a pedestres, ciclistas ou veículos não motorizados, desde que a velocidade seja a inferior a 50Kms/h (Parte II - CPI; OE; OET; RNAE; DGEG; ANMP, 2018). São exemplos passeios, parques, jardins, ciclovias, zonas históricas, entre outros. Ao contrário das classes de iluminação anteriores, a classe de iluminação P, não precisa de seguir a metodologia de cálculo das luminâncias, mas sim a da iluminância, atendendo que as necessidades visuais dos condutores são bastantes diferentes das dos peões e ciclistas.

A classe de iluminação P, baseia-se no cálculo da iluminância horizontal, que neste caso considera-se à mesma como iluminância média e da iluminância mínima. Em certos casos, onde o reconhecimento facial é importante, pode ser também considerada nesta classe de iluminação a iluminância vertical (Ev) e semicilíndrica (Esc).

Os valores da classe de iluminação P podem ser visualizados na Tabela 4.

Tabela 4 - Requisitos fotométricos para a classe de iluminação P.

Classe de Iluminação	Em (lux)	Emin (lux)	Ev min (lux)	Esc min (lux)
P1	15,0	3,0	5,0	5,0
P2	10,0	2,0	3,0	2,0
P3	7,5	1,0	2,5	1,5
P4	5,0	0,5	1,5	1,0
P5	3,0	0,6	1,0	0,6
P6	2,0	0,4	0,6	0,2

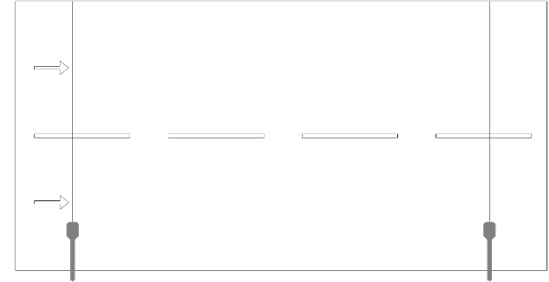
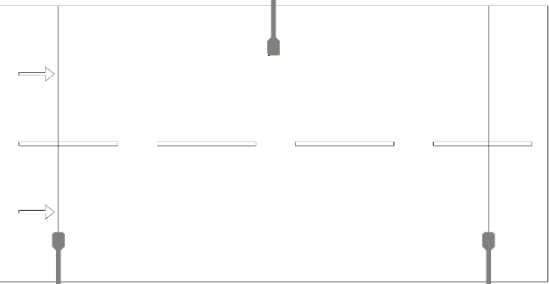
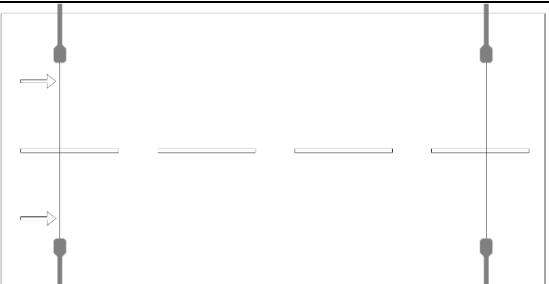


No cálculo luminotécnico da classe de iluminação P, é boa prática, que os valores de Em não ultrapassem 50% do seu valor normativo, na realização de projetos luminotécnicos (Parte II - CPI; OE; OET; RNAE; DGEG; ANMP, 2018). Por exemplo, para uma classe de iluminação P2, o valor de Em é de 10 lux, o cálculo do Em não deve exceder os 15 lux, de modo a assegurar a uniformidade mínima de 20% em cada classe de iluminação.

#### **2.4.2. ARQUITETURAS DE INSTALAÇÃO EM IP**

Numa instalação IP, existem diversas metodologias de implementação dos pontos de luz. Devido à sua elevada complexidade de conjugação dos requisitos fotométricos, previamente mencionados, com as diferentes localizações dos pontos de luz e ângulos de inclinação das luminárias possíveis, existe um conjunto de arquiteturas de IP, que visam a ajudar a boa implementação da instalação.

Na Tabela 5 pode ser visualizado as arquiteturas de IP mais correntes.

Tabela 5 – Esquematisações usuais da disposição dos postes nas vias de circulação

Esquema de Arquitetura IP	Tipo de Arquitetura	Tipo de Utilização
	Unilateral	$L \leq H$
	Alternada	$L \geq 1 \text{ a } 1,5 H$
	Bilateral	$L \geq 1,5 H$
	Bilateral com Faixa Central	$L \geq 1,5 H$
 <p data-bbox="454 1713 566 1736">Faixa central 1</p>	Axial	$L \geq 2,5 H$

L – Largura da via; H – Altura de Instalação da Luminária

## 2.5. INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA IP

Aos longos dos últimos anos têm existido diversos métodos, de forma a mensurar o índice de eficiência energética da solução de iluminação. Um dos parâmetros de análise mais adotado e mais rápido, que permite a comparação entre luminárias, é a eficácia luminosa. Esta indica quantos lumens uma unidade de potência consegue fornecer a luminária, sendo que o pretendido será um maior *output* de fluxo luminoso da luminária, ao menor consumo possível. Mas analisar este parâmetro isoladamente, não garante que aquela solução é a mais indicada, pois com a introdução da tecnologia *LED* as luminárias começaram a utilizar lentes<sup>10</sup> e outros elementos que ajudem a projetar a luz para o local desejado, de modo a aumentar a eficiência da instalação.

### Índice de Eficiência Energética (IEE)

Uma das principais razões para a preocupação da classificação energética das instalações, visa para a preocupação do uso racional da energia, tendo sido desenvolvido um documento de referência para a eficiência energética na IP (DREEIP) (Parchão, 2019). A primeira edição deste documento foi emitida em 2012, tendo sido uma ferramenta de trabalho bastante utilizada na projeção da IP. Este documento tem como objetivo ser uma referência na IP, tendo estabelecido uma série de parâmetros técnicos que deve seguir um projeto de IP. Um dos parâmetros novos que este documento introduziu foi o índice de eficiência energética, que tem como objeto ajudar os decisores a escolherem a solução, de iluminação, mais adequada para a sua instalação.

Pode-se definir o IEE como sendo a razão entre o produto da superfície da área iluminada, e a  $E_m$  com a potência instalada (E-REDES, 2016).

$$IEE = \frac{A \times E_m}{P} \quad (11)$$

em que:

IEE – Índice de eficiência energética;

---

<sup>10</sup> Elemento constituinte da luminária *LED*, que irá definir a distribuição fotométrica da luminária, sendo um elemento que ajuda a dirigir a luz, aumentar a sua intensidade ou proteger dos encadeamentos da luminária *LED*.

Em – Iluminância média, lux;

A – Área de uma determinada superfície, m<sup>2</sup>;

P – Potência instalada, W;

O cálculo deste indicador irá traduzir o desempenho energético da instalação, classificando a mesma com a antiga escala energética de A a G, conforme pode ser visualizado na Tabela 6.

Tabela 6 - Classificação Energética da instalação IP com largura de via superior a 6m.

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

Esta tabela é referente a vias de circulação automóvel com uma largura de via superior a 6 metros. Caso o utilizador pretenda determinar o IEE para vias de circulação automóvel inferiores ou iguais a 6 metros, deve basear-se na Tabela 7.

Tabela 7 - Classificação Energética da instalação IP com largura de via inferior ou igual a 6m.

Classe Energética	Eficiência Energética
A	$IEE > 30$
B	$30 \geq IEE > 25$
C	$25 \geq IEE > 20$
D	$20 \geq IEE > 15$
E	$IEE \leq 15$
F	-
G	-

O parâmetro do IEE é uma base de comparação mais indicada, do que apenas a comparação de luminárias pela sua eficácia luminosa, na análise de soluções de IP, pois permite perceber se a ótica utilizada pela luminária se adequa ao pretendido e outros aspetos importante no dimensionamento, garantindo assim que o utilizador consiga otimizar a sua instalação IP.

Outro índice complementar à classificação energética da instalação IP, é a determinação do rácio entre a potência média pela área iluminada. Este rácio tem vindo a ser defendido em sede de grupos de normalização, nomeadamente para comparação de diferentes soluções de projeto (E-REDES, 2016).

$$W_{\text{méd}} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i (W) \times \text{Tempo de serviço do patamar } i \text{ (h)})}{\text{Tempo total em serviço (h)}} \quad (12)$$

Entende-se como o índice “i”, os patamares de potência, por exemplo uma luminária com perfil *dimming* em modo *stand-alone*, de um ponto de luz incidente numa área durante um determinado período. Os cálculos do consumo energético devem ter como valor de referência o número de horas de utilização diária, igual a 12 (Parte II - CPI; OE; OET; RNAE; DGEG; ANMP, 2018).

Mais recentemente o DREEIP emitiu em 2018 a segunda edição deste documento, tendo introduzido mais alguns indicadores de eficiência energética, que têm o mesmo intuito que o IEE.

### Densidade de Potência (Dp)

A Dp é um dos indicadores que o DREEIP introduziu na análise das soluções de iluminação, sendo que o mesmo pode ser definido como a relação entre a potência total do sistema de iluminação, e o produto da área total de cálculo pela iluminância média em serviço calculada (VLEX, 2019). Por outras palavras é a potência instalada em *Watts* por cada metro quadrado de área. Esta grandeza torna-se especialmente útil na análise dos projetos, na forma de comparação das soluções de iluminação.

$$Dp = \frac{P(W)}{\sum_{i=1}^n (E_{mi} \text{ (lux)} \times A_i \text{ (m}^2\text{)})} \quad (13)$$

### Densidade de Energia (De)

A De foi o segundo indicador que complementou a análise dos projetos de iluminação, sendo que este pode ser definido como a energia global consumida pelo ponto de luz ao longo de um ano, incluindo todos os regimes de funcionamento programados ao longo da noite ou estação do ano, em proporção da área total iluminada pela instalação de IP (Parte II - CPI; OE; OET; RNAE; DGEG; ANMP, 2018).

$$De = \frac{\sum_{j=1}^m (\text{Potência } j \text{ (W)} \times \text{Periodo de Operação ano (horas)})}{\text{Área (m}^2\text{)}} \quad (14)$$

# 3. ILUMINAÇÃO PÚBLICA DAS AUTOESTRADAS: A27 E A28

Este capítulo visa caracterizar o caso de estudo da migração das luminárias de tecnologia de VSAP para tecnologia *LED*. Será discriminada a configuração da rede de IP, com análises detalhadas das arquiteturas existentes e definição das classes de iluminação apropriadas a cada zona de estudo. Serão eleitas neste capítulo as luminárias *LED* que irão substituir as existentes.

## 3.1. CARATERIZAÇÃO DA REDE DE IP

O presente estudo visa avaliar e comparar, ao longo de um período de 20 anos, a solução existente, composta por luminárias de VSAP e a solução proposta para realizar a substituição destas luminárias por tecnologia *LED*. O caso de estudo engloba a totalidade das luminárias que compõem as autoestradas A27 e A28, sendo que as mesmas estão distribuídas ao longo dos 24 Km e 93 Km respetivamente. O número total de luminárias envolvidas no caso de estudo corresponde a 2957 unidades, sendo que 2116 unidades fazem parte da rede IP da A28 e 841 unidades da rede IP da A27, conforme pode ser visualizado na Tabela 8.

Tabela 8 - Rede IP da A27 e A28.

Localização	Nº de Luminárias [un]	Luminária VSAP			Consumo por Nó [kW]
		150 W	250 W	400 W	
A28					
Sendim	50	-	-	50	25,00
Matosinhos	46	10	-	36	19,88
Exponor	22	22	-	-	4,13
Leça / Jomar Separador Central	116	-	-	116	58,00
Terminal Tir / Freixieiro	80	48	9	23	23,31
Perafita	52	16	12	24	18,75
A41 Separador Central	38	13	-	25	14,94
Lavra / Angeiras	69	25	44	-	18,44
Modivas	129	81	48	-	30,19
EN 104 / St. Tirso	116	62	54	-	28,50
Vila do Conde	78	39	39	-	19,50
Povoa de Varzim	67	44	23	-	15,44
Estela	76	47	29	-	17,88
Esposende	85	55	30	-	19,69
Antas	100	67	33	-	22,88
Neiva	70	38	32	-	17,13
Darque Ponte S/N (Ponte de Viana)	132	19	113	-	38,88
Viana castelo Ponte N/S (Ponte de Viana)	101	45	56	-	25,94
Viana do Castelo	101	28	73	-	28,06
Nó de Outeiro	80	34	46	-	20,75
EN305	158	104	54	-	36,38
Riba de Ancora	98	55	43	-	23,75
Argela / Dem	86	39	47	-	22,00
Vilar de Mouros	110	66	44	-	26,13
Caminha/Cerveira	56	27	29	-	14,13
A27					
Meadela	174	68	106	-	45,88
Nogueira	97	53	44	-	23,69
Lanheses	87	33	54	-	23,06
Estorãos	83	27	56	-	22,56
Arcozelo	113	60	53	-	27,81
Ponte de Lima	287	37	250	-	85,06
<b>Total</b>	<b>2957</b>	<b>1262</b>	<b>1421</b>	<b>274</b>	<b>817,69</b>

### 3.2. ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL: LUMINÁRIAS DE VSAP

A rede de IP da A27 e A28 possui aos dias de hoje uma capacidade instalada próxima dos 818 kW, sendo que esta potência instalada, referenciada na Tabela 8, já contempla o aumento do consumo de energia das luminárias, derivado pelas perdas ocorridas por efeito de Joule<sup>11</sup>, devido à existência de cobre nos balastros eletromagnéticos, também devido às perdas magnéticas por histerese<sup>12</sup> e correntes de Foucault, no núcleo ferromagnético. Os fenômenos anteriormente referidos resultam num aumento de consumo adicional, que pode variar entre 5% a 25% da potência de entrada da lâmpada (E-REDES, 2016). Para este caso de estudo, atendendo que ambas as autoestradas já foram construídas há cerca de 20 anos, foi considerado o valor de 25% no aumento do consumo de energia das luminárias.

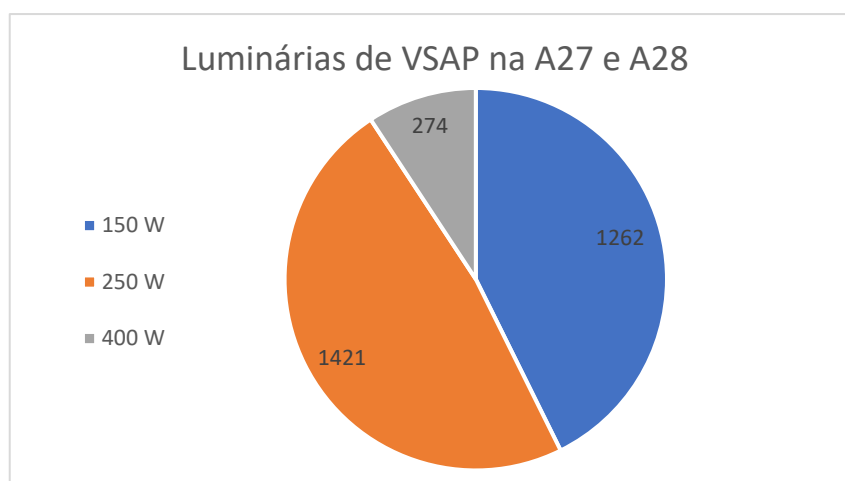


Figura 18 - Número de luminárias de VSAP na A27 e A28.

Conforme se pode visualizar na Figura 18, existem atualmente 2957 luminárias instaladas na A27 e A28, sendo que a maior preponderância está situada nos patamares das luminárias de 150 W, com cerca de 42% do total e das luminárias de 250 W, com um peso de 48%.

---

<sup>11</sup> Fenómeno físico, resultante da passagem de corrente elétrica por condutores de cobre, ou similares, que proporcionam um aumento da temperatura destes condutores, provocando aumentos de consumo de energia. Este elevar da temperatura dos condutores, pode provocar a degradação dos mesmos ao longo do tempo.

<sup>12</sup> Fenómeno resultante da criação de campos magnéticos, derivado da utilização da corrente alternada na alimentação das luminárias, criando um ciclo de magnetização, que resultará em energia dissipada sob forma de calor, resultando num aumento de energia consumida.

Atualmente a A27 é composta por 841 luminárias, repartidas em 278 unidades de VSAP 150W e 563 unidades de VSAP 250W, com um consumo global próximo dos 228 kW. Por sua vez a A28 é composta por 2116 luminárias, sendo que a sua instalação de IP é repartida em 984 unidades de VSAP 150W, 858 unidades de VSAP 250 W e 274 unidades de VSAP 400 W, representando um consumo global em cerca de 590 kW, conforme pode ser visualizado na Tabela 9.

Tabela 9 – Relação de luminárias por cada autoestrada

Autoestrada	Luminária VSAP			Consumo por Nó [kW]
	150 W	250 W	400 W	
A27	278	563	0	228
A28	984	858	274	590

A infraestrutura atual é composta por 31 zonas diferentes, onde cada uma destas tem as suas características e particularidades. No que concerne à composição da arquitetura do espaço público, a mesma pode variar de 1 até 4 vias de circulação por cada faixa de rodagem, com diversas distribuições de pontos de luz, que variam de distribuições unilaterais, alternada, bilateral e axial. A configuração do ponto de luz pode variar ao longo da intervenção, podendo ser observadas situações com colunas que variam dos 8 metros de altura até aos 15 metros. O braço da coluna pode variar de 0,5 metros até 1,5 metros consoante a zona de estudo e também as inclinações dos braços que podem variar de 0° de inclinação até 15° de inclinação. Estes exemplos de configurações podem ser visualizados na Figura 19.



Figura 19 – Exemplo de configurações de pontos de luz da A27 e A28.

### **3.3. DIMENSIONAMENTO COM LUMINÁRIAS *LED***

As luminárias de VSAP estão equipadas com uma de três tipos de lâmpadas, lâmpadas de VSAP de 150 W, 250 W e 400W. De modo a dimensionar as luminárias *LED* equivalentes às de VSAP, foram realizados estudos luminotécnicos, com recurso ao *software* de cálculo de iluminação, sendo utilizada a ferramenta DIALux. Este *software* foi desenvolvido em 1989, sendo amplamente utilizado em todo o mundo, com cerca de 750 000 utilizadores profissionais, pois oferece ampla gama de conhecimentos nas áreas de desenvolvimento de *software*, design e tecnologia de iluminação e automação predial, iluminação pública e afins.

A luminária *LED* que irá ser utilizada para o caso de estudo, faz parte da gama de produtos da empresa da SONERES – Iluminação Pública, S.A., sendo que o modelo selecionado foi a luminária LUSA. A aposta pela empresa SONERES partiu pelo fato de ser uma empresa que atua no mercado nacional há mais de 60 anos, é uma empresa de capitais 100% portugueses, dedicada à conceção e fabrico de sistemas integrados de iluminação pública. Possui uma capacidade produtiva centrada nos aparelhos de iluminação pública com a mais avançada tecnologia *LED*, mantendo as soluções convencionais como opções para mercados e projetos menos avançados nestas temáticas da ecoeficiência.

No ANEXO C, poderão ser visualizadas as características mecânicas, elétricas e fotométricas da luminária.

#### **3.3.1. METODOLOGIA DE CÁLCULO**

De modo a determinar quais as luminárias *LED* indicadas para a substituição das luminárias de VSAP existentes, é necessário perceber quais as condições em que as luminárias *LED* vão atuar, ou seja, é preciso definir um modelo de malha de cálculo, de modo a determinar a luminária *LED* que cumpre a classe de via escolhida para cada situação, sendo esta metodologia replicada para cada um dos tipos de luminárias existentes, de modo a garantir os níveis de segurança necessários à boa circulação de veículos motorizados.

Atendo ao tipo de utilização e características da via de circulação automóvel, foi considerado, para este caso de estudo, a classe de iluminação do tipo M, aplicando assim a método da luminância, sendo que este tema foi abordado no capítulo anterior.

Na Tabela 10 pode ser visualizado a metodologia de definição da classe de iluminação M, aplicada aos Nó Entrada/Saída Autoestrada (Luminárias VSAP 150 W), da Via Principal

Autoestrada A (Luminárias VSAP 250 W) e Via Principal Autoestrada B (Luminárias VSAP 400 W).

Tabela 10 - Classe de via do Nó Entrada/Saída Autoestrada, Via Principal Autoestrada A e Via Principal Autoestrada B.

Parâmetro	Opções	Fator de Peso	Nó Entrada/Saída	Via Principal A e B
Velocidade	Muito alta	1	1	1
	Alta	0,5		
	Moderada	0		
Volume de Tráfego	Muito elevado	1	0,5	1
	Alto	0,5		
	Moderado	0		
	Baixo	-0,5		
	Muito baixo	-1		
Composição do Tráfego	Elevada percentagem de não motorizados	2	0	0
	Misturado	1		
	Apenas motorizado	0		
Separação de Faixas	Não	1	0	1
	Sim	0		
Densidade de Cruzamentos	Alta	1	1	1
	Moderada	0		
Veículos estacionados	Presente	1	0	0
	Não Presente	0		
Luminância Ambiente	Alta	1	-1	-1
	Moderada	0		
	Baixa	-1		
Controlo de Tráfego	Fraco	0,5	0,5	0,5
	Moderado ou Bom	0		
Classe de Iluminação = $6 - \sum$ Seleção			M4	M3

Pode-se concluir que, os nós de entrada/saída das autoestradas vão ser considerados com uma classe de via do tipo M4 (menor exigência) e nas vias principais dos troços das autoestradas vão ser considerados com uma classe de via do tipo M3 (maior exigência), conforme pode ser visualizado na Tabela 11.

Tabela 11 – Definição da classe de iluminação de cada malha de cálculo.

Zona de Cálculo	Classe de iluminação	Lm (cd/m <sup>2</sup> )	U0	UL	TI (%)	EIR
Nó entrada/saída	M4	0,75	0,40	0,60	15	0,30
Via Principal A e B	M3	1,00	0,40	0,60	15	0,30

### 3.3.2. CONFIGURAÇÃO DAS MALHAS DE CÁLCULO

De modo a poder determinar os resultados obtidos em cada malha de cálculo, primeiro é preciso desenhar a arquitetura da mesma, esboçando todas as suas características inerentes ao cálculo luminotécnico das zonas em estudo.

A malha de cálculo Nó Entrada/Saída Autoestrada é composta por:

- Berma  $\approx$  2,0 m + Pista de rodagem com 1 via de circulação  $\approx$  4,5 m + Berma  $\approx$  1,0 m;
- Distribuição dos pontos de luz unilateral;
- Coluna 12 m altura, com braço de comprimento 1,25 m, com 5° de inclinação;
- Afastamento entre pontos de luz  $\approx$  36 m;
- Luminárias atual: VSAP de 150 W.

A configuração da via em estudo pode ser visualizada na Figura 20.

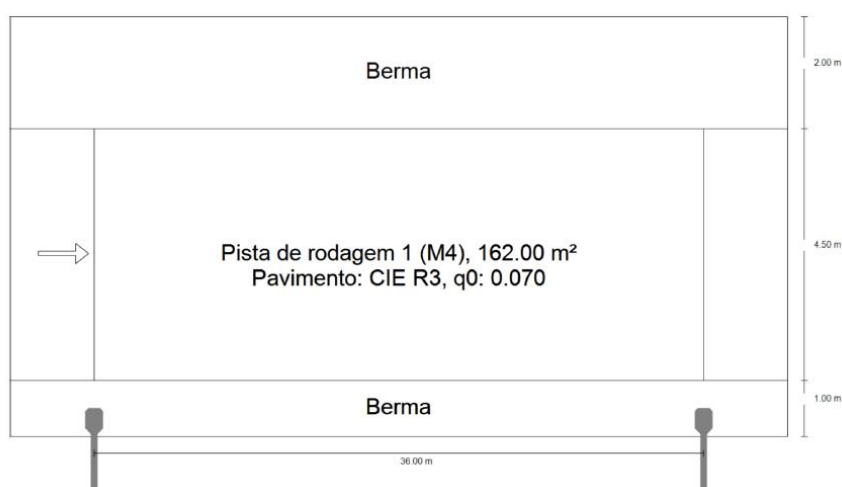


Figura 20 – Malha de Cálculo Nó de entrada/saída.

Os resultados obtidos pelo *software* de cálculo, podem ser visualizados na Tabela 12. A análise mais detalhada do cálculo luminotécnico encontra-se no ANEXO D.

Tabela 12 - Resultados malha de cálculo Nó Entrada/Saída Autoestrada

	Lm	U0	UL	TI	EIR
Normativo	$\geq 0,75$ cd/m <sup>2</sup>	$\geq 0,40$	$\geq 0,60$	$\leq 10$ %	$\geq 0,30$
Calculado	0,75 cd/m <sup>2</sup>	0,81	0,88	5%	0,34

A luminária utilizada para substituir as luminárias de VSAP de 150W, foi a LUSA I N/E 24 *LEDs*, com um consumo de 54 W, uma alimentação a 700 mA, foi utilizada a fotometria Viária do Tipo II (feixe extralargo), CCT de 4000 K, IRC  $\geq 70$ , com um corpo integralmente constituído em liga de alumínio injetado, com um difusor em vidro plano temperado, extra claro de espessura de 5 mm, dotada de um sistema de regulação angular através do acessório de fixação do tipo rótula, possui um IP66 e IK09.

A malha de cálculo Via Principal Autoestrada A é composta por:

- Berma  $\approx 1,5$  m + Pista de rodagem com 3 vias de circulação  $\approx 10,5$  m + Faixa Central  $\approx 8,2$  m + Pista de rodagem com 3 vias de circulação  $\approx 10,5$  m + Berma  $\approx 1,0$  m;
- Distribuição dos pontos de luz bilateral com faixa central;
- Coluna 12 m altura, com braço de comprimento 1,25 m, com 5° de inclinação;
- Afastamento entre pontos de luz  $\approx 40$  m;
- Luminárias atual: VSAP de 250 W.

A configuração da via em estudo pode ser visualizada na Figura 21.

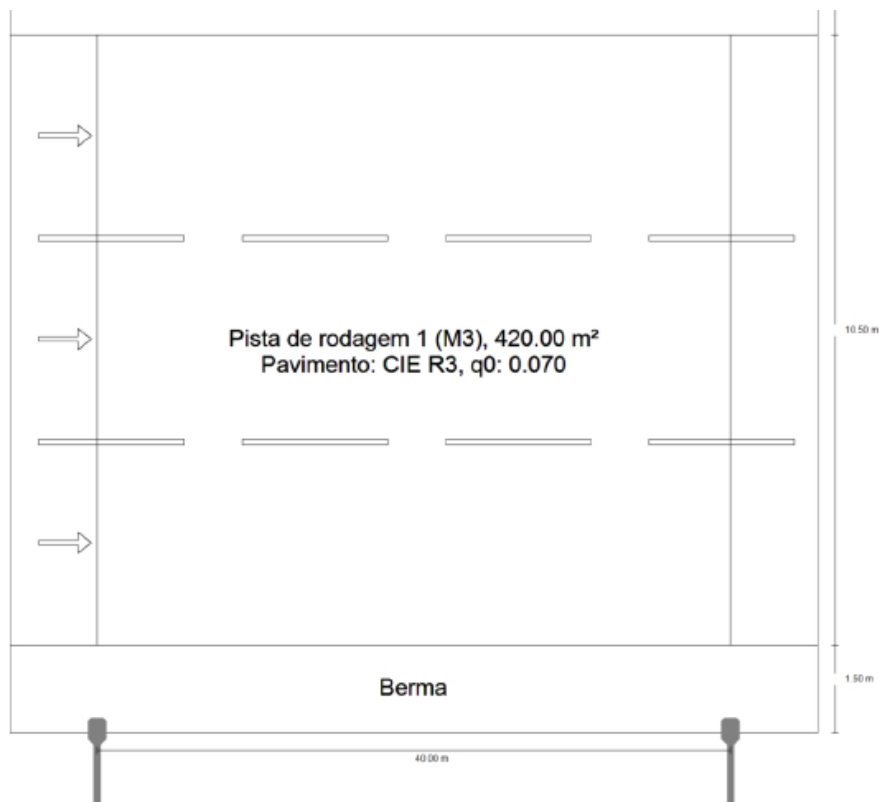


Figura 21 – Malha de cálculo Via Principal A.

Os resultados obtidos pelo *software* de cálculo, podem ser visualizados na Tabela 13. A análise mais detalhada do cálculo luminotécnico encontra-se no ANEXO E.

Tabela 13 - Resultados malha de cálculo Via Principal Autoestrada A

	Lm	U0	UL	TI	EIR
Normativo	$\geq 1,0 \text{ cd/m}^2$	$\geq 0,40$	$\geq 0,60$	$\leq 10 \%$	$\geq 0,30$
Calculado	1,07 cd/m <sup>2</sup>	0,48	0,84	9%	0,48

A luminária utilizada para substituir as luminárias de VSAP de 250W, foi a LUSA II N/E 48 LEDs, com um consumo de 106 W, uma alimentação a 700 mA, foi utilizada a fotometria Viária do Tipo II (feixe extralargo), CCT de 4000 K, IRC  $\geq 70$ , com um corpo integralmente constituído em liga de alumínio injetado, com um difusor em vidro plano temperado, extra claro de espessura de 5 mm, dotada de um sistema de regulação angular através do acessório de fixação do tipo rótula, possui um IP66 e IK09.

A malha de cálculo Via Principal Autoestrada B é composta por:

- Berma  $\approx 3,0 \text{ m}$  + Pista de rodagem com 3 vias de circulação  $\approx 10,0 \text{ m}$  + Faixa Central  $\approx 3,0 \text{ m}$  + Pista de rodagem com 3 vias de circulação  $\approx 10,0 \text{ m}$  + Berma  $\approx 3,0 \text{ m}$ ;

- Distribuição dos pontos de luz axial;
- Coluna 15 m altura, com braço de comprimento 1,25 m, com 5° de inclinação;
- Afastamento entre pontos de luz  $\approx 40$  m;
- Luminárias atual: VSAP de 400 W.

A configuração da via em estudo pode ser visualizada na Figura 22.

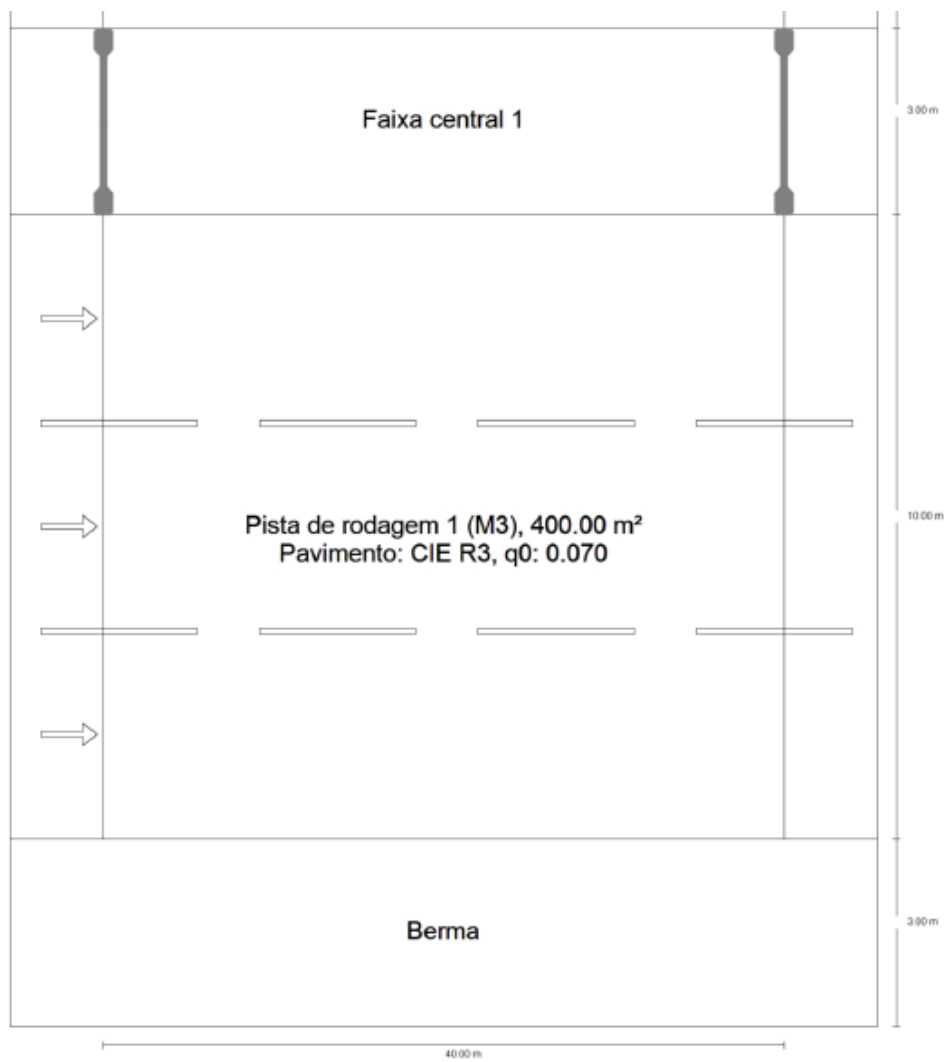


Figura 22 – Malha de cálculo Voa Principal B.

Os resultados obtidos pelo *software* de cálculo, podem ser visualizados na Tabela 14. A análise mais detalhada do cálculo luminotécnico encontra-se no ANEXO F.

Tabela 14 - Resultados malha de cálculo Via Principal Autoestrada B

	Lm	U0	UL	TI	EIR
Normativo	$\geq 1,0 \text{ cd/m}^2$	$\geq 0,40$	$\geq 0,60$	$\leq 10 \%$	$\geq 0,30$
Calculado	1,31 cd/m <sup>2</sup>	0,65	0,85	6%	0,73

A luminária utilizada para substituir as luminárias de VSAP de 400W, foi a LUSA II N/E 60 *LEDs*, com um consumo de 132 W, uma alimentação a 700 mA, foi utilizada a fotometria Viária do Tipo II (feixe extralargo), CCT de 4000 K, IRC  $\geq 70$ , com um corpo integralmente constituído em liga de alumínio injetado, com um difusor em vidro plano temperado, extra claro de espessura de 5 mm, dotada de um sistema de regulação angular através do acessório de fixação do tipo rótula, possui um IP66 e IK09.



## 4. RESULTADOS OBTIDOS: LUMINÁRIAS VSAP VERSUS *LED*

Este capítulo tem como objetivo analisar os resultados obtidos pela troca direta de tecnologias, onde serão realizadas diversas comparações entre as duas tecnologias, desde o consumo de energia, os custos associados à manutenção dos equipamentos, as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) resultantes de ambas as tecnologias, os custos de aquisição das luminárias LED, as poupanças geradas, entre outros.

Ao longo do percurso da A27 e A28, a métrica de instalação IP é aproximada às malhas de cálculo tipo apresentadas anteriormente, sendo que na Tabela 15, é representado a relação entre cada uma das luminárias de VSAP com a sua solução equivalente em *LED*.

Tabela 15 - Relação luminárias VSAP e LED

Solução Existente		Solução Proposta	
Luminária VSAP		Luminária LED	
Modelo	Consumo [W]	Modelo	Consumo [W]
150 W	187,5	LUSA I N/E 24	54
250 W	312,5	LUSA II N/E 48	106
400 W	500	LUSA II N/E 60	132

Pode-se constatar que existe uma redução significativa dos consumos por tipo de luminária, sendo que no caso das luminárias de VSAP 150 W, existe uma redução no consumo na ordem dos 71%, no caso das luminárias de VSAP 250 W, a redução foi na ordem dos 66% e por fim nas luminárias de VSAP 400 W, a redução situa-se na casa dos 74%.

#### 4.1. CONSUMO ENERGÉTICO EXISTENTE VS. PROPOSTO

Após a validação das luminárias *LED* para substituição das existentes, foi realizado uma análise mais detalhada sobre os consumos de ambas as soluções, de modo a identificar as poupanças anuais obtidas com a transição de tecnologia.

Na instalação IP atual, já existem medidas de otimização de consumos de energia, em cerca de 12 nós da A28 (Póvoa de Varzim para norte) e toda a extensão da A27. Os balastos eletromagnéticos estão programados para no arranque do sistema, as luminárias garantirem 100% da potência disponível. Após 15 minutos o balastro é regulado para 40% da potência total da luminária, mantendo este regime até meia-noite, sendo que após este período as luminárias são desligadas, representando assim uma média diária de utilização de apenas 5 horas.

Nos restantes nós da A28, as luminárias ficam ligadas diariamente, cerca de 10 horas sem nenhuma limitação no consumo.

Na Tabela 16, é visualizado o número de luminárias afetadas pelo regime de regulação do balastro eletromagnético.

Tabela 16 - Relação de luminárias de VSAP com regulação.

Luminárias VSAP 150W Balastro a 40% [un]	946
Luminárias VSAP 150W Balastro a 100% [un]	316
Luminárias VSAP 250W Balastro a 40% [un]	1215
Luminárias VSAP 250W Balastro a 100% [un]	206
Luminárias VSAP 400W Balastro a 100% [un]	274

Após contacto com a concessionária das autoestradas A27 e A28, foi indicado que as luminárias *LED*, a instalar, mantivessem o número de horas de funcionamento diário da instalação existente. Sendo também solicitado que as luminárias *LED*, fossem programadas para um regime do tipo *stand alone*, com um regime horário representado na Tabela 17.

Tabela 17 - Regime horário luminárias *LED*.

Regime Horário 5h diárias		Nº de Horas Diárias [h]
Perfil	Regulação	
ON até 21h	100%	2
21 até 24h	70%	3
24h até OFF	0%	0
Regime Horário 10h diárias		Nº de Horas Diárias [h]
Perfil	Regulação	
ON até 21h	100%	2
21 até 24h	70%	3
24h até 05h	50%	5
05h até OFF	0%	0

A determinação dos consumos existentes e propostos, teve em consideração as premissas anteriormente mencionadas, sendo que os valores de consumo, por luminária, representados na Tabela 18 são obtidos realizando uma média ponderada entre os perfis de regulação e respetivas quantidades das luminárias.

Tabela 18 – Relação de consumos da solução existente vs proposta.

Solução Existente			Solução Proposta		
Luminária VSAP	Potência Luminária [W]	Potência Total [kW]	Luminária LED	Potência Luminária [W]	Potência Total [kW]
150 W	103	130,20	LUSA I N/E 24	54	68,15
250 W	152	216,25	LUSA II N/E 48	84	120,02
400 W	500	137,00	LUSA II N/E 60	87	23,87
Total		483,45	Total		212,04

É possível compreender quais as poupanças obtidas com a introdução da tecnologia *LED*, esta solução permite poupanças próximas dos 56%, face ao consumo existente, sendo que este já por si tinha medidas de redução de consumos. A troca de tecnologia irá garantir uma redução da potência consumida na ordem dos 271 kW. Se for comparado o consumo proposto, com a potência instalada na rede de IP, verifica-se uma redução do consumo na ordem dos 74%.

Na Tabela 19 é referido qual o consumo anual de energia de cada uma das tecnologias em estudo.

Tabela 19 - Consumos de energia anuais da solução existente vs proposta.

Solução Existente		Solução Proposta	
Luminária VSAP	Consumo Energia Anual [MWh/ano]	Luminária LED	Consumo Energia Anual [MWh/ano]
150 W	301,58	LUSA I N/E 24	157,85
250 W	500,89	LUSA II N/E 48	278,00
400 W	317,33	LUSA II N/E 60	55,29
Total	1119,80	Total	491,14

Atendendo às características da rede existente, nomeadamente ao número de horas de funcionamento de cada luminária por zona de instalação, foi considerado que as luminárias, em média, operam 2316 horas por ano. Atendendo que cerca de 2161 luminárias operam 5 horas diariamente e que as restantes 796 luminárias operam 10 horas diárias, realizando uma média ponderada, conclui-se que, o número de horas média diária de operação por luminária é cerca de 6 horas, sendo que toda a rede de IP está todo o ano em funcionamento, ou seja, as luminárias operam os 365 dias do ano.

O cálculo da energia consumida é obtido pela seguinte equação:

$$Eca = Pt \times Tfa \quad (157)$$

em que:

*Eca* – Energia consumida anualmente, MWh/ano;

*Pt* – Potência total do conjunto das luminárias, W;

*Tfa* – Tempo de funcionamento anual, h.

À semelhança das poupanças obtidas pela redução da potência instalada, o consumo de energia diminui cerca de 629 MWh por ano, o que representa uma redução bastante significativa na fatura energética. Conforme mencionado anteriormente, esta poupança seria ainda mais acentuada se não existissem medidas de mitigação dos consumos existentes.

#### 4.2. CUSTO ENERGÉTICO EXISTENTE VS. PROPOSTO

De modo a poder entender quais os custos reais inerentes a cada uma das soluções em estudo, foi realizado um levantamento dos custos energéticos junto da concessionária das autoestradas, sendo que foi determinado que o custo médio ponderado da energia ao longo do período de utilização das luminárias, tendo sido obtido um custo de 0,19 €/kWh de tarifa de eletricidade em regime de Baixa Tensão Normal.

Este custo energético por cada kWh consumido, permitirá determinar qual é a fatura energética associada a cada uma das soluções em estudo e averiguar quais as poupanças futuras com a transição energética das luminárias.

Na Tabela 20 é possível visualizar os custos anuais associados à solução existente e solução proposta.

Tabela 20 - Custos anuais de energia da solução existente vs proposta.

Solução Existente		Solução Proposta	
Luminária VSAP	Custo Anual Energia [€]	Luminária LED	Custo Anual Energia [€]
150 W	57 300,01 €	LUSA I N/E 24	29 991,41 €
250 W	95 169,95 €	LUSA II N/E 48	52 819,68 €
400 W	60 292,64 €	LUSA II N/E 60	10 505,39 €
Total	212 762,59 €	Total	93 316,47 €

Ao analisar a Tabela 20 pode-se constatar que o maior peso incide nas luminárias de VSAP 250 W, representando 45% dos custos associados à fatura energética, sendo que as luminárias de VSAP 150 W representam 27% e as luminárias de VSAP 400 W têm um peso de 28%. Por sua vez com a introdução das luminárias *LED* e programação do perfil horário, anteriormente mencionado, a luminária equivalente à de VSAP 250 W representa 57% dos custos energéticos, sendo que as luminárias de VSAP 150 W e VSAP 400 W tem um peso de 32% e 11% respetivamente. A análise destes pesos pode ser verificada na Figura 23.

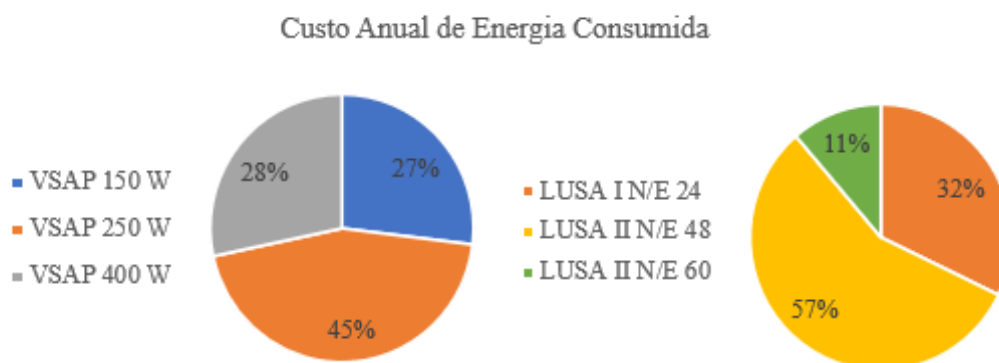


Figura 23 - Relação entre os custos energéticos da solução existente vs. Proposta.

O cálculo da energia consumida é obtido pela seguinte equação:

$$CEca = Eca \times PE \quad (168)$$

em que,

$CEca$  – Custo energia consumida anualmente, €/kWh;

$Eca$  – Energia consumida anualmente, kWh/ano;

$PE$  – Preço médio ponderado do kWh, €;

A redução da fatura de energia elétrica é uma realidade logo no primeiro ano de análise, obtendo-se uma poupança energética na ordem dos 120 000 €. Realizando uma análise simplista, a poupança gerada apenas com a substituição da tecnologia poderia ascender aos 2 400 000 € no final de vida útil deste projeto, ou seja no final do vigésimo ano.

#### 4.3. EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> EXISTENTES VS. PROPOSTO

As alterações climáticas tornaram a temática do ambiente cada vez mais importante no nosso quotidiano, de modo a ter uma análise mais detalhada sobre a influência da substituição das luminárias das autoestradas, irá ser realizada uma análise neste âmbito.

A iluminação no seu todo representa cerca de 6% das emissões de CO<sub>2</sub> (Lightenjin, 2022). Com uma transição global de luminárias para a tecnologia *LED* de elevada eficiência energética, poder-se-ia economizar mais de 1.400 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> e evitar a construção de 1.250 centrais elétricas.

Uma instalação de IP tem associado a si um consumo energético, quanto maior for este consumo, mais elevado serão as emissões de CO<sub>2</sub> produzidas para alimentar esta rede. Os valores obtidos na Tabela 21, tiveram em consideração o fator de emissões de CO<sub>2</sub> de 0,47 Kg CO<sub>2</sub>/kWh, em conformidade com o despacho nº 17313/2008.

Tabela 21 - Emissões CO<sub>2</sub> anuais da solução existente vs. Proposta.

Solução Existente		Solução Proposta	
Luminária VSAP	Consumo CO <sub>2</sub> Existente [Ton.]	Luminária LED	Consumo CO <sub>2</sub> Existente [Ton.]
150 W	141,74	LUSA I N/E 24	74,19
250 W	235,42	LUSA II N/E 48	130,66
400 W	149,14	LUSA II N/E 60	25,99
Total	526,31	Total	230,84

Pode-se constatar que as emissões produzidas pela instalação de IP existente são mais do dobro da solução proposta, representando uma redução anual de emissões de CO<sub>2</sub> na ordem das 295 toneladas. Na Figura 24 é representado a diferença de cada uma das soluções em estudo.

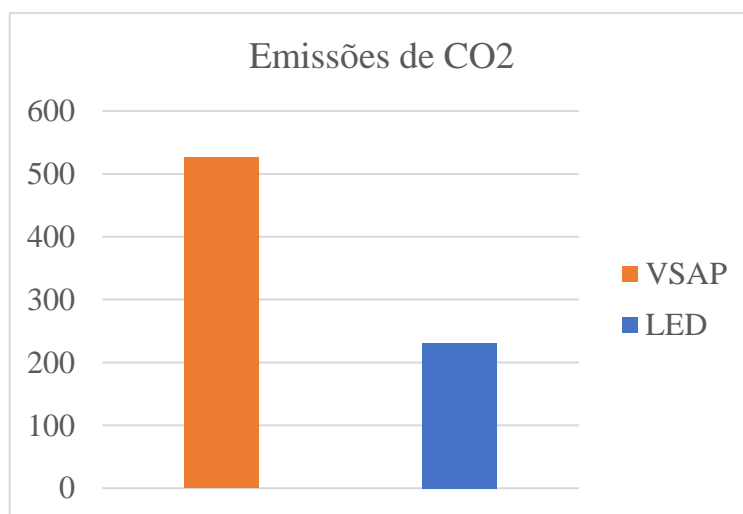


Figura 24 – Relação entre emissões de CO<sub>2</sub> da solução existente vs. Proposta.

O cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> é obtido pela seguinte equação:

$$E_{CO2} = E_{Ca} \times Fe \quad (179)$$

em que,

$E_{O2a}$  – Emissões de CO<sub>2</sub>, Ton.;

*Eca* – Energia consumida anualmente, MWh/ano;

*Fe* – Fator de emissões de CO<sub>2</sub>, Kg CO<sub>2</sub>/kWh;

#### **4.4. AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÓMICA DA SOLUÇÃO EXISTENTE VS. PROPOSTO**

De modo a avaliar a rentabilidade do projeto, é necessário obter os custos associados à manutenção dos equipamentos e também os custos de aquisição dos equipamentos novos a instalar. Esta análise permitirá obter uma diversidade de parâmetros para realização do estudo técnico-económico.

##### **4.4.1. CUSTO DE AQUISIÇÃO E MANUTENÇÃO DA SOLUÇÃO EXISTENTE VS. PROPOSTO**

Na avaliação dos custos de aquisição dos equipamentos, foi realizada uma abordagem junto do fornecedor das luminárias de modo a obter os valores de venda mais aproximados possíveis da realidade. Apesar de terem um custo de aquisição inicial elevado, a tecnologia *LED* apresenta custos de manutenção muito reduzidos, além de que as luminárias escolhidas para este projeto, garantem uma longevidade elevada, sendo que em condições ideais, a vida útil destes equipamentos pode atingir as 100 000 horas de funcionamento.

Por sua vez, a solução existente apesar de apresentar custos de aquisição nulos, pois as luminárias já se encontram instaladas, estas apresentam uma elevada necessidade de manutenções ao longo da vida. Os custos de manutenção são bastante elevados devido à reduzida vida útil das lâmpadas de VSAP. Atendendo que esta tecnologia está em fim de ciclo, a oferta destes equipamentos cada vez é mais escassa no mercado, provocando assim um aumento dos custos associados à aquisição das lâmpadas. Estas lâmpadas usualmente apresentam uma vida útil de 12 000 horas de funcionamento, sendo este o valor considerado na análise dos custos de manutenção.

Na Tabela 22 é possível visualizar que os custos de aquisição da tecnologia *LED* ultrapassam os 700 000 €, enquanto a tecnologia de VSAP tem um custo de aquisição nulo.

Tabela 22 - Custo de aquisição luminárias existentes vs. proposta.

Solução Existente		Solução Proposta		
Luminária VSAP	Custo Aquisição [€]	Luminária LED	Custo Aquisição luminária [€]	Custo Aquisição Global [€]
150 W	- €	LUSA I N/E 24	189 €	238 518,00 €
250 W	- €	LUSA II N/E 48	280 €	397 880,00 €
400 W	- €	LUSA II N/E 60	301 €	82 474,00 €
Total	- €	Total		718 872,00 €

O maior peso de aquisição dos equipamentos é associado à luminária LUSA II N/E 48, representando 55% do investimento inicial, seguindo-se da LUSA I N/E 24, com um peso de 33% e por fim a luminária LUSA II N/E 60 representa 11% do investimento inicial.

Os custos de manutenção associados às luminárias de VSAP estão divididos em dois grupos, o custo de aquisição da lâmpada e o custo da mão de obra na substituição das mesmas. Pode ser visualizado na Tabela 23 o custo de cada uma destas parcelas.

Tabela 23 - Custos de manutenção inerente às luminárias de VSAP.

Lâmpada VSAP 150 W	12,21 €
Lâmpada VSAP 250 W	15,35 €
Lâmpada VSAP 400 W	20,08 €
Substituição lâmpada VSAP	30,00 €

Os valores representados foram obtidos com uma pesquisa de mercado, chegando-se à conclusão de que estes valores são próximos dos praticados atualmente pela concessionária das autoestradas.

Relativamente às luminárias *LED*, atendendo que esta tecnologia ainda está numa fase inicial da sua vida, não existem ainda estudos que evidenciem o custo de manutenção associado a esta tecnologia, apenas sabe-se que são bastante inferiores aos praticados pela tecnologia de VSAP. Após pesquisa em alguma literatura sobre este âmbito, foi determinado por alguns autores que um valor razoável para os custos de manutenção dos equipamentos LED se situasse na casa dos 10%, para alguma avaria que possa surgir neste período, para resolução de falhas abruptas, ocasionais, e um custo de manutenção preventiva e periódica (Camões, 2019).

Na Tabela 24 é possível visualizar o custo de manutenção anual associado a cada uma das tecnologias em estudo.

Tabela 24 - Custos de manutenção de desgaste anual da solução existente vs. proposta.

	Solução Existente		Solução Proposta	
	Vida útil [h]	Desgaste/ano	Vida útil [h]	Desgaste/ano
	12 000	19,3%	100 000	2,3%
Desgaste/ano Aquisição Lâmpada [€]	2,79 €		-	
Desgaste/ano Substituição Lâmpada [€]	5,791 €		-	
Desgaste/ano Manutenção Luminária LED [€]	-		0,63 €	
Custo Manutenção por Luminária Ano [€]	8,58 €		0,63 €	
Custo Manutenção global Luminárias Ano [€]	25 369,64 €		1 850,12 €	

Com base na vida útil de cada uma das tecnologias, 12 000 horas para as luminárias de VSAP e 100 000 horas para as luminárias *LED*, conjugado com o tempo de funcionamento anual da IP na A27 e A28, ou seja as 2 316 horas anuais, é determinado o desgaste anual associado a cada uma das soluções.

A solução existente irá ter um desgaste anual próximo dos 20%, o que equivale a um quinto da vida útil da lâmpada, ou seja, a cada 5 anos a concessionária da autoestrada terá de realizar ações de manutenção juntos das luminárias, de modo a substituir as lâmpadas. A solução proposta apresenta um desgaste anual dez vezes menor comparativamente com a tecnologia de VSAP, o que demonstra a reduzida manutenção associada às luminárias *LED*.

Com a introdução da tecnologia *LED*, os custos associados à manutenção irão reduzir cerca de 93%, ou seja uma poupança anual de 23 704€. No último ano de estudo, as poupanças geradas com a manutenção podem ascender aos 470 000€, ficando evidente que a aposta na tecnologia *LED* é interessante.

#### 4.4.2. INDICADORES FINANCEIROS

Após a averiguação dos custos energéticos, custos de aquisição das luminárias *LED*, os custos associados à manutenção de ambas tecnologias, é apresentado qual a viabilidade económica deste caso de estudo, com a exposição de alguns indicadores financeiros de ajuda à tomada de decisão.

O período definido para o projeto de investimento foi de 20 anos. A instalação de IP da A27 e A28 tem um período médio de funcionamento diário de 6 horas aproximadamente, ou seja, 2 316 horas de funcionamento anual. Apesar das luminárias *LED* garantirem uma vida útil de 100 000 horas de funcionamento, correspondente a cerca de 43 anos de vida, para esta instalação, foi considerado razoável realizar a análise do projeto de investimento para o período de 20 anos.

Como é usual nos projetos de investimento, é necessário definir critérios de tomada de decisão, optando-se assim nos seguintes indicadores financeiros,

- Valor Atual Líquido (VAL);
- Taxa Interna de Rentabilidade (TIR);
- *Payback Period*;
- Índice de Rentabilidade;

### Taxa de Atualização do Capital - r

De modo a determinar estes indicadores, é preciso calcular a taxa de atualização do capital. Esta taxa irá permitir, a um determinado agente económico, saber quanto vale hoje um determinado valor futuro. Esta irá permitir proceder à comparação, ao longo do tempo, de capitais e determinar qual a taxa de juro, que reflete o valor do dinheiro no tempo. Por exemplo, se considerarmos o valor de 10% para a taxa de atualização anual, um rendimento de 1100€ daqui a um ano, terá o valor de 1000€ no dia de hoje.

Os dados recolhidos tiveram por base informações facultadas por organismos oficiais. A taxa de atualização pode ser calculada através da seguinte expressão:

$$r = (1 + i) \times (1 + j) - 1 \quad (20)$$

em que,

r – Taxa de atualização do capital, %;

i – Taxa de inflação, %;

j – Custo dinheiro, %;

Considerando a taxa de inflação do ano em 2021, pois é o último ano completo, podemos assumir o valor de 1,3 % (PORDATA, 2021). Após averiguação junto das entidades competentes, foi considerado um valor para o custo do dinheiro estimado no valor de 5% para um empréstimo a empresa (Parchão, 2019). Pode-se chegar à conclusão de que o valor da taxa de atualização do capital, para este projeto é de 6,37 %.

### Cash Flow Descontados - CFD

De modo a determinar o impacto da substituição das luminárias convencionais por *LED*, foi aplicado o método dos *Cash Flow* Descontados (CFD). Este método é destinado à análise económico-financeira de avaliação de projetos de uma empresa ou ativo. O CFD pode ser avaliado em duas perspetivas, a do negócio e a do acionista, atendendo que este projeto é destino exclusivamente à substituição de luminárias e análise da viabilidade económica, a perspetiva de análise irá recair no lado do acionista.

Atendendo que a avaliação irá ser sobre a substituição das luminárias, o CFD irá ter como base cálculo, as poupanças associadas ao consumo de energia e as poupanças associadas à manutenção dos equipamentos. O valor económico gerado pelo investimento das luminárias *LED*, corresponde às poupanças obtidas face ao cenário existente, ou seja, o cenário das luminárias convencionais onde não existe um investimento associado na aquisição de luminárias de VSAP. Desta forma, a expressão do CFD é expressa pela seguinte equação:

$$\text{CFD} = \text{Poupanças Energéticas} + \text{Poupanças Manutenção} - \text{Investimento} \quad (21)$$

### Valor Atual Líquido - VAL

O VAL é um dos indicadores financeiros mais utilizados para a avaliação dos investimentos realizados. É uma fórmula económico-financeira capaz de determinar o valor presente de pagamentos futuros descontados a uma taxa de atualização apropriada, menos o custo do investimento inicial, neste caso o investimento nas luminárias *LED*. Por outras palavras “corresponde ao somatório dos *cash flows* livres descontados somado de um valor terminal.”.

De modo a perceber qual o impacto deste indicador na avaliação técnico-económica, foi considerada a seguinte metodologia,

- $VAL > 0$ , as poupanças excedem os custos;
- $VAL = 0$ , as poupanças cobrem os custos;
- $VAL < 0$ , as poupanças são insuficientes para pagar os custos.

Na equação seguinte é representada o método de cálculo do VAL:

$$VAL = \sum_{t=0}^n \frac{CFDt}{(1+r)^t} \quad (22)$$

em que,

CFD – *Cash Flow* Descontados, €;

r – Taxa de atualização do Capital, %;

### Taxa Interna de Rentabilidade - TIR

Sendo a TIR é um indicador usado para medir a rentabilidade de projetos de investimento, esta taxa é entendida como sendo a taxa mínima de remuneração por parte do investidor. Ou seja, quanto mais elevada é a TIR, maior a rentabilidade do projeto. Se a TIR for superior à taxa de custo de capital, o projeto é viável.

O cálculo deste indicador pode ser avaliado pela seguinte metodologia,

- $TIR > r$ , rentabilidade do projeto superior à taxa custo capital;
- $TIR = r$ , rentabilidade do projeto igual à taxa custo capital;
- $TIR < r$ , rentabilidade do projeto inferior à taxa custo capital;

Na equação seguinte é representada o método de cálculo do TIR:

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{CFDt}{(1+TIR)^t} \quad (23)$$

em que,

CFD – *Cash Flow* Descontados, €;

TIR – Taxa Interna de Rentabilidade, %;

### Payback Period

O indicador *Payback Period* corresponde ao período necessário para que o projeto permita a recuperação dos capitais nele investidos. Retornos mais curtos significam investimentos mais atraentes, enquanto períodos de retorno mais longos são menos desejáveis. Ou seja, o *Payback* é um indicador do tempo de retorno de um investimento e um método de tomada de decisões que considera o tempo para obtenção dos valores de retorno do investimento.

A regra de decisão para aceitação de projetos é este indicador ser inferior à duração da vida do projeto, sendo boa prática, não aceitar projetos que demorem muitos anos, mesmo que este estejam longe do fim do projeto.

Na equação seguinte é representada o método de cálculo do *Payback Period*:

$$\text{Payback Period} = T, \text{ quando } \sum_{t=0}^T \frac{CFDt}{(1+r)^t} = I. \quad (24)$$

em que,

CFD – *Cash Flow* Descontados, €;

I – Investimento, €;

r – Taxa de custo de capital, %;

### Índice de Rentabilidade

O indicador índice de rentabilidade representa a rentabilidade oferecida pelo projeto por unidade de capital nele investida. Ou seja, o índice de rentabilidade traduz a capacidade de geração de fundos, com valor de disponibilidade imediata, de cada unidade monetária investida no projeto.

A regra de decisão para aceitação de projetos é este indicador ser superior à unidade, sendo que valores inferiores à unidade não devem ser aceites.

Na equação seguinte é representada o método de cálculo do Índice de Rentabilidade:

$$\text{Índice de Rentabilidade} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{CFDt}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{I}{(1+r)^t}} \quad (25)$$

em que,

CFD – *Cash Flow* Descontados, €;

I – Investimento, €;

r – Taxa de custo de capital, %;

#### 4.4.3. ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÓMICA DO PROJETO

Um Estudo de Viabilidade Económica e Financeira é fundamental para projetos na perspetiva de uma empresa já em atividade e que necessite de avaliar a valia de um eventual projeto de investimento a realizar e qual o seu impacto na empresa. Esta análise irá partir da utilização do método do CFD, sendo uma técnica de orçamento de capital e é utilizado para determinar o valor presente de um projeto com base no dinheiro que pode gerar no futuro.

No decorrer dos 20 anos do caso de estudo, este irá determinar quais as poupanças obtidas com a substituição das tecnologias, aplicando sempre a taxa de atualização calculada anteriormente. Na Tabela 25 pode-se visualizar o CFD em cada ano.

Tabela 25 - Poupanças obtidas com a substituição de tecnologia num período de 20 anos.

Ano	Solução Existente	Solução Proposta	CFD [€]
	Custo Acumulado [€]	Custo Acumulado [€]	
0	0 €	718 872 €	-718 872 €
1	223 882 €	808 170 €	-584 288 €
2	434 367 €	892 124 €	-457 757 €
3	632 256 €	971 054 €	-338 798 €
4	818 303 €	1 045 261 €	-226 958 €
5	993 217 €	1 115 027 €	-121 810 €
6	1 157 664 €	1 180 619 €	-22 955 €
7	1 312 270 €	1 242 285 €	69 985 €
8	1 457 625 €	1 300 261 €	157 364 €
9	1 594 281 €	1 354 768 €	239 513 €
10	1 722 760 €	1 406 013 €	316 747 €
11	1 843 550 €	1 454 192 €	389 358 €
12	1 957 112 €	1 499 487 €	457 625 €
13	2 063 878 €	1 542 072 €	521 806 €
14	2 164 256 €	1 582 108 €	582 147 €
15	2 258 626 €	1 619 749 €	638 877 €
16	2 347 350 €	1 655 137 €	692 212 €
17	2 430 764 €	1 688 408 €	742 356 €

18	2 509 186 €	1 719 688 €	789 499 €
19	2 582 916 €	1 749 096 €	833 820 €

Pode-se constatar que o custo acumulado com a solução existente pode ascender próximo dos 2 600 000€, sendo que por sua vez, a introdução da tecnologia *LED* apenas representa 68% dos custos acumulados, ou seja 1 750 000€ aproximadamente, comparativamente com a tecnologia de VSAP.

Sendo que no ano 0 existe um investimento na aquisição das luminárias *LED*, este será o valor base para a determinação das poupanças obtidas ao longo dos 20 anos de estudo. Sendo evidente a redução anual acentuada na anulação do investimento inicial. Na Tabela 26 tem um resumo dos indicadores financeiros anteriormente referidos.

Tabela 26 - Resultado do estudo económico–financeiro.

VAL [€]	833 820 €
TIR [%]	12,07%
<i>Payback Period</i> [anos]	6 anos e 2 meses
Índice de Rentabilidade	1,16

- O investimento apresenta um VAL superior a 800 000 €, com uma taxa de desconto de custo capital de 6,37%. Tornando-se notório a poupança obtida ao longos dos 20 anos do projeto;
- A TIR do investimento é de 12,07%, ficando acima da taxa de custo capital, tornando assim o investimento viável e atrativo;
- *Payback Period* deste investimento é obtido aproximadamente ao fim de 6 anos e 2 meses de exploração. O retorno do investimento é já uma realidade, pois a solução existente passa a ser mais onerosa que a solução proposta após este período, podendo afirmar-se que o projeto é apelativo;
- O índice de rentabilidade deste investimento é de 1,16 por unidade de capital investido. Visto que o valor obtido é superior em 16% comparativamente à unidade, torna-se de novo evidente que o projeto é rentável

Na Figura 25 é possível visualizar a evolução dos custos associados de cada uma das tecnologias, numa perspetiva a longo prazo a tendência de cada uma das soluções, ficando de novo claro que a transição de tecnologia é uma opção atrativa.

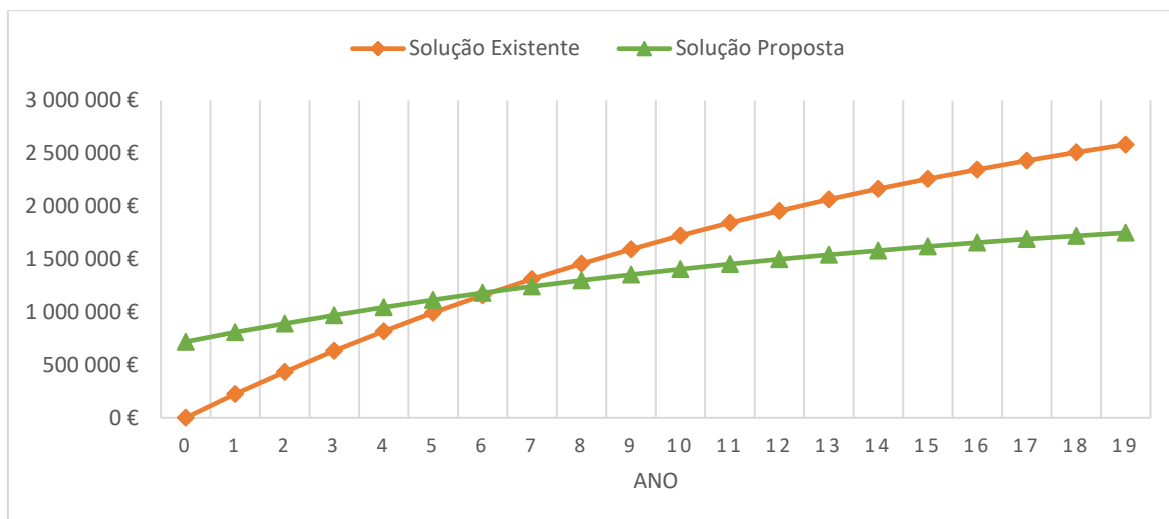


Figura 25 - Evolução dos custos associados à solução existente vs. proposta.

#### 4.5. CENÁRIOS DE FUNCIONAMENTO

Após análise dos resultados obtidos, podemos concluir que o projeto apresenta uma atratividade interessante, garantindo aos seus investidores um retorno financeiro ajustado ao risco que correm. Todos os indicadores financeiros calculados podem ser considerados positivos, podendo apenas o *Payback Period* ser menor, de modo a ter uma atratividade maior no projeto, mas atendo ao tempo de vida útil da tecnologia *LED* pode ser considerado à mesma um bom investimento.

Para o estudo de viabilidade económica desta dissertação, partindo de um investimento de inicial de 718 872 €, para o período de 20 anos, obtêm-se os seguintes resultados,

- Redução dos custos energéticos em cerca de 119 446 €/ano;
- Redução do consumo em cerca de 629 MWh/ano;
- Redução das emissões de CO<sub>2</sub> em cerca de 295 Ton./ano;
- Poupanças energéticas na ordem dos 58%;
- Redução dos custos de manutenção em cerca de 23 705 €/ano.

Em termos de indicadores financeiros referentes à substituição das luminárias convencionais por luminárias *LED*, obtemos os seguintes resultados,

- VAL de 833 820 €;

- TIR de 12,07%;
- *Payback Period* de 6 anos e 2 meses;
- Índice de rentabilidade do projeto de 1,16.

No desenvolvimento deste projeto foram indicados alguns pressupostos para a avaliação final do caso de estudo, pressupostos que têm influência direta na análise global. O facto da instalação de IP ter já implementado medidas de redução de consumos nas suas luminárias, diminui o alcance dos resultados esperados, mas garantindo à mesma a atratividade do projeto. Também o facto de o caso de estudo cingir-se apenas a 20 anos de análise, não favorece os resultados globais.

Em modo de desenvolvimento dos dois cenários mencionados, é referenciado de seguida quais os resultados obtidos para cada um destes.

Cenário A: Instalação de IP existente com luminárias sem medidas de redução de potência, mantendo as horas de funcionamento diárias, considerando a vida útil do projeto de 20 anos.

Considerando que a concessionária das autoestradas não implementaria nenhuma medida de redução de consumos nas luminárias existentes, estas teriam consumos que em certos casos passariam para o dobro ou triplo do atual, sendo que tal cenário influenciaria drasticamente a análise de estudo.

Em termos de poupanças são obtidos os seguintes resultados,

- Redução dos custos energéticos em cerca de 247 660 €/ano;
- Redução do consumo em cerca de 1303 MWh/ano;
- Redução das emissões de CO<sub>2</sub> em cerca de 613 Ton./ano;
- Poupanças energéticas na ordem dos 70%;
- Redução dos custos de manutenção em cerca de 23 705 €/ano.

Em termos de indicadores financeiros são obtidos os seguintes resultados,

- VAL de 2 224 499 €;
- TIR de 29,42%;
- *Payback Period* de 2 anos e 8 meses;
- Índice de rentabilidade do projeto de 3,09.

Cenário B: Instalação de IP existente com luminárias medidas de redução de potência, mantendo as horas de funcionamento diárias, considerando a vida útil de 100 000 horas de funcionamento das luminárias *LED*.

As luminárias *LED* escolhidas para este projeto, apresentam uma vida útil de 100 000 horas, sendo que, ao longo dos 20 anos do projeto a instalação de IP terá um total de 46 325 horas de funcionamento, ou seja, menos de metade da vida útil das luminárias *LED*. Os resultados obtidos com a instalação de IP, mantendo as medidas de eficiência energética implementadas atualmente e assumindo que as luminárias *LED* iram operar as 100 000 horas, o que corresponde a cerca de 43 anos de operação.

Em termos de poupanças são obtidos os seguintes resultados,

- Redução dos custos energéticos em cerca de 119 446 €/ano;
- Redução do consumo em cerca de 629 MWh/ano;
- Redução das emissões de CO<sub>2</sub> em cerca de 295 Ton./ano;
- Poupanças energéticas na ordem dos 58%;
- Redução dos custos de manutenção em cerca de 23 705 €/ano.

Atendendo que os consumos da instalação de IP existente são iguais ao cenário do caso de estudo, estes não sofram nenhuma alteração por ano, sendo que no final da vida útil da luminária *LED*, as poupanças em termos absolutos serão muito superiores.

Em termos de indicadores financeiros são obtemos os seguintes resultados,

- VAL de 1 371 795 €;

- TIR de 12,07%;
- *Payback Period* de 6 anos e 2 meses;
- Índice de rentabilidade do projeto de 1,91.

#### **4.6. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS**

Conforme mencionado no subcapítulo anterior, o facto de já existirem medidas de redução de consumos implementadas diminui o alcance das poupanças esperadas, mas mantendo uma atratividade interessante do projeto.

Atendendo que as luminárias selecionadas estão projetadas para operar cerca de 100 000 horas ao longo da sua vida útil, e que o projeto de investimento aponta para um retorno do mesmo no ano seis e mês dois, o que corresponderia a cerca de 14 000 horas de operação efetiva, ou seja 14% da sua vida útil, ou que se quisermos também, seria semelhante à troca de lâmpadas da tecnologia atual neste período de operação. Analisando o projeto a médio/longo prazo, pode-se afirmar que o *payback period* é relativamente atrativo. Tanto o VAL como a TIR apresentam valores que podem incentivar a este investimento, pois representam poupanças efetivas nos custos de operação e manutenção da sua instituição e também na sua política de redução da pegada ecologia na sociedade.

Na análise dos dois cenários referenciados anteriormente, podemos constatar os seguintes aspetos.

##### Cenário A:

- Pode-se constatar que as simples implementações de medidas de eficiência energética fazem toda a diferença nos custos associados à instalação de IP;
- As poupanças alcançadas foram deveras superiores ao caso de estudo, garantindo uma atratividade interessante do projeto, reduzindo o *Payback Period* para apenas 2 anos e 8 meses, aumento do VAL em cerca de 166% e da TIR em valores próximos deste;
- A redução da fatura energética passa dos 58% para os 70%, diminuindo assim as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera em mais do dobro;

Neste cenário a concessionária das autoestradas seria bastante beneficiada com esta transição energética, pois apresenta indicadores bastante atrativos, que demonstram que a aposta em tecnologias mais avançadas e eficientes podem representar poupanças energéticas e financeiras, acompanhadas de melhorias significativas na segurança rodoviária.

### Cenário B:

- É possível verificar que os dados que sofrem influência com o prolongamento da análise do projeto são o VAL, que aumenta cerca de 64%;
- O índice de rentabilidade sobe de 1,16 para 1,91, ou seja um aumento de 60%;
- A poupança energética passa de 12 GWh no final do vigésimo ano para 27 GWh no final da vida útil das luminárias, ou seja um aumento da poupança em cerca de 14 GWh;
- A redução de emissões de CO<sub>2</sub> aumenta de 5909 toneladas no vigésimo ano, para 12705 toneladas, ou seja um aumento da poupança de 6795 toneladas neste período.

Apesar de neste cenário não ser evidente uma redução do seu *payback period*, o mesmo analisa a longo prazo a influencia que as luminárias terão nos custos associados à operação e manutenção, demonstrando que a aposta nestas soluções pode significar avanços significativos na gestão de recursos alocados a este efeito.



# 5. CONCLUSÕES

## 5.1. ANÁLISE CONCLUSIVA

Cada vez mais a iluminação é uma componente determinante na redução de custo associados à energia, sendo que a introdução da tecnologia *LED*, trouxe ganhos significativos de eficiência energética na iluminação no seu todo. Além da otimização de custos a longo prazo, a tecnologia *LED* melhorou o capítulo da segurança rodoviária, através dos seus sistemas óticos capazes de se adaptarem a diversos contextos, quer pela “orientação” do espectro de luz para onde ela é necessária. Os ganhos na transição da tecnologia convencional por *LED*, por si já são bastante elevados, sendo que quando agregados a sistemas de telegestão, estes ganhos tornam-se ainda superiores e permitem que as cidades se tornem cada vez mais dinâmicas e inteligentes e menos poluidoras.

As luminárias *LED* introduziram melhorias significativas na IP, quer no ponto de vista técnico, económico e qualitativo, tais como,

- Acendimento automático;

- Ausência de efeito flicker<sup>13</sup> que provocam cansaço;
- Minimização da luz indesejada, mais luz no ponto de trabalho;
- Menores consumos;
- Maior duração da vida útil da luminária;
- Menor Custos de Manutenção.

As cidades estão a converter-se diariamente em *Smart Cities*<sup>14</sup> (Sanseverino, Scaccianoce, Vaccaro, Zizzo, & Pennisi, 2015), introduzindo sistemas de iluminação e tecnologias emergentes no mercado, proporcionando que estes sejam mais dinâmicos e sustentáveis à sociedade. A introdução de sistemas de telegestão na IP, originou novos métodos de planeamento e execução de projetos de IP, fomentando o retornando do investimento numa fase prematura da instalação. A tecnologia *LED* das luminárias associada aos sistemas de telegestão gera um valor acrescentado à sociedade e futuras *Smart Cities*.

Pode-se concluir que o investimento realizado neste projeto, retorna uma aposta positiva e rentável do projeto, aumentando os recursos disponibilizados ao longo do tempo e melhorando os níveis de segurança para as pessoas que usufruem dos serviços destinados a este âmbito.

Com um investimento próximo dos 700 000 €, é possível garantir uma redução da fatura energética na ordem dos 120 000 € anuais, ou seja uma redução próxima dos 60 %, ajudando ao mesmo tempo o meio ambiente, com a redução das emissões de CO<sub>2</sub> inerentes da produção da energia elétrica necessária para alimentar as luminárias, na ordem das 295 toneladas por ano. Em termos de manutenção, existe uma poupança anual próxima dos

---

<sup>13</sup> Impressão visual resultante das variações de fluxo luminoso nas lâmpadas elétricas causadas pelas flutuações da tensão de alimentação.

<sup>14</sup> Cidade que usa tipos diferentes de sensores eletrônicos para armazenar dados e usá-los para gerir recursos e ativos eficientemente. Incluindo dados armazenados de cidadãos, dispositivos que são processados e analisados para monitorizar e gerir sistemas de tráfego e transporte, centrais de energia, redes de abastecimento de água, gerir o saneamento básico, deteção de crimes, sistemas de informação, escolas, livrarias, hospitais e diversos outros serviços para a comunidade.

24 000€, na troca de lâmpadas, balastos, condensadores, entre outros elementos constituintes das luminárias de VSAP.

Em termos de indicadores financeiros, conforme mencionado no capítulo anterior, apesar dos mesmo serem positivos e atrativos, os mesmo poderiam ter outra expressão caso não existissem medidas de redução de potência na instalação existente. Medidas estas que influenciam todos os indicadores financeiros de uma força relevante.

## **5.2. PERSPETIVAS FUTURAS**

É possível apontar algumas pistas para desenvolvimentos futuros, nomeadamente sobre os temas: modelos de gestão dos contratos de desempenho energético na iluminação pública e viabilidade económica da introdução de telegestão na rede de iluminação pública.

Em Portugal estão a decorrer diversos projetos pilotos que visam potencializar a eficiência dessas instalações, sendo que em muitos destes a utilização de sistemas de telegestão está presente, obtendo-se uma redução considerável nos custos de manutenção, para além das vantagens mencionadas anteriormente.

Outro conceito que poderá vingar no futuro são as *smart grids*<sup>15</sup>, onde a iluminação poderá ter um papel ser um dos principais beneficiadores destes sistemas. Estes sistemas visão à redução dos consumos energéticos, aumentando ao mesmo tempo a qualidade de serviço prestada.

Existem em Portugal e um pouco por todo o mundo empresas que introduzem conceitos novos conceitos de como o espaço público deve ser organizado e gerido, um a introdução de candeeiros inteligentes, que agregam a iluminação aos serviços que podem prestar aos clientes no mesmo poste. Uma das empresas que está a fazer uma grande aposta nesta área é a Smartlamppost, onde utiliza o conceito modular de mobiliário urbano que permite aos municípios, empresas preparar a sua oferta para o futuro com uma vasta gama de soluções

---

<sup>15</sup> Permitem maior alcance no controlo e supervisão do sector elétrico, visto proporcionarem monitorização em tempo real do comportamento e ações de todos os utilizadores que estiverem conectados, cujo propósito é fornecer a eletricidade de forma eficiente, económica e segura.

habitacionais flexíveis e de alto nível, com isso permitir acomodar todas as necessidades de uma *smart citie*. Ou seja acomodar no mesmo elementos os sistemas de iluminação, telecomunicações, carregamento de veículos elétricos, sistemas de CCTV, entre outros sistemas.

## Referências Bibliográficas

- Abdmouleh, Zeineb, Gastli, Adel, & Ben-Brahim, Lazhar (2018). Survey about public perception regarding smart grid, energy efficiency & renewable energies applications in Qatar. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(July 2016), 168–175. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.023>
- Branco, Renato (2010). Sustentabilidade e Gestão d a Iluminação Pública. *3as JORNADAS ELECTROTÉCNICAS: MÁQUINAS E INSTALAÇÕES ELÉTRICAS*, 1–11. Retrieved from [http://ave.dee.isep.ipp.pt/~see/jornadas2010/Jornadas/%0Aimages/Pdf/Schreder\\_RenatoBranco.pdf](http://ave.dee.isep.ipp.pt/~see/jornadas2010/Jornadas/%0Aimages/Pdf/Schreder_RenatoBranco.pdf).
- Bustorff, José (2018). Dissertação “*Eficiência da iluminação pública : uma aplicação ao concelho de Loures*”. ISEL
- Cruzeiro, Daniel (2021). Dissertação “*Redes de Iluminação Pública Multisserviços*”. ISEP
- E-REDES (outubro 2016). Revisão “*Manual Iluminação Pública*”.
- E-REDES (novembro 2017). APARELHOS DE ILUMINAÇÃO ELÉTRICA E ACESSÓRIOS Luminárias de iluminação pública : tecnologia LED. *Aparelhos De Iluminação Elétrica E Acessórios*, Edição 4, Revisão 1, página 26.
- E-REDES (2019). Iluminação Pública - Um instrumento de Cidadania. | E-REDES. Retrieved January 27, 2022, from <https://www.e-redes.pt/pt-pt/historias/iluminacao-publica-um-instrumento-de-cidadania>
- INSTALADOR (2021). A eficiência energética na Iluminação Pública - O Instalador - Informação profissional do setor das instalações em Portugal. Retrieved January 27, 2021, from <https://oinstalador.com/Artigos/323007-A-eficiencia-energetica-na-Iluminacao-Publica.html>
- Maierová, Lenka (2018). Public Lighting, Public Health. *7th Lighting Conference of the Visegrad Countries, LUMEN V4 2018 - Proceedings*, 18–22. <https://doi.org/10.1109/LUMENV.2018.8521032>

Neutro à Terra (1º Semestre 2021). Revista Técnico-científica *Neutro à terra*. Nº 27, Ano 14

Parchão, Bruno (2019). Dissertação “*SISTEMA DE ILUMINAÇÃO EFICIENTE PARA AUTOESTRADAS: E STUDIO TÉCNICO – ECONÓMICO*”. ISEP

Parte I -, & ANMP, CPI; OE; OET; RNAE; DGEG; (2018). Eficiência Energética Na Iluminação Pública Parte I-Conceitos De Luminotecnia. In *Centro Português de Iluminação*. 2º Edição

Parte II - CPI; OE; OET; RNAE; DGEG; ANMP (2018). *Documento de Referência DREEIP - Projeto de Iluminação Pública*, 2.ª Edição

PORDATA (2021). PORDATA - Taxa de Inflação (Taxa de Variação do Índice de Preços no Consumidor): total e por consumo individual por objectivo. Retrieved June 30, 2022, from

[https://www.pordata.pt/Portugal/Taxa+de+Inflação+\(Taxa+de+Variação+do+Índice+de+Preços+no+Consumidor\)+total+e+por+consumo+individual+por+objectivo-2315](https://www.pordata.pt/Portugal/Taxa+de+Inflação+(Taxa+de+Variação+do+Índice+de+Preços+no+Consumidor)+total+e+por+consumo+individual+por+objectivo-2315)

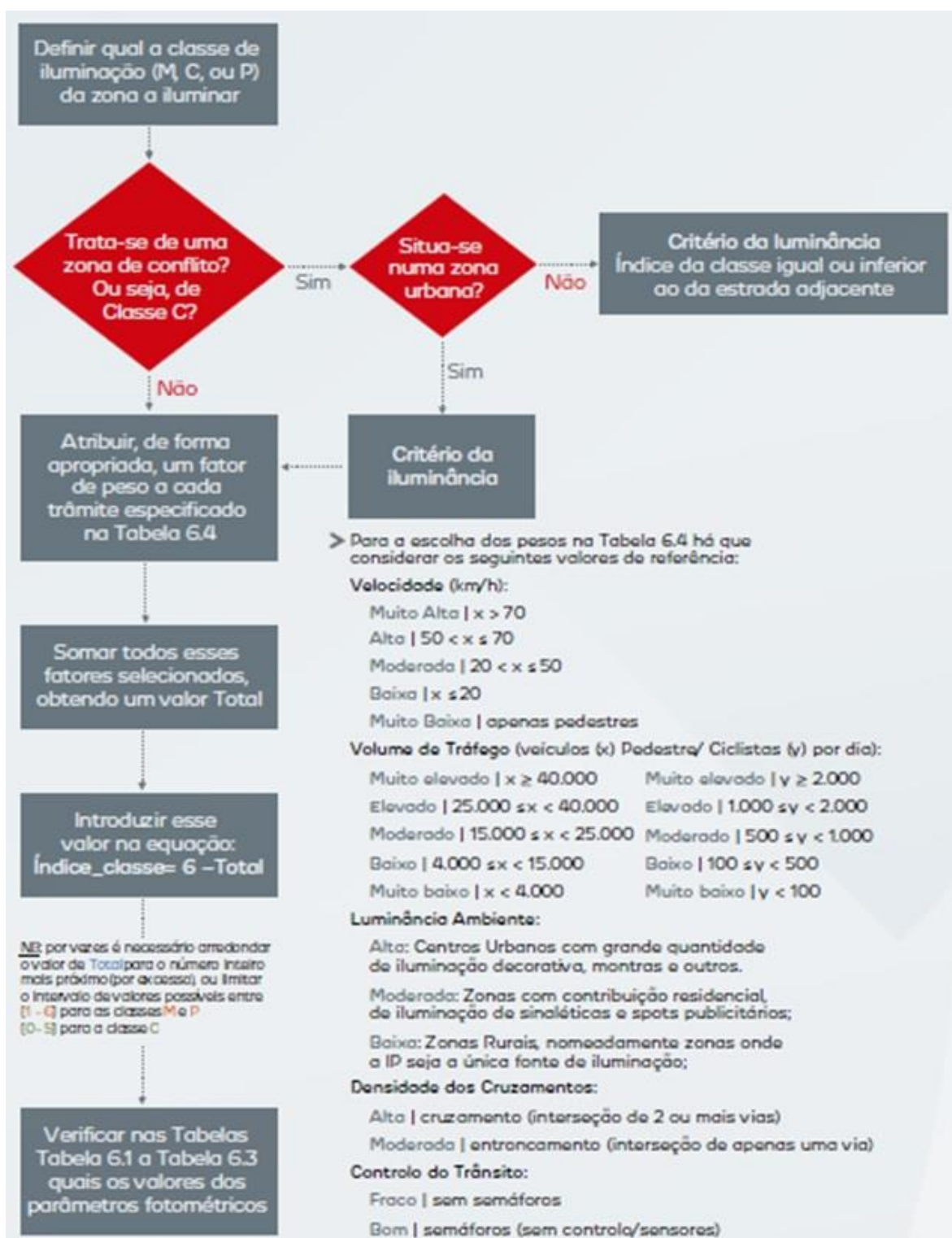
Sanseverino, Eleonora Riva, Scaccianoce, Gianluca, Vaccaro, Valentina, Zizzo, Gaetano, & Pennisi, Silvia (2015). Smart city and public lighting. *2015 IEEE 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering, IEEEIC 2015 - Conference Proceedings*, 665–670. <https://doi.org/10.1109/IEEEIC.2015.7165244>

SUNDRAX (2018). *QULON-by-Sundrax-2018-Catalogue*.

UE (2007). *Critérios CPE da UE relativos a Iluminação Pública e Sinalização Rodoviária*. 1–16.

VLEX (2019). Regulamento n.º 642/2019 - 14 de Agosto de 2019 - Diário da República - Legislação - VLEX 808555745. Retrieved June 30, 2022, from <https://vlex.pt/vid/regulamento-n-642-2019-808555745>

## *Anexo A. Fluxograma Classes de Iluminação*



## *Anexo B. Fatores de Peso de Caracterização da IP*

Fatores de peso que caracterizam o local público a iluminar				
Parâmetro	Opções	M	C	P
Velocidade	Muito alta	1	3	-
	Alta	0,5	2	-
	Moderada	0	1	-
	Baixa	-	0	1
	Muito baixa	-	-	0
Volume de tráfego	Muito elevado		1	
	Elevado		0,5	
	Moderado		0	
	Baixo		-0,5	
	Muito baixo		-1	
Composição do trânsito	Elevada percentagem de não motorizados	2		-
	Misturado	1		-
	Apenas motorizado	0		-
	Pedestres, ciclistas e tráfego motorizado	-		2
	Pedestres e tráfego motorizado	-		1
	Pedestres e ciclistas	-		1
	Pedestres ou ciclistas	-		0
Separação das faixas	Não	1		-
	Sim	0		-
Densidade dos cruzamentos	Alta	1		-
	Moderada	0		-
Veículos estacionados	Presente	0,5	-	0,5
	Não presente	0	-	0
Luminância ambiente	Alta		1	
	Moderada		0	
	Baixa		-1	
Controlo do trânsito	Fraco	0,5		-
	Bom	0		-

*Anexo C. Ficha Técnica Luminária LUSA da  
SONERES*

SONERES



# LUSA

A luminária Lusa representa a aposta Soneres em equipamentos de iluminação dotados do melhor desempenho. O seu corpo totalmente construído em alumínio injetado atribui uma resistência e



230 V  
50 Hz

IP 66

IK 09

The Lusa Luminary is a Soneres bet on lighting equipments endowed with the best performance. Its body is totally built with injected aluminium which assigns a remarkable endurance and



# LUSA

## Descrição de Produto

A luminária LUSA, desenvolvida para a iluminação viária, conjuga elevados níveis de eficiência energética com uma elevada qualidade lumínica, recorrendo à tecnologia LED de última geração de elevado desempenho. De desenho compacto e robusto, é constituída por corpo integralmente em alumínio injetado, pintado em cor RAL7035(\*), com difusor em vidro plano temperado e sistema de drenagem e ventilação integrado. Esta luminária possui um elevado índice de restituição de cor e elevada eficácia luminosa global, com um tempo de vida útil superior a 100.000 h (L90B10) e uma temperatura de cor de 4000 K(\*).

(\*) Standard

### Aplicações

Zonas urbanas, semi-urbanas e rurais;  
Zonas pedonais e ciclovias;  
Praças, parques e espaços de lazer;  
Estacionamentos e áreas exteriores.

### Vantagens

Luminária homologada segundo DMA da EDP;  
Elevados níveis de eficiência energética;  
Elevada qualidade lumínica;  
Luminária compacta e robusta;  
Luminária adaptável a várias aplicações.

### Opções

Todas as cores RAL disponíveis;  
Temperaturas de cor: 3000 K (Branco quente), e;  
5000 K (Branco frio);  
Sistema de regulação de inclinação (Rótula/Suporte articulado);  
Sistema de gestão:

- Stand-Alone;
- Multinível;
- Telegestão.

## Product Description

The LUSA luminaire, developed for roadway lighting, joins high levels of energy efficiency with elevated lighting quality, using the latest high performance LED technology. Designed to be compact and robust, the body is made entirely of injected aluminium painted in RAL7035(\*) colour with a tempered glass sheet and integrated drainage and ventilation system. This luminaire possesses elevated colour rendering and high global lighting efficiency, with a service life of over 100.000 hours (L90B10) and a 4000 K (\*) colour temperature.

(\*) Standard

### Applications

Urban, semi-urban and rural areas;  
Pedestrian areas and bicycle paths;  
Squares, parks and leisure areas;  
Car parks and exterior areas.

### Advantages

Luminaire certified according to DMA of EDP;  
High levels of energy efficiency;  
Elevated lighting quality;  
Compact and sturdy luminaire;  
Luminaire adaptable to various types of applications.

### Options

All RAL colours are available;  
Colour Temperature: 3000K (Warm white), and;  
5000K (Cool White);  
Tilt adjustment system (Swivel joint / articulated bracket);  
Management system:

- Stand-Alone;
- Multilevel;
- Remote management.

## Especificações Elétricas Electric Specifications

	Versões Versions	Tensão de entrada Input voltage	Frequência Frequency	Factor de potência Power Factor	Classe de protecção** Protection Class**
LUSA I	LUSA N/E 08 LUSA N/E 16 LUSA N/E 24 LUSA N/E 32	230 V	50 Hz	≥ 0,95	Classe I/Classe II* Class I/Class II*
LUSA II	LUSA N/E 36 LUSA N/E 48 LUSA N/E 60				

(\*) Classe II (opcional) | (\*) Classe II (opcional)

(\*\*) De acordo com a norma EN60598 | (\*\*) According to standard EN60598

Temperatura ambiente máxima estipulada:  $t_a = 40^{\circ}\text{C}$  (Não inclui uma utilização temporária a uma temperatura não excedendo  $(t_a + 10)^{\circ}\text{C}$ )  
Rated maximum ambient temperature:  $t_a = 40^{\circ}\text{C}$  (Not precluded temporary operation at a temperature not exceeding  $(t_a + 10)^{\circ}\text{C}$ )



Vistas Gerais  
Over View



# LUSA

## Especificações Fotométricas Photometric Specifications

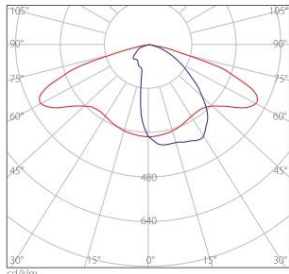
Versão Versions		LUSA I N/E			
Temperatura de cor Color Temperature		4000 K			
Número de LED's LED's number		8	16	24	32
Corrente: 350 mA Current:	Fluxo luminoso* Luminous Flux	1308 lm	2615 lm	3950 lm	5069 lm
	Potência de entrada Input Power	11 W	19 W	28 W	37 W
	Eficácia global Global efficacy	119 lm/W	138 lm/W	141 lm/W	141 lm/W
Corrente: 500 mA Current:	Fluxo luminoso* Luminous Flux	1765 lm	3530 lm	5211 lm	6974 lm
	Potência de entrada Input Power	14 W	27 W	39 W	51 W
	Eficácia global Global efficacy	126 lm/W	131 lm/W	134 lm/W	137 lm/W
Corrente: 700 mA Current:	Fluxo luminoso* Luminous Flux	2338 lm	4675 lm	6946 lm	9143 lm
	Potência de entrada Input Power	19 W	37 W	54 W	71 W
	Eficácia global Global efficacy	123 lm/W	126 lm/W	129 lm/W	129 lm/W
Corrente: 850 mA Current:	Fluxo luminoso* Luminous Flux	2817 lm	5633 lm	8369 lm	11016 lm
	Potência de entrada Input Power	24 W	44 W	66 W	87 W
	Eficácia global Global efficacy	117 lm/W	128 lm/W	127 lm/W	127 lm/W

Versão Versions		LUSA II N/E		
Temperatura de cor Color Temperature		4000 K		
Número de LED's LED's number		36	48	60
Corrente: 350 mA Current:	Fluxo luminoso* Luminous Flux	5884 lm	7900 lm	9505 lm
	Potência de entrada Input Power	41 W	54 W	66 W
	Eficácia global Global efficacy	144 lm/W	146 lm/W	144 lm/W
Corrente: 500 mA Current:	Fluxo luminoso* Luminous Flux	7942 lm	10422 lm	13076 lm
	Potência de entrada Input Power	57 W	76 W	94 W
	Eficácia global Global efficacy	139 lm/W	137 lm/W	139 lm/W
Corrente: 700 mA Current:	Fluxo luminoso* Luminous Flux	10520 lm	13892 lm	17143 lm
	Potência de entrada Input Power	81 W	106 W	132 W
	Eficácia global Global efficacy	130 lm/W	131 lm/W	130 lm/W
Corrente: 850 mA Current:	Fluxo luminoso* Luminous Flux	11690 lm	15436 lm	19048 lm
	Potência de entrada Input Power	98 W	128 W	160 W
	Eficácia global Global efficacy	119 lm/W	121 lm/W	119 lm/W

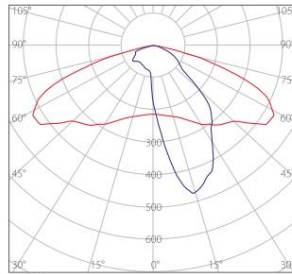
Nota: Valores nominais à temperatura ambiente média 25°C  
Note: Nominal values at average room temperature 25°C

\*Fluxo luminoso da luminária (inclui as perdas das lentes e difusor) à temperatura ambiente média de 25°C.  
Luminous flux luminaire (includes losses of lenses and diffuser) at average room temperature 25°C.

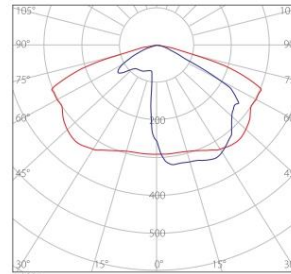




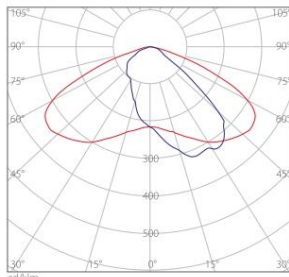
VIÁRIA TIPO I  
ROAD TYPE I



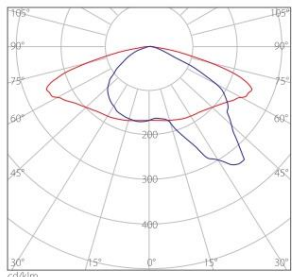
VIÁRIA TIPO II  
ROAD TYPE II



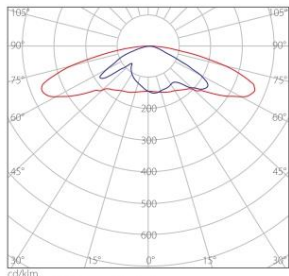
VIÁRIA TIPO III  
ROAD TYPE III



VIÁRIA TIPO C  
ROAD TYPE C



VIÁRIA TIPO K  
ROAD TYPE K



PEDONAL TIPO II  
PEDESTRIAN TYPE II

Outras fotometrias disponíveis.  
Other photometry available



# LUSA

Nó das Pirâmides (ASCENDI) - Aveiro



Polis da Ria Formosa - Faro.

Parque Ribeirinho do Estuário Tejo - Póvoa de Santa Iria, Vila Franca de Xira.



APAMETAL - Rio de Mouro, Sintra.



REV/56 23.03.2022

Mais imagens de projetos realizados no nosso site [www.soneres.pt](http://www.soneres.pt) na secção de projetos.

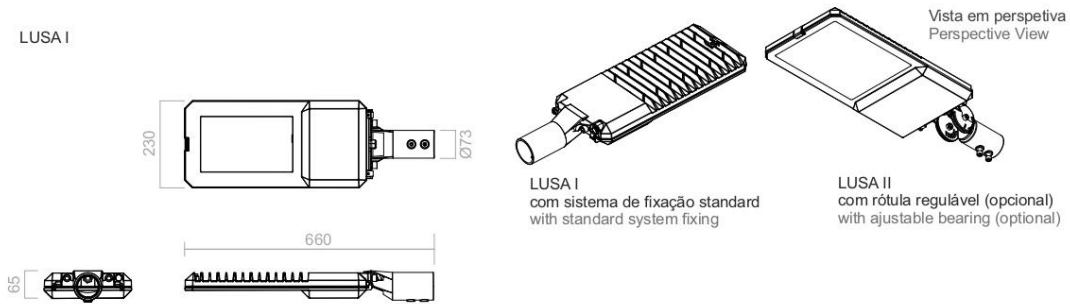


## Especificações Mecânicas Mechanical Specifications

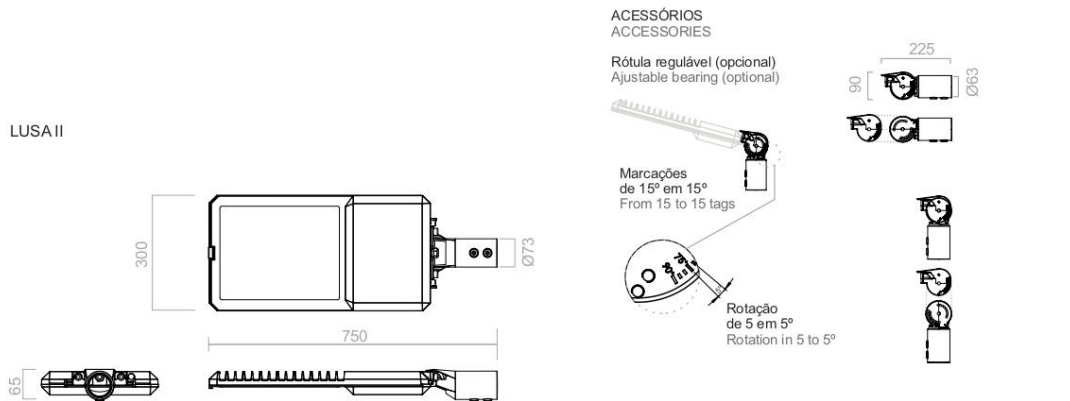
Versão Versions	Material do corpo/difusor Body Material/diffuser	Comprimento Length	Largura Width	Altura Height	Área exposta ao vento Wind exposure	Sistema de fixação Fixing System	Índices de proteção Protection degree	Massa Mass
LUSA I	Alumínio/vidro temperado extra-claro Aluminium/extra clear tempered glass	660 mm	230 mm	65 mm	0.046 m <sup>2</sup>	Ø 42 a 60 mm	IP 66 * IK 09 **	6.8 kg
LUSA/E 16								6.9 kg
LUSA/E 24								7.0 kg
LUSA II	Alumínio/vidro temperado extra-claro Aluminium/extra clear tempered glass	750 mm	300 mm	65 mm	0.048 m <sup>2</sup>	Ø 42 a 60 mm	IP 66 * IK 09 **	9.3 kg
LUSA/E 36								9.5 kg
LUSA/E 48								9.7 kg
LUSA/E 60								

(\*) De acordo com a norma EN60529 | (\*) According to standard EN60529  
 (\*\*) De acordo com a norma EN50102 | (\*\*) According to standard EN50102

### LUSA I



### LUSA II



Medidas em mm | Dimensions in mm

REV/98 23.03.2022

Publicado por:

SONERES - Iluminação Pública, S.A.  
Rua Central de Frejufe, 786  
Silva Escura  
4475 - 819 Maia-Portugal

Tlf: +351 229 417 741  
Fax: +351 229 417 706  
geral@soneres.pt

#### ADVERTÊNCIAS:

Nos termos gerais do fornecimento dos nossos serviços e/ou equipamentos, a SONERES, S.A. declina qualquer responsabilidade quanto ao uso ou fim atribuído aos mesmos, os quais são da única e exclusiva responsabilidade do cliente.

Como resultado da constante evolução tecnológica e no sentido de disponibilizar para o mercado sempre as soluções mais avançadas, a SONERES, S.A. reserva-se no direito de alterar os dados constantes deste documento sem aviso prévio.

#### WARNINGS:

Considering the general conditions of supplying our services/equipment, SONERES, S.A. rejects every responsibility in what concerns the use of the equipment their selves, as their use would be at the unique and entire responsibility of the customer.

As a result of the continuous technological evolution and in order to make available the most advanced solutions, SONERES, S.A. reserves itself the right to change all the data and information without prior warning.



*Anexo D. Estudo Luminotécnico Nó Entrada/Saída  
Autoestrada*

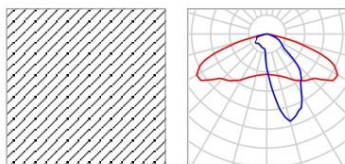
NÓ ENTRADA/SAÍDA AUTOESTRADA

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



NÓ ENTRADA/SAÍDA AUTOESTRADA

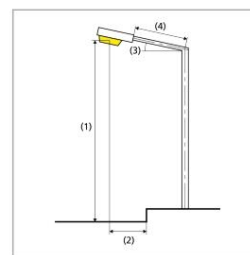
**Resumo (em direcção EN 13201:2015)**



Fabricante	Soneres	P	54.0 W
Nome do artigo	LUSA I NE 24 @700mA (Tipo II)	$\Phi_{\text{Lámpada}}$	6946 lm
Equipagem	1x 24 @700mA (Tipo II)	$\Phi_{\text{Luminária}}$	6947 lm
		$\eta$	100.01 %

LUSA I NE 24 @700mA (Tipo II) (unilateral em baixo)

Distância entre postes	36.000 m
(1) Altura de ponto de luz	12.000 m
(2) Saliência de ponto de luz	-0.750 m
(3) Inclinação de braço extensor	5.0°
(4) Comprimento braço extensor	1.250 m
Horas de funcionamento anual	4000 h: 100.0 %, 54.0 W
Consumo	1512.0 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.	$\geq 70^\circ$ : 752 cd/klm $\geq 80^\circ$ : 250 cd/klm $\geq 90^\circ$ : 9.16 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.	-
Classe de índice de encandeamento	D. 4



NÓ ENTRADA/SAÍDA AUTOESTRADA

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

Resultados para os campos de avaliação

	Tamanho	Calculado	Nominal	Check
Pista de rodagem 1 (M4)	$L_m$	0.75 cd/m <sup>2</sup>	≥ 0.75 cd/m <sup>2</sup>	✓
	$U_o$	0.81	≥ 0.40	✓
	$U_i$	0.88	≥ 0.60	✓
	TI	5 %	≤ 15 %	✓
	$R_{E1}$	0.34	≥ 0.30	✓

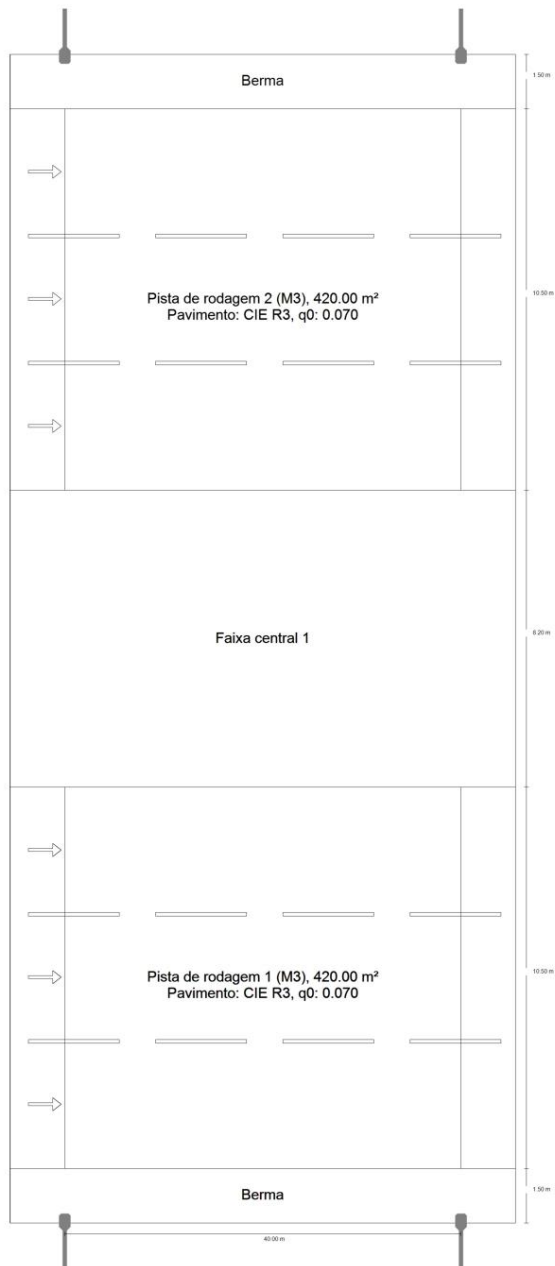
Foi calculado com uma valor de manutenção 0.90 para a instalação.

Resultados para indicadores de eficiência energética

	Tamanho	Calculado	Consumo
NÓ ENTRADA/SAÍDA AUTOESTRADA	$D_p$	0.030 W/lx*m <sup>2</sup>	-
LUSA I NE 24 @700mA (Tipo II) (unilateral em baixo)	$D_e$	1.3 kWh/m <sup>2</sup> yr,	216.0 kWh/yr

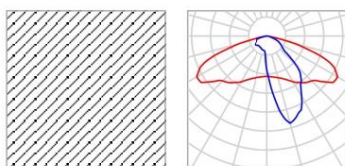
*Anexo E. Estudio Luminotécnico Via Principal  
Autoestrada A*

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



VIA PRINCIPAL AUTOESTRADA

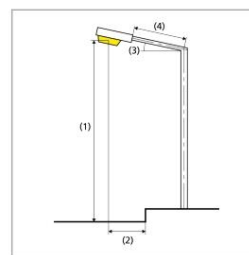
## Resumo (em direcção EN 13201:2015)



Fabricante	Soneres	P	106.0 W
Nome do artigo	LUSA II NE 48 @700mA (Tipo II)	$\Phi_{\text{Lámpada}}$	13892 lm
Equipagem	1x 48 @700mA (Tipo II)	$\Phi_{\text{Luminária}}$	13893 lm
		$\eta$	100.01 %

### LUSA II NE 48 @700mA (Tipo II) (bilateral frente a frente)

Distância entre postes	40.000 m
(1) Altura de ponto de luz	12.000 m
(2) Saliência de ponto de luz	-1.500 m
(3) Inclinação de braço extensor	5,0°
(4) Comprimento braço extensor	1.250 m
Horas de funcionamento anual	4000 h: 100.0 %, 106.0 W
Consumo	5300.0 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.	$\geq 70^\circ$ : 752 cd/klm $\geq 80^\circ$ : 250 cd/klm $\geq 90^\circ$ : 9.16 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.	-
Classe de índice de encandeamento	D.3



VIA PRINCIPAL AUTOESTRADA

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

Resultados para os campos de avaliação

	Tamanho	Calculado	Nominal	Check
Pista de rodagem 2 (M3)	$L_m$	1.07 cd/m <sup>2</sup>	≥ 1.00 cd/m <sup>2</sup>	✓
	$U_o$	0.48	≥ 0.40	✓
	$U_l$	0.84	≥ 0.60	✓
	TI	9 %	≤ 15 %	✓
	$R_{E1}$	0.48	≥ 0.30	✓
Pista de rodagem 1 (M3)	$L_m$	1.07 cd/m <sup>2</sup>	≥ 1.00 cd/m <sup>2</sup>	✓
	$U_o$	0.48	≥ 0.40	✓
	$U_l$	0.84	≥ 0.60	✓
	TI	9 %	≤ 15 %	✓
	$R_{E1}$	0.48	≥ 0.30	✓

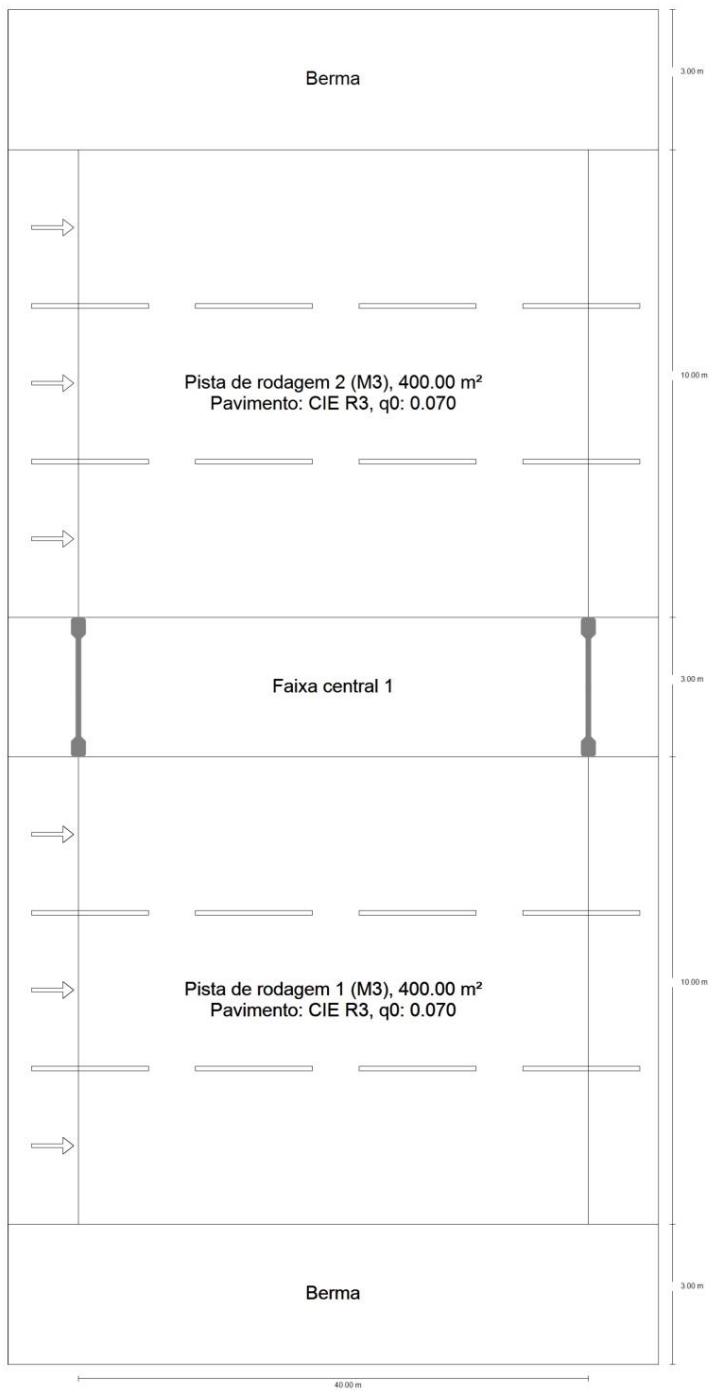
Foi calculado com um valor de manutenção 0.90 para a instalação.

Resultados para indicadores de eficiência energética

	Tamanho	Calculado	Consumo
VIA PRINCIPAL AUTOESTRADA	$D_p$	0.013 W/lx*m <sup>2</sup>	-
LUSA II NE 48 @700mA (Tipo II) (bilateral frente a frente)	$D_e$	1.0 kWh/m <sup>2</sup> yr,	848.0 kWh/yr

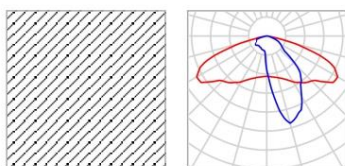
*Anexo F. Estudio Luminotécnico Via Principal  
Autoestrada B*

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



VIA PRINCIPAL AUTOESTRADA

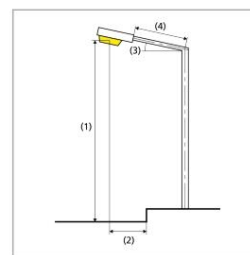
## Resumo (em direcção EN 13201:2015)



Fabricante	Soneres	P	132.0 W
Nome do artigo	LUSA II NE 60 @700mA (Tipo II)	$\Phi_{\text{Lámpada}}$	17143 lm
Equipagem	1x 60 @700mA (Tipo II)	$\Phi_{\text{Luminária}}$	17145 lm
		$\eta$	100.01 %

LUSA II NE 60 @700mA (Tipo II) (Faixa central, 2 por poste)

Distância entre postes	40.000 m
(1) Altura de ponto de luz	15.000 m
(2) Saliência de ponto de luz	-0.250 m
(3) Inclinação de braço extensor	5,0°
(4) Comprimento braço extensor	1.249 m
Horas de funcionamento anual	4000 h: 100.0 %, 264.0 W
Consumo	6600.0 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.	$\geq 70^\circ$ : 752 cd/klm $\geq 80^\circ$ : 250 cd/klm $\geq 90^\circ$ : 9.16 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.	-
Classe de índice de encandeamento	D.3



VIA PRINCIPAL AUTOESTRADA

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

Resultados para os campos de avaliação

	Tamanho	Calculado	Nominal	Check
Pista de rodagem 2 (M3)	$L_m$	1.31 cd/m <sup>2</sup>	≥ 1.00 cd/m <sup>2</sup>	✓
	$U_o$	0.65	≥ 0.40	✓
	$U_l$	0.85	≥ 0.60	✓
	TI	6 %	≤ 15 %	✓
	$R_{E1}$	0.73	≥ 0.30	✓
Pista de rodagem 1 (M3)	$L_m$	1.31 cd/m <sup>2</sup>	≥ 1.00 cd/m <sup>2</sup>	✓
	$U_o$	0.65	≥ 0.40	✓
	$U_l$	0.85	≥ 0.60	✓
	TI	6 %	≤ 15 %	✓
	$R_{E1}$	0.73	≥ 0.30	✓

Foi calculado com uma valor de manutenção 0.90 para a instalação.

Resultados para indicadores de eficiência energética

	Tamanho	Calculado	Consumo
VIA PRINCIPAL AUTOESTRADA	$D_p$	0.015 W/lx*m <sup>2</sup>	-
LUSA II NE 60 @700mA (Tipo II) (Faixa central)	$D_e$	1.3 kWh/m <sup>2</sup> yr,	1056.0 kWh/yr