

# Instituto Politécnico de Viseu

Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu





"O mundo externo é algo independente do homem, algo absoluto, e a procura pelas leis que se aplicam a este absoluto mostram-se como a mais sublime busca científica na vida."

Max Plank



## RESUMO

Na sequência dos compromissos assumidos no âmbito do Protocolo de Quioto, a União Europeia (UE) definiu um conjunto de metas a atingir até 2020, denominada Estratégia 20/20/20. Relativamente aos valores de 1990, reduzir em 20% as emissões de gases de efeito de estufa; promover o aumento da exploração de fontes de energia renovável por forma a alcançar 20% de geração de energia primária e reduzir em 20% o consumo global de energia com recurso à melhoria da eficiência energética. Em Portugal no que respeita às melhorias da eficiência energética no setor elétrico, foi lançado em 2006 pela ERSE (Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos) o PPEC (Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica). Este tem por missão promover a implementação de medidas com tecnologias de maior eficiência energética, economicamente viáveis e que conduzam a ganhos em poupança e redução de emissões. No PPEC de 2013 foi descontinuado o financiamento às lâmpadas fluorescentes compactas e o plano incide agora na substituição de sistemas de iluminação pouco eficientes por tecnologia LED (*Light Emitting Diode*).

Esta dissertação enquadra-se neste contexto, expondo a comparação do desempenho técnico e económico das várias soluções (lâmpadas, luminárias e sistemas de controlo), com o objetivo de tornar a iluminação pública mais eficiente.

A iluminação LED caracteriza-se por uma redução de consumos e maior tempo de vida útil, que se traduzem numa redução de emissões de CO<sub>2</sub> e dos custos de manutenção e maior facilidade de variação do fluxo luminoso. A desvantagem desta tecnologia é o seu custo mais elevado e a necessidade de alimentação em DC.

As metodologias investigadas foram aplicadas a um caso de estudo num sistema de iluminação pública (IP) na Avenida do Povo, em Viseu, com cerca de 1000 metros de extensão e um total de 38 postes com 62 lâmpadas. Cada ponto de iluminação tem atualmente instalado uma lâmpada de vapor de Sódio de alta pressão de 250 W com controlo ON/OFF realizado por relógio astronómico.

Com base na instalação de IP existente é efetuado o estudo luminotécnico e o de viabilidade técnica e económica para a escolha de um sistema de iluminação alternativo que seja mais eficiente que o atual. É assim confrontado o desempenho económico e ambiental de sete soluções alternativas. Seis delas com base em tecnologia LED e uma mais simples, assente na redução da potência das lâmpadas com a tecnologia atualmente instalada. A solução ganhadora para os 30 anos de investimento é a luminária Schröder, modelo Ampera com *dimming*, que passará a consumir anualmente 9.499 kWh (16,8% do consumo da situação atual) e uma redução de 6,35 Ton. no CO<sub>2</sub> emitido. A solução assente na redução da potência para 150W das lâmpadas com a tecnologia atual não pode ser descurada, pois garante os níveis luminotécnicos impostos pela norma EN 13201 e obtém um bom resultado económico.



## ABSTRACT

In the sequence of the commitments under the Quioto Protocol, the European Union (EU) has defined a set of goals to be achieved by 2020, called Strategy 20/20/20. Regarding the 1990 data, 20% reduction in greenhouse gases emissions; promote increased penetration of renewable energy in order to achieve 20% of primary energy with alternative sources and 20% reduction in the overall energy consumption with best energy efficiency. In Portugal, regarding to energy efficiency improvements and for the electricity sector, was launched in 2006 by ERSE (Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos) the PPEC (Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica). This plan as the goal to promote the installation of more efficiency technologies and economically viable leading to gains in energy savings and emissions reduction. In the latter PPEC, the funding for CFLs (Compact Fluorescent Lamps) has been cut and now the program focuses in the replacement of inefficient lighting systems by LED (Light Emitting Diode) and adopting intelligent lighting systems.

This dissertation fits in this context, exposing the technical and economic characterization of several solutions of a functional set (lamps, luminaires and control systems), in order to make public lighting more efficient.

The advantages of LED lighting are vast: consumption reducing, longer lifetime which means a reduction of interventions and maintenance costs, variation capacity of the luminous flux and the CO<sub>2</sub> emissions reduction. The disadvantage of this technology is the need for power in DC.

The methodologies researched were applied to a case study in a public lighting system in the Avenida do Povo, in Viseu, with about 1000 meters long and a total of 38 lampposts with 62 lights. Each illumination point has currently installed a 250W high pressure Sodium lamp with ON/OFF control performed by an astronomical clock.

Based on the existing public lighting installation a lighting study is performed and the technical and economic feasibility for the choice of an alternative lighting system that is more efficient than the current one. Then the economic and environmental performances of seven alternative solutions are confronted to choose the best. Six of them are based on LED technology and one on the reducing of power with current installed lamp technology. The winner solution to 30 years of investment is the luminaire Schröder Ampera model with dimming which consume 9.499 kWh annually (16.8% consumption of current solution) and a reduction of 6,35 Ton. in CO<sub>2</sub> emissions. The solution based on reducing the power to 150 W lamps with current technology can't be neglected it ensures the lightings levels required by EN 13201 and get a good economic result.



## **PALAVRAS CHAVE**

Eficiência energética

Iluminação inteligente

Estudo de viabilidade técnica/económica

Redução de custos

Redução de emissões de CO<sub>2</sub>

Estratégia 20/20/20



## **KEY WORDS**

Energy efficiency

Intelligent Lighting

Analysis of technical / economic viability

Cost-mitigation

CO<sub>2</sub> emissions reduction

EU energy strategy



## **AGRADECIMENTOS**

Desejo neste espaço agradecer a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para a elaboração desta dissertação.

Um agradecimento especial ao meu orientador, Professor Doutor Joaquim Duarte Barroca Delgado, pela sua disponibilidade, pelo fornecimento de informações e pelas valiosas contribuições e correções que realizou no decorrer deste trabalho.

À minha família pelo suporte dado na concretização de objetivos a nível académico e profissional e à Cristiane pela paciência e compreensão ao longo deste período.

Aos meus colegas e amigos sem exceção, pelo companheirismo e todo o apoio prestado.

A todos, muito obrigado.



# ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL .....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xv
ÍNDICE DE QUADROS .....	xix
ABREVIATURAS E SIGLAS .....	xxiii
1. Introdução .....	1
1.1 Enquadramento .....	1
1.2 Motivação e Objetivos .....	2
1.3 Contribuição do trabalho .....	4
1.4 Organização do trabalho .....	6
2. Luz e sistema de visão .....	7
2.1 A luz.....	7
2.2 A visão humana .....	12
2.3 Grandeza dos sistemas de iluminação .....	16
2.4 Equipamentos de medição utilizados em IP .....	27
3. Tecnologia de iluminação.....	29
3.1 Lâmpadas .....	29
3.1.1 Tecnologias antigas .....	30
3.1.2 Tecnologias do presente .....	33
3.1.3 Tecnologia com características especiais .....	43
3.1.4 Tecnologias do Futuro .....	45
3.1.5 Comparação das características dos diversos tipos de lâmpadas .....	50
3.2 Luminárias .....	52
3.3 Fontes de alimentação ( <i>Drivers</i> de alimentação).....	53
3.4 Sistemas de controlo e gestão de energia.....	56
3.5 Sistemas de Iluminação Pública inteligente.....	62
3.6 Exemplos de instalações eficientes de iluminação exterior em Portugal .....	65
4. Estudo de caso prático .....	69

4.1	Estudo luminotécnico .....	70
4.1.1	Caracterização da situação atual na Avenida do Povo.....	71
4.1.2	Alternativa 1 – Luminárias Onyx 2 com lâmpadas de 150 W .....	82
4.1.3	Alternativas 2 – Luminárias com tecnologia LED.....	85
4.2	Estudo de viabilidade técnica e económica.....	88
4.2.1	– Custos da situação atual (Onyx 2 – HPS 250 W) .....	94
4.2.2	– Custos com luminária Onyx 2 com lâmpada HPS 150 W .....	97
4.2.3	– Solução com luminária Schröder, modelo Piano .....	100
4.2.4	– Solução com luminária Schröder, modelo Teceo.....	103
4.2.5	– Solução com luminária Schröder, modelo Ampera .....	106
4.2.6	– Solução com luminária Arquiled, modelo Arquicity C10 .....	109
4.2.7	– Solução com luminária Lutche, modelo Almenara Plus.....	112
4.2.8	– Luminária Schröder, modelo Ampera com regulação do fluxo luminoso ou <i>dimming</i> .....	115
5.	Conclusão.....	125
	Referências.....	127
	Anexo 1 – Luminárias.....	133
	Anexo 2 – Sistemas de controlo ( <i>Dimming</i> ) .....	151

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Diagrama típico de custos, após 25 anos de vida útil, de uma rede de IP.....	2
Figura 1.2 – Tipologias aprovadas pelo PPEC (medidas intangíveis e tangíveis) [3].....	3
Figura 1.3 – Detalhe das medidas tangíveis aprovadas [3]. .....	3
Figura 1.4 – Traçado da Avenida do Povo em Viseu entre o ponto A e B [4].....	4
Figura 1.5 – Extremidade – A – da Avenida do Povo.....	4
Figura 1.6 – Extremidade – B – da Avenida do Povo. ....	5
Figura 2.1 – Fenómeno fotoelétrico [6].....	8
Figura 2.2 – Evolução das teorias da natureza da luz [7].....	9
Figura 2.3 – Comprimentos de onda do espectro eletromagnético e do espectro visível [8].....	9
Figura 2.4 – Onda sinusoidal periódica [7]. ....	10
Figura 2.5 – Polarização da luz [7].....	11
Figura 2.6 – Esquematização da acuidade visual [10].....	12
Figura 2.7 – Classificação do IRC [12]. ....	14
Figura 2.8 – Variação da Reprodução de Cor [11].....	14
Figura 2.9 – Temperatura de cor e índices de restituição de cor [7]. ....	15
Figura 2.10 – Esquematização dos conceitos associados à radiometria e à fotometria [7].....	16
Figura 2.11 – ULOR e DLOR [10]. ....	17
Figura 2.12 – Fator de utilização de uma instalação [7].....	18
Figura 2.13 – Figura à esquerda com ângulo de abertura de 38°. Figura à direita com ângulo de abertura de 10° [14].....	19
Figura 2.14 – Exemplo de um diagrama fotométrico [14]. ....	19
Figura 2.15 – Curva de distribuição de Intensidades Luminosas no plano transversal e longitudinal para uma lâmpada fluorescente isolada (A) ou associada a um refletor (B) [14].	19
Figura 2.16 – Iluminância sobre uma superfície [7].....	20
Figura 2.17 – Iluminância <i>versus</i> luminância [14]. ....	21
Figura 2.18 – Luminância (percepção de brilho) [14].....	21
Figura 2.19 – Faixas longitudinais para o cálculo do SR [10]. ....	22
Figura 2.20 – Largura máxima das faixas para o cálculo do rácio envolvente (SR) [10]. ....	23
Figura 2.21 – Esquematização para a situação em que o cálculo do SR é feito para metade da largura da estrada [10]. ....	23
Figura 2.22 – Parede de tijolo a obstruir a faixa longitudinal exterior de largura W [10]. ....	23
Figura 2.23 – Tempo de vida médio e útil de uma lâmpada [10].....	24
Figura 2.24 – Fator de Manutenção de uma instalação [10]. ....	24
Figura 2.25 – Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada (FMLL) [10]. ....	25
Figura 2.26 – Fator de Sobrevivência da Lâmpada (FSL) [10].....	25
Figura 2.27 – Fator de Manutenção da Luminária (FML) [10].....	25
Figura 2.28 – Ação de manutenção de uma luminária [15].....	26

Figura 2.29 – Comparação da depreciação do fluxo luminoso de um sistema, com e sem manutenção [15].	27
Figura 2.30 – Luxímetro (SI – Lux) [7].	27
Figura 2.31 – Luminancímetro (SI – $\text{cd/m}^2$ ) [7].	28
Figura 2.32 – Esfera de Ulbricht (SI – Lúmen) [7].	28
Figura 3.1 – Constituição de uma lâmpada incandescente [16].	30
Figura 3.2 – Espectro luminoso de uma lâmpada incandescente [17].	31
Figura 3.3 – Lâmpada de Mercúrio [19].	32
Figura 3.4 – Espectro de emissão luminoso de lâmpadas de vapor de Mercúrio [17].	32
Figura 3.5 – Lâmpada fluorescente compacta [20].	33
Figura 3.6 – Espectro de emissão luminoso de uma lâmpada fluorescente [17].	34
Figura 3.7 – Esquema de funcionamento de uma lâmpada de vapor de Sódio de alta pressão [22].	35
Figura 3.8 – Lâmpadas de vapor de Sódio de alta pressão [23].	35
Figura 3.9 – Espectro luminoso de lâmpadas de vapor de Sódio de alta pressão [17].	36
Figura 3.10 – Detalhes de uma lâmpada de vapor de Sódio de baixa pressão [23].	36
Figura 3.11 – Espectro da lâmpada de Vapor de Sódio de baixa pressão [17].	37
Figura 3.12 – Lâmpadas de Iodetos Metálicos [24].	38
Figura 3.13 – Espectro luminoso das lâmpadas de Iodetos Metálicos [17].	38
Figura 3.14 – Estrutura de um LED montado em circuito impresso (esquerda) e vista de perfil do LED (direita) [25].	39
Figura 3.15 – Representação interna do princípio de funcionamento de um LED [25].	40
Figura 3.16 – A energia de um fóton é igual à largura de banda proibida ( $E_g$ ) [25].	40
Figura 3.17 – Processo de <i>binning</i> [25].	41
Figura 3.18 – Luminária de IP com LEDs [25].	41
Figura 3.19 – Espectro luminoso de um LED de cor branca [17].	42
Figura 3.20 – Lâmpada fluorescente de indução [27].	43
Figura 3.21 – Armaduras equipadas com lâmpadas de Indução [27].	43
Figura 3.22 – Espectro luminoso da lâmpada de indução [17].	44
Figura 3.23 – Lâmpada de Plasma [28].	45
Figura 3.24 – Eficiência na distribuição de luz da LEP e da HPS [28].	45
Figura 3.25 – Caso de estudo na China, província de Guangdong, antes com lâmpada vapor de Sódio [28].	47
Figura 3.26 – Caso de estudo na China, província de Guangdong, depois com lâmpada de plasma [28].	47
Figura 3.27 – Camadas do OLED de cor branca [29].	49
Figura 3.28 – Estrutura do COLED [30].	50
Figura 3.29 – Diagrama com os tipos de lâmpadas existentes [17].	50
Figura 3.30 – Esquema de um <i>driver</i> de LEDs [31].	53
Figura 3.31 – Ilustração dos dois tipos de balastros [21].	54

Figura 3.32 – Comparação dos custos relativos dos diversos tipos de balastros, tendo em conta a sua classe de eficiência energética [17].	54
Figura 3.33 – Interruptor crepuscular e respectivo sensor [32].	56
Figura 3.34 – Esquema de um sensor crepuscular [32].	57
Figura 3.35 – Exemplos de relógios astronómicos [33].	57
Figura 3.36 – Exemplo de funcionamento de um Regulador de Fluxo Luminoso ao longo do período noturno [17].	58
Figura 3.37 – Reguladores de Fluxo [33].	59
Figura 3.38 – Esquematização de um sistema de telegestão de uma rede de IP [36].	60
Figura 3.39 – Topologias dos sistemas de IP.	63
Figura 3.40 – Sistema Inteligente de Gestão de Iluminação Pública (SIGIP) [39].	64
Figura 3.41 – Solução de iluminação utilizada na A29, nó de Angeja, km 1 [40].	66
Figura 3.42 – Luminárias a LED instaladas na Rua Fidalgo Aprendiz, Pombal [41].	66
Figura 3.43 – Aldeia de Cabeça (Seia) iluminada a LED [42].	67
Figura 3.44 – Representação esquemática da gestão de IP em Oslo [43].	68
Figura 4.1 – Metodologia seguidas para encontrar um sistema de iluminação mais eficiente.	70
Figura 4.2 – Tipo e dimensões dos postes na faixa central.	71
Figura 4.3 – Simulação em 3D da Avenida do Povo com os postes na faixa central.	72
Figura 4.4 – Troço da Avenida do Povo com os postes na faixa central.	72
Figura 4.5 – Tipo e dimensões dos postes sobre os passeios.	73
Figura 4.6 – Simulação em 3D da Avenida do Povo com os postes sobre os passeios.	73
Figura 4.7 – Troço da Avenida do Povo com os postes distribuídos dos dois lados frente a frente sobre os passeios.	74
Figura 4.8 – Cálculo da luminância para a área relevante.	75
Figura 4.9 – Posição dos observadores.	75
Figura 4.10 – Distribuição fotométrica da luminária atual.	79
Figura 4.11 – Distribuição fotométrica da luminária Onyx 2 com lâmpada de 150 W.	82
Figura 4.12 – Distribuição fotométrica do sistema de iluminação com luminária Schröder (modelo Ampera) com lâmpada LED de 75 W.	85
Figura 4.13 – Período de Verão – comparação do funcionamento com e sem <i>dimming</i> .	116
Figura 4.14 – Período de Inverno – comparação do funcionamento com e sem <i>dimming</i> .	116
Figura 4.15 – Evolução temporal dos custos para os diferentes sistemas de iluminação em estudo.	123



## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Incandescência e Luminescência [7].	11
Quadro 2.2 – Aparência das várias temperaturas de cor em IP [7].	13
Quadro 2.3 – Exemplos de índices de restituição de cor [12].	15
Quadro 2.4 – Definição de grandezas radiométricas [7].	16
Quadro 3.1 – Características das lâmpadas incandescentes [18].	31
Quadro 3.2 – Características das lâmpadas de vapor de Mercúrio [17].	32
Quadro 3.3 – Características das lâmpadas compactas fluorescente [21].	34
Quadro 3.4 – Características das lâmpadas de vapor de Sódio de alta pressão [21].	36
Quadro 3.5 – Características típicas da lâmpada de vapor de Sódio de baixa pressão [21].	37
Quadro 3.6 – Características típicas da lâmpada de Iodetos Metálicos [21].	39
Quadro 3.7 – Características típicas dos LEDs [26].	42
Quadro 3.8 – Características típicas da lâmpada de indução [27].	44
Quadro 3.9 – Comparação de alguns aspetos da lâmpada de plasma com outras tecnologias existentes [28].	46
Quadro 3.10 – Características típicas das lâmpadas de plasma [28].	47
Quadro 3.11 – Vantagens e Desvantagens dos OLEDs [30].	49
Quadro 3.12 – Eficiência mínima associada a uma determinada potência [17].	51
Quadro 3.13 – Fluxo luminoso verificado à vida média, de cada tipo de lâmpada [17].	51
Quadro 3.14 – Tempo de ignição para cada tipo de lâmpada [17].	51
Quadro 3.15 – Capacidade de regulação de fluxo de cada tipo de lâmpada [17].	52
Quadro 3.16 – Potência de perdas máxima dos balastos [17].	54
Quadro 3.17 – Principais características típicas dos balastos [17].	55
Quadro 3.18 – Características dos Sistemas de Controlo [17].	61
Quadro 4.1 – Situação de iluminação para a área relevante da avenida.	71
Quadro 4.2 – Classe de iluminação do campo de avaliação da pista de rodagem.	76
Quadro 4.3 – Valores fotométricos requeridos pela classe de iluminação ME4b.	76
Quadro 4.4 – Classe de iluminação nos passeios com os postes na faixa central.	77
Quadro 4.5 – Valores fotométricos requeridos pela classe de iluminação S5.	77
Quadro 4.6 – Classe de iluminação nos passeios com os postes sobre os passeios.	78
Quadro 4.7 – Valores fotométricos requeridos pela classe de iluminação S4.	78
Quadro 4.8 – Características da solução de iluminação atualmente instalada.	79
Quadro 4.9 – Avaliação da iluminação na pista de rodagem com os postes na faixa central para o sistema de iluminação atualmente instalada.	80
Quadro 4.10 – Observadores da pista de rodagem com os postes na faixa central para o sistema de iluminação atualmente instalada.	80
Quadro 4.11 – Avaliação da iluminação nos passeios com os postes na faixa central para o sistema de iluminação atual.	80

Quadro 4.12 – Avaliação da iluminação na pista de rodagem com os postes sobre os passeios para o sistema de iluminação atual. ....	81
Quadro 4.13 – Observadores da pista de rodagem com os postes sobre os passeios para o sistema de iluminação atual. ....	81
Quadro 4.14 – Avaliação da iluminação nos passeios com os postes sobre os passeios para o sistema de iluminação atual. ....	81
Quadro 4.15 – Características do sistema de iluminação com lâmpadas de 150 W. ....	82
Quadro 4.16 – Avaliação da iluminação na pista de rodagem com os postes na faixa central para a remodelação com lâmpadas de 150 W. ....	83
Quadro 4.17 – Observadores da pista de rodagem com os postes na faixa central para a remodelação com lâmpadas de 150 W. ....	83
Quadro 4.18 – Avaliação da iluminação nos passeios os postes na faixa central para a remodelação com lâmpadas de 150 W. ....	83
Quadro 4.19 – Avaliação da iluminação na pista de rodagem com os postes sobre os passeios para a remodelação com lâmpadas de 150 W. ....	84
Quadro 4.20 – Observadores da pista de rodagem com os postes sobre os passeios para a remodelação com lâmpadas de 150 W. ....	84
Quadro 4.21 – Avaliação da iluminação nos passeios com os postes sobre os passeios para a remodelação com lâmpadas de 150 W. ....	84
Quadro 4.22 – Características do sistema de iluminação com luminária Schröder (modelo Ampera) com lâmpada LED de 75 W. ....	85
Quadro 4.23 – Avaliação da iluminação na pista de rodagem com os postes na faixa central para o sistema de iluminação com LED. ....	86
Quadro 4.24 – Observadores da pista de rodagem com distribuição dos postes na faixa central para o sistema de iluminação com LED. ....	86
Quadro 4.25 – Campo de avaliação dos passeios com distribuição dos postes na faixa central para o sistema de iluminação com LED. ....	86
Quadro 4.26 – Avaliação da iluminação na pista de rodagem com os postes sobre os passeios para o sistema de iluminação com LED. ....	87
Quadro 4.27 – Observadores da pista de rodagem com os postes sobre os passeios para o sistema de iluminação com LED. ....	87
Quadro 4.28 – Avaliação da iluminação nos passeios com os postes sobre os passeios para o sistema de iluminação com LED. ....	87
Quadro 4.29 – Preços da energia elétrica [53]. ....	91
Quadro 4.30 – Horas de ponta, cheia e vazio para os períodos de Verão e de Inverno [53]. ...	92
Quadro 4.31 – Distribuição das horas de ponta, cheia e vazio, no Verão e no Inverno. ....	92
Quadro 4.32 – Horas de funcionamento por luminária, nos períodos de Verão e de Inverno. ....	93
Quadro 4.33 – Distribuição anual do funcionamento por luminária. ....	93
Quadro 4.34 – Dados da análise económica do sistema atual (Schröder - Onyx 2 HPS 250 W). ....	94
Quadro 4.35 – Custo mensal do sistema Schröder (modelo Onyx 2) com lâmpada de 250W. ....	95

Quadro 4.36 – Estudo económico para a solução atual (Schröder - Onyx 2 HPS 250 W).....	96
Quadro 4.37 – Dados da análise económica do sistema de remodelação do sistema atual (Schröder - Onyx 2 HPS 150 W).....	97
Quadro 4.38 – Custo mensal do sistema Schröder (modelo Onyx 2 – HPS 150W).....	98
Quadro 4.39 – Redução de energia conseguida com a mudança da lâmpada de 250W para a de 150W. ....	98
Quadro 4.40 – Estudo económico para a solução do sistema Schröder (modelo Onyx 2) com lâmpada de 150W. ....	99
Quadro 4.41 – Dados da análise económica do sistema alternativo (Piano).....	100
Quadro 4.42 – Custo mensal do sistema Schröder (modelo Piano) com LEDs de 75W.....	101
Quadro 4.43 – Redução de energia conseguida com as luminárias do modelo Piano. ....	101
Quadro 4.44 – Estudo económico para a solução alternativa: (Schröder - Piano). ....	102
Quadro 4.45 – Dados da análise económica do sistema alternativo (Teceo). ....	103
Quadro 4.46 – Custo mensal do sistema Schröder (modelo Teceo) com LEDs de 75W. ....	104
Quadro 4.47 – Redução de energia conseguida com as luminárias do modelo Teceo.....	104
Quadro 4.48 – Estudo económico para a solução alternativa: (Schröder - Teceo).....	105
Quadro 4.49 – Dados da análise económica do sistema alternativo (Ampera). ....	106
Quadro 4.50 – Custo mensal do sistema Schröder (modelo Ampera) com LEDs de 75W. ....	107
Quadro 4.51 – Redução de energia conseguida com as luminárias do modelo Ampera.....	107
Quadro 4.52 – Estudo económico para a solução alternativa: (Schröder - Ampera).....	108
Quadro 4.53 – Dados da análise económica do sistema alternativo (Arquicity C10). ....	109
Quadro 4.54 – Custo mensal do sistema Arquiled (modelo Arquicity C10 – 123W).....	110
Quadro 4.55 – Redução de energia conseguida com luminárias do modelo Arquicity C10..	110
Quadro 4.56 – Estudo económico para a solução alternativa: (Arquiled - Arquicity C10). ..	111
Quadro 4.57 – Dados da análise económica do sistema alternativo (Almenara Plus). ....	112
Quadro 4.58 – Custo mensal do sistema Luche (modelo Almenara Plus) com LEDs 143W.	113
Quadro 4.59 – Redução de energia conseguida com luminárias do modelo Almenara Plus.	113
Quadro 4.60 – Estudo económico para a solução alternativa: (Luche - Almenara Plus). ....	114
Quadro 4.61 – Horas de funcionamento, no período Verão e Inverno com <i>dimming</i> .....	115
Quadro 4.62 – Dados da análise económica do sistema alternativo (Ampera <i>dimming</i> ). ....	117
Quadro 4.63 – Custo mensal do sistema Schröder (Ampera <i>dimming</i> ) com LEDs 42 W.....	118
Quadro 4.64 – Redução de custo anual conseguida com as luminárias do modelo Ampera com <i>dimming</i> . ....	118
Quadro 4.65 – Estudo económico para a solução (Schröder – Ampera com <i>dimming</i> ). ....	119
Quadro 4.66 – Comparação do período de funcionamento com e sem <i>dimming</i> .....	120
Quadro 4.67 – Características dos diferentes sistemas de iluminação. ....	121
Quadro 4.68 – Síntese comparativa das diferentes soluções de iluminação. ....	121
Quadro 4.69 – Ganho económico de cada solução de IP. ....	122



## ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Três dimensões
3G	Terceira Geração
A	Amplitude
a	Anos
a.C.	Antes de Cristo
AC	Corrente alternada ou <i>Alternating Current</i>
AT	Alta Tensão
AV <sub>u</sub>	Nº de anos de vida útil
BTN	Baixa Tensão Nominal
cd	Candela
Cdimming	Custo do sistema <i>dimming</i>
CDL	Curva de distribuição luminosa
ce	Taxa de crescimento do preço da energia
CEN	Comissão Europeia de Normalização
Cenergia	Custo da energia consumida anualmente no ano zero
CF <sub>0</sub>	Investimento inicial
CFLs	Lâmpadas fluorescentes compactas ou <i>Compact Fluorescent Lamps</i>
CF <sub>t</sub>	Fluxo financeiro que ocorre no ano t no futuro
Cinvest	Custo de investimento quando é feita a substituição das lâmpadas
CkWh <sub>t</sub>	Custo da energia consumida anualmente do ano t a preço do ano zero
CLEDs	Custo da placa de LEDs
CLO	<i>Constant Light Output</i>
Cman	Custo de manutenção
Cman ponto	Custo de manutenção de cada ponto de iluminação
CMV	Câmara Municipal de Viseu
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
COLEDs	Cavidades Orgânicas Emissoras de Luz ou <i>Cavity Organic Light-Emitting Diode</i>

CTE	Camada transportadora de eletrões
CTL	Camada transportadora de lacunas
Custo lâmp	Custo unitário da lâmpada
Custo subst/man	Custo de substituição, com respectiva manutenção
$d$	Derivada
d	Dias
DC	Corrente Contínua ou <i>Direct Current</i>
dim	<i>dimming</i>
dimming	Variação de fluxo luminoso
DLOR	Rácio de Saída do Fluxo Luminoso Descendente ou <i>Downward Light Output Ratio</i>
Driver	Circuito controlador
E	Iluminância
E(t)	Iluminância num determinado momento
$E_0$	Iluminância inicial
$EC_a$	Energia consumida anualmente
EDP	Energias de Portugal
$E_g$	Largura da banda proibida
$E_m$	Iluminância média
EMI	Interferências Eletromagnéticas ou <i>Electromagnetic Interference</i>
$E_{min}$	Iluminância mínima
EN	Norma Europeia ou European Norm
ERSE	Entidade Reguladora de Serviços Energéticos
ESTGV	Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu
EU	União Europeia
EUA	Estados Unidos da América
f	Frequência
FM	Fator de Manutenção
FML	Fator de Manutenção da Luminária
FMLL	Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada

FSL	Fator de Sobrevivência da Lâmpada
FU	Fator de utilização
g	Gramas
GWh	GigaWatt hour
<i>h</i>	Constante de <i>Plank</i>
h	horas
HPM	Lâmpada Vapor de Mercúrio ou <i>High Pressure. Mercury</i>
HPS	Lâmpadas de Vapor de Sódio ou <i>High Pressure Sodium</i>
Hz	<i>Hertz</i>
I	Intensidade luminosa
i	Taxa de inflação
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IGBT	<i>Insulated Gate Bipolar Transistor</i>
IP	Iluminação Pública
IRC	Índice de Restituição de Cor
IVA	Imposto sobre o valor acrescentado
j	Taxa de juro (ou custo do dinheiro)
J.s	Joule por segundo
K	Kelvin
km	Quilómetro ou kilometre
kV	Kilo Volt
kVA	Kilo Volt Ampere
kWh	Kilo Watt hour
L	Luminância
LDR	Resistência Dependente de Luz ou <i>Light Dependent Resistor</i>
LEDs	Díodo emissor de luz ou <i>Light emitting diode</i>
LEP	Lâmpada de Plasma ou <i>Light Emitting Plasma</i>
lm	Lúmen
$L_m$	Luminância média
lm/W	Lúmen por Watt

LOR	Rácio de Saída do Fluxo Luminoso ou <i>Light Output Ratio</i>
lx	Lux
MAT	Muito Alta Tensão
MEMS	<i>Micro Electro Mechanical Systems</i>
min	Minuto
mm	Milímetro
MWh	Mega Watt hour
N	Tempo de vida útil do projeto
nm	Nanómetros
Nº Lâmp	Número de lâmpadas
OLC	Controlador da Luminária Exterior ou <i>Outdoor Luminaire Controller</i>
OLED	LEDs Orgânicos ou <i>Organic Lighting Emitting Diode</i>
ON/OFF	Ligar/Desligar
P	Potência
PCB	Placa de circuito impresso ou <i>printed circuit board</i>
PLC	<i>Power Line Carrier</i>
PORDATA	Base de Dados Portugal Contemporâneo
PPEC	Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica
$P_t$	Potência total do conjunto das luminárias
QED	<i>Quantum Electrodynamics</i>
r	Taxa de atualização
RGB	<i>Red Green Blue</i>
SC	Controlador de Segmento ou <i>Segment Controller</i>
SCG	Sistema Central de Gestão
SI	Sistema Internacional de Unidades
SIGIP	Sistema Inteligente de Gestão de Iluminação Pública
SR	Rácio envolvente ou <i>Surround Ration</i>
SSL	Iluminação em estado sólido ou <i>Solid State Lighting</i>
T	Temperatura de Cor
t	Ano

TFMA	Tempo de funcionamento médio anual
TI	Encadeamento perturbador
Ton	Tonelada
TRIAC	<i>Triode for Alternating Current</i>
TWh	TeraWatt hour
$U_0$	Uniformidade global da luminância
$U_L$	Uniformidade longitudinal da luminância
ULOR	Rácio de Saída do Fluxo Luminoso Ascendente ou <i>Upward Light Output Ratio</i>
V	Volt
v	Velocidade
VAL	Valor Atualizado Líquido
VUL	Vida útil da lâmpada
W	Watt
Wh	Watt hour
$\eta$	Eficiência
$\theta$	Ângulo visual
$\lambda$	Comprimento da onda
$\Phi$	Fluxo Luminoso
$\Omega$	Ângulo
$\pi$	Pi
$\rho$	Coefficiente de reflexão



# 1. Introdução

A visão é um dos sentidos que permite não apenas detetar a luz e as imagens, mas também interpretá-las. Sem a visão, estaríamos privados de parte significativa das nossas capacidades de interação com o mundo envolvente.

## 1.1 Enquadramento

A iluminação pública (IP) está diretamente ligada à segurança na via pública. Tem como objetivo a orientação do trajeto a percorrer, a prevenção de criminalidade e a iluminação de monumentos permitindo o seu embelezamento e destaque noturno.

O projeto “Sistemas de iluminação pública inteligentes e de alta eficiência” foi o escolhido para o desenvolvimento da dissertação do âmbito do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu (ESTGV).

Esta dissertação tem por principal objetivo a comparação de soluções alternativas à existente para reduzir a energia consumida e as emissões de CO<sub>2</sub>; bem como o estudo luminotécnico e de viabilidade económica de um sistema de iluminação pública inteligente e de alta eficiência. Este será aplicado numa avenida da cidade de Viseu com manutenção de cada ponto de iluminação.

## 1.2 Motivação e Objetivos

A iluminação é responsável por cerca de 20% do consumo de toda a eletricidade produzida mundialmente, quer a nível de edifícios do sector dos serviços e das habitações, quer ao nível da IP, estradas, ruas e espaços públicos. Estimativas de 2009 apontavam que existiam em Portugal mais de 4 milhões de pontos de luz na IP, com um consumo anual a rondar os 1,3 TWh, cerca de 3% do consumo total do País nesse ano. Aplicando o tarifário em vigor, este valor corresponde a cerca de 100 milhões de Euros. Estima-se que atualmente a IP seja responsável por cerca de 20 a 40% do custo de eletricidade típico de uma autarquia [1].

Durante a sua vida útil os custos de um sistema de iluminação podem ser divididos em custos de investimento inicial e custos operacionais (manutenção e energia consumida). Ao analisar a Figura 1.1, constata-se que após 25 anos de vida útil de um sistema de IP tradicional, é estimado que 15% do custo é feito no investimento dos equipamentos, 40% no consumo de energia e 45% na manutenção. Para reduzir estes valores são necessários sistemas que possibilitem reduzir o consumo de energia elétrica (sistemas mais eficientes) garantindo a mesma segurança e conforto e também ir ao encontro de sistemas inteligentes, com menores custos de manutenção e operação das redes de IP [1].

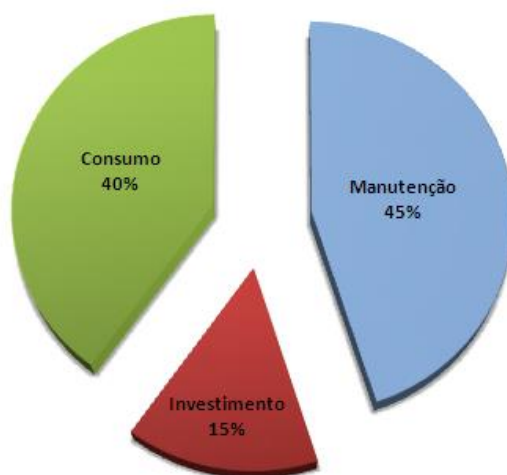


Figura 1.1 – Diagrama típico de custos, após 25 anos de vida útil, de uma rede de IP.

O incentivo da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) no âmbito do Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica (PPEC 2013/2014), pela quinta edição consecutiva, tinha como objetivo prioritário, apoiar financeiramente iniciativas que promovam a eficiência e redução do consumo de eletricidade nos diferentes segmentos de consumidores [2].

A Figura 1.2 expõe as medidas aprovadas nas várias tipologias do incentivo. As intangíveis são, na sua maioria, de divulgação nas escolas (32%), seguidas de auditorias (23%) e de formação (19%). As tangíveis são, na sua maioria de apoio à melhoria da iluminação (47%), seguidas da gestão de consumos (21%) e de força motriz (16%).

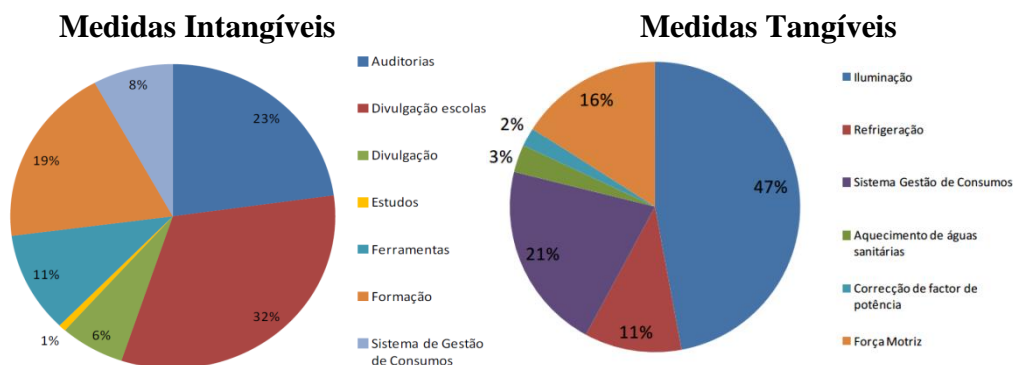


Figura 1.2 – Tipologias aprovadas pelo PPEC (medidas intangíveis e tangíveis) [3].

A Figura 1.3 ilustra com maior detalhe a tipologia das medidas tangíveis aprovadas. As medidas de iluminação são maioritariamente destinadas à iluminação pública (25%) e iluminação LED residencial (9%).

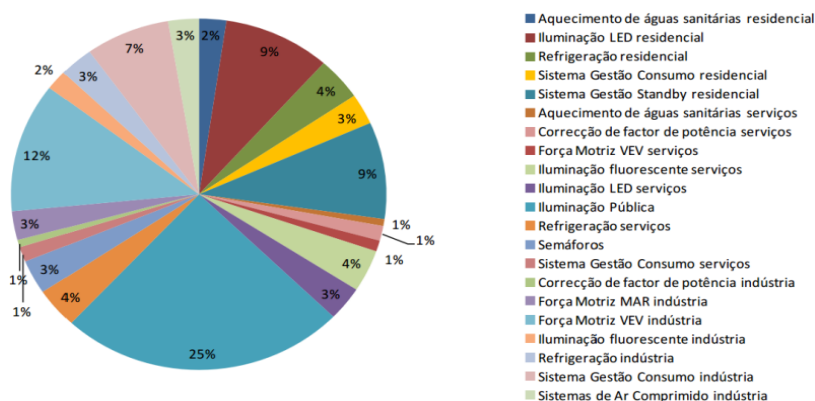


Figura 1.3 – Detalhe das medidas tangíveis aprovadas [3].

Os benefícios que se esperavam alcançar com a implementação das medidas tangíveis aprovadas (cerca de 152 milhões de Euros) são muito superiores ao financiamento do PPEC (17 milhões de Euros). Os efeitos benéficos dessas medidas representam até 2034, cerca de 1785 GWh de consumo evitado acumulado. Se forem consideradas também as medidas intangíveis estes benefícios ascendem aos 185 milhões de Euros. Os promotores e consumidores de energia elétrica assumem um papel muito relevante no PPEC, desde a fase de consulta pública até à apresentação de candidaturas e posterior implementação.

A qualidade das medidas apresentadas no processo de seleção, conduziu a que o concurso tivesse um forte carácter competitivo, sendo seleccionadas as medidas de melhor ordem de mérito classificadas de acordo com, a perspectiva da regulação económica e a métrica de avaliação estabelecida nas Regras do Plano de Promoção da Eficiência no Consumo (Diretiva n.º 5/2013, de 22 de março).

### 1.3 Contribuição do trabalho

Este trabalho incide sobre o sistema de IP implementado na Avenida do Povo, em Viseu, com cerca de 1000 metros de extensão. Na Figura 1.4 observa-se o seu traçado.

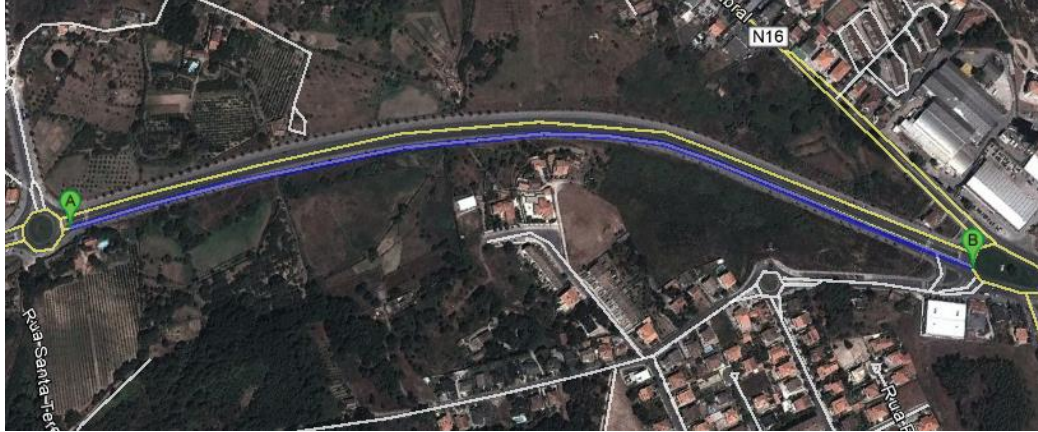


Figura 1.4 – Traçado da Avenida do Povo em Viseu entre o ponto A e B [4].

A avenida integra um separador central de 3 metros com 24 postes de iluminação ao centro, com duas lâmpadas cada, uma para cada par de faixas de rodagem, como se pode observar na Figura 1.5. Esta Figura ilustra a vista do ponto A, exposto na Figura 1.4.



Figura 1.5 – Extremidade – A – da Avenida do Povo.

A Figura 1.6 ilustra a extremidade B da avenida. Nesta há mais 14 postes já não ao centro da via mas, sobre os passeios, com uma lâmpada cada, uma para cada par de faixas de rodagem. A avenida possui assim um total de 38 postes com 62 lâmpadas ( $24 \times 2 + 14 \times 1$ ). Cada poste tem 10 metros de altura e cada ponto de iluminação possui lâmpada de vapor de Sódio de alta pressão de 250 W com luminárias Onyx 2, da Schröder, com controlo ON/OFF realizado por relógio astronómico.



Figura 1.6 – Extremidade – B – da Avenida do Povo.

Com base na instalação de IP existente é efetuado o estudo para a escolha de um sistema de iluminação alternativo que seja mais eficiente que o atual. É assim confrontado o desempenho económico e ambiental de sete soluções alternativas. Seis delas com base em tecnologia LED dos fabricantes Schröder, Arquiled e Lutche, com ligação ON/OFF e sistema de regulação de fluxo luminoso; e uma alternativa mais simples, assente na redução da potência das lâmpadas com a tecnologia atualmente instalada.

Os principais elementos a considerar no projeto são o investimento requerido para a sua concretização mais os custos de operação e de manutenção ao longo da sua vida e os ganhos, traduzidos em termos de redução de custos, que resultam desse investimento. A decisão será baseada no cálculo do valor atualizado líquido (VAL) de cada alternativa, valor que traduz o resultado global alcançável com cada investimento.

Neste sentido, a presente dissertação visa estudar soluções baseadas nas tecnologias existentes para alcançar as metas desejadas.

## 1.4 Organização do trabalho

A dissertação apresenta informação relativa às normas para projeto de uma rede de IP e aos valores exigidos para os vários parâmetros luminotécnicos, passando pela caracterização técnica e económica dos componentes de um conjunto funcional (lâmpadas, luminárias e sistemas de controlo), com o objetivo de tornar a IP mais eficiente, tendo em vista as preocupações atuais de proteção e utilização eficiente de energia numa perspetiva técnico/económica.

Esta é composta por 5 capítulos e 2 Anexos. Neste primeiro capítulo é realizado um enquadramento de todo o trabalho, dos objetivos e motivações.

No **capítulo 2**, são apresentados conceitos básicos de luminotecnica e parâmetros relacionados com o universo da IP, para uma melhor compreensão das questões abordadas ao longo da dissertação.

No **capítulo 3**, pretendem-se caracterizar as tecnologias existentes que integram os sistemas de IP, comparando os diferentes elementos constituintes de um conjunto funcional, nomeadamente, lâmpadas, luminárias, fontes de alimentação (*drivers*) e sistemas de controlo de gestão de energia. Explora sob um ponto de vista conceptual, algumas possibilidades de dotar os sistemas de iluminação baseados em dispositivos de estado sólido, com alguma inteligência. Para alcançar maior poupança energética parte-se do princípio de que: se o sistema for capaz de avaliar as necessidades de iluminação em função dos requisitos externos, torna-se possível implementar estratégias mais eficientes de controlo.

O **capítulo 4** é dedicado ao dimensionamento e estudos luminotécnico de um sistema de IP inteligente, e de maior eficiência, para aplicar na Avenida do Povo da cidade de Viseu. É também apresentado um estudo de viabilidade económica e determinação do tempo de retorno do investimento de cada solução alternativa.

Por fim, no **capítulo 5** são expostas as conclusões e as perspetivas de desenvolvimento futuro.

## 2. Luz e sistema de visão

### 2.1 A luz

#### História da Teoria da Luz

As teorias iniciais dos pensadores Gregos acerca da luz foram limitadas pela falta de conhecimento do funcionamento do olho humano. *Pitágoras* no século V a.C. pensava que a luz era originada pelos objetos visíveis. *Platão* no século III a.C. defendia a teoria de que o olho é que emitia um raio, que ao tocar no objeto o tornava visível. Esta teoria foi mais tarde (século X) contradita pelo cientista árabe *Alhazen*, ao afirmar que se tínhamos de fechar as pálpebras ou desviar os olhos quando olhávamos para o Sol, então era porque “algo entrava e não porque algo saía”.

No entanto algumas ideias iniciais dos Gregos estavam corretas, por exemplo:

- *Empédocles* (século V a.C.) acreditava que a luz tinha velocidade finita;
- *Aristóteles* (século IV a.C.) explicou o fenómeno do arco-íris como uma espécie de reflexão das gotas de água;
- *Euclides* (século III a.C.) entendeu a lei da reflexão e as propriedades dos espelhos.

No início do século XVII o pensamento científico renasceu na Europa e novas teorias acerca do comportamento e da natureza da luz foram formuladas.

- *Isaac Newton* tornou-se defensor da **Teoria Corpuscular**, onde afirmava que a luz se comporta como uma partícula. Corpos luminosos emitem energia radiante na forma de partículas, lançadas intermitentemente em linha reta.

- *Cristiaan Huygens* defende na mesma altura a **Teoria Ondulatória**, na qual a luz se comporta como uma onda. A luz era resultante da vibração molecular de materiais luminosos, emitida através de uma substância invisível e sem peso, existente no ar e no espaço.
- *James Maxwell*, no século XIX, formula a **Teoria dos Campos Eletromagnéticos**, sendo que *Hertz* a confirma, com a descoberta das ondas eletromagnéticas de baixa frequência, cuja teoria previa. Os campos elétricos e magnéticos afetam-se mutuamente de tal modo que permitem que as ondas viajem pelo espaço. A luz emitida pelos corpos radiantes propaga-se desta forma.
- *Max Plank*, no século XX, propõe a existência de um quantum de luz, isto é, um pacote finito de energia denominado fóton. Assim, surge a **Teoria Quântica**, que apenas foi compreendida quando *Einstein* mostrou que podia ser usada para explicar o fenómeno fotoelétrico, sugerindo que a energia de um fóton está relacionada com a sua frequência, através da constante de *Plank* (2-1):

$$h \approx 6,626 \times 10^{-34} (J \cdot s) \quad (2-1)$$

A teoria completa que descreve as interações entre a radiação eletromagnética com as partículas carregadas e entre as próprias partículas (QED – *Quantum Electrodynamics*) está acreditada ao trabalho independente de *Richard Feynman*, *Julian Schwinger* e *Tomonaga Shin'ichiro*. O campo elétrico e magnético de *Maxwell* (ilustrado na Figura 2.1) são quantificados e os fótons são os portadores das forças elétricas e magnéticas [5].

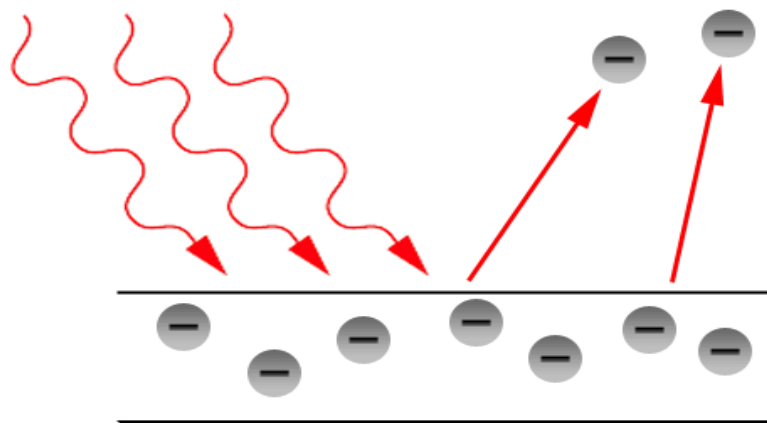


Figura 2.1 – Fenómeno fotoelétrico [6].

A Figura 2.2 expõe a evolução das teorias da natureza da luz.

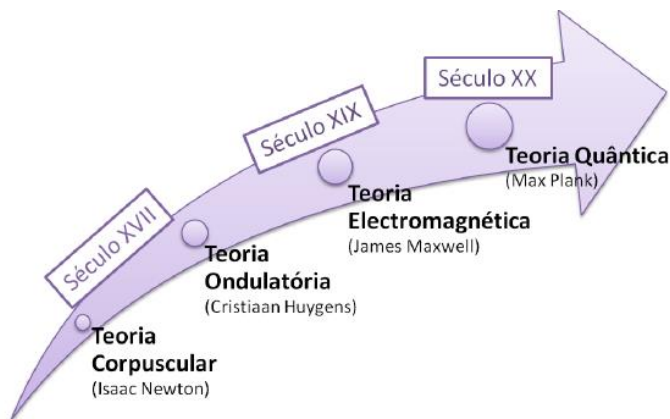


Figura 2.2 – Evolução das teorias da natureza da luz [7].

### Conceitos e Definições

A luz corresponde à radiação da gama de comprimentos de onda, medida em nanómetros (nm), do espectro da radiação eletromagnética visível pelo olho humano. Esta situa-se entre a radiação infravermelha e a ultravioleta, tal como ilustrado na Figura 2.3.

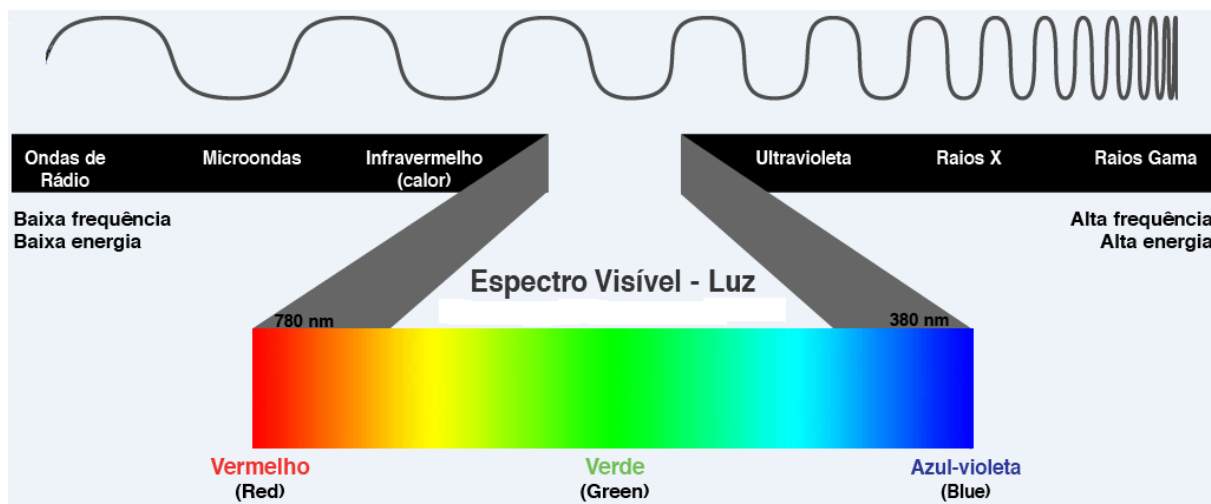


Figura 2.3 – Comprimentos de onda do espectro eletromagnético e do espectro visível [8].

O comprimento de onda ( $\lambda$ ) é a distância entre dois valores repetidos numa forma de onda periódica [9]. Por exemplo, na onda sinusoidal da Figura 2.4, o comprimento de onda é a distância entre os valores máximos (picos). Através da expressão matemática (2-2), o comprimento de onda é igual à velocidade da onda ( $v$ ) dividida pela sua frequência ( $f$ ), medida em *Hertz* (Hz):

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (2-2)$$

No vácuo, a velocidade da onda eletromagnética é a velocidade da luz, ou seja, 300 000 km/s. As três grandezas físicas básicas da luz e de toda a radiação eletromagnética são:

- Frequência (cor);
- Amplitude (brilho);
- Polarização (ângulo de vibração).

A frequência de uma onda é o número de ciclos executados por segundo que é inversamente proporcional ao comprimento de onda.

O período da onda ( $T$ ) é o inverso da frequência. Este é o tempo que a onda periódica demora a repetir-se. É dado pela expressão (2-3):

$$T = \frac{1}{f} \quad (2-3)$$

A medida, entre o ponto médio e o pico da onda é denominado de amplitude ( $A$ ).

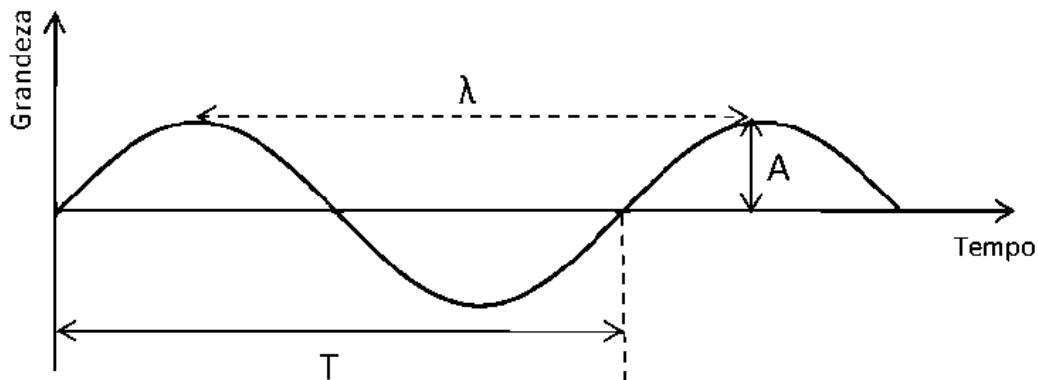


Figura 2.4 – Onda sinusoidal periódica [7].

O campo elétrico das ondas de luz provenientes do Sol incide em todas as direções, assim sendo, a luz solar direta diz-se não polarizada.

Quando a luz passa através de um filtro polarizador, são bloqueados os fótons cujo campo elétrico não tenha uma determinada orientação. Na Figura 2.5 é possível observar um filtro horizontal, que absorve os fótons cuja direção do campo elétrico não tenha esta direção. Os fótons restantes, com campo elétrico horizontal, só serão absorvidos na presença de um segundo filtro (neste caso vertical).

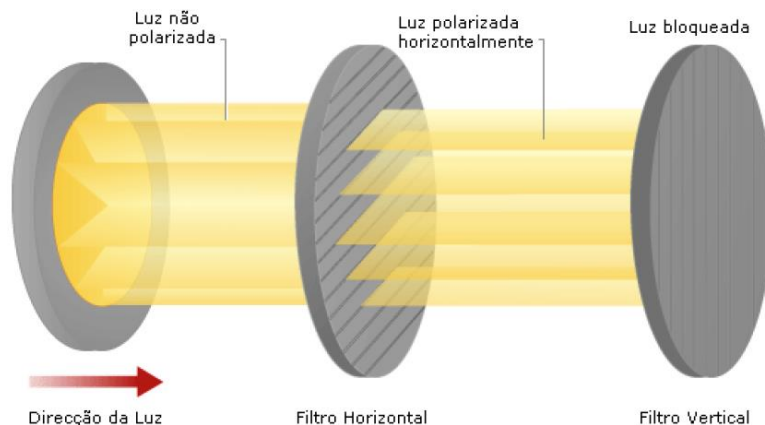


Figura 2.5 – Polarização da luz [7].

O Sol é a grande fonte luminosa do planeta, mas não é a única. Consoante a origem da energia luminosa, se térmica ou elétrica/química a fonte de luz é classificada nos fenómenos definidos no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 – Incandescência e Luminescência [7].

Fenómenos associados às fontes de luz
<b>Incandescência</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• A energia luminosa resulta de corpos aquecidos a alta temperatura;</li> <li>• Os átomos aquecidos colidem uns com os outros, transferindo energia a alguns eletrões, elevando-os assim, para níveis energéticos superiores. Quando os eletrões libertam essa energia, voltam ao estado normal e emitem fotões;</li> <li>• A cor das fontes incandescentes está relacionada com a temperatura, tais como:             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Sol;</li> <li>○ Lâmpada incandescente;</li> <li>○ Vela.</li> </ul> </li> </ul>
<b>Luminescência</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• A energia que irá excitar os eletrões provém de uma fonte química ou elétrica;</li> <li>• Ao não ser baseado no aquecimento de materiais é uma fonte mais fria que as de incandescência;</li> <li>• Exemplos de fontes luminescentes:             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Lâmpadas fluorescentes;</li> <li>○ Relâmpagos;</li> <li>○ LEDs.</li> </ul> </li> </ul>

## Comportamento da Luz

A luz só é visível quando incide com o objeto (eletrões). Nesse contacto, a luz incidente pode ser:

- Refletida pelo objeto;
- Absorvida pelo objeto;
- Refratada se sofrer alteração da direção através do objeto;
- Transmitida se passar pelo objeto.

## 2.2 A visão humana

### Acuidade visual

A acuidade visual (ilustrada na Figura 2.6) é a capacidade que o olho humano tem de identificar com nitidez, pequenos objetos próximos entre si.

As distâncias na retina são referidas em termos de ângulo visual ( $\theta$ ). Assim, dizemos que a capacidade do olho em distinguir dois pontos está associada a um certo valor de ângulo visual. A acuidade visual é tanto maior quando menor for o ângulo ( $\theta$ ) pois, define-se pelo inverso do ângulo mínimo sob o qual os olhos conseguem distinguir um pormenor ( $\frac{1}{\theta}$ ).

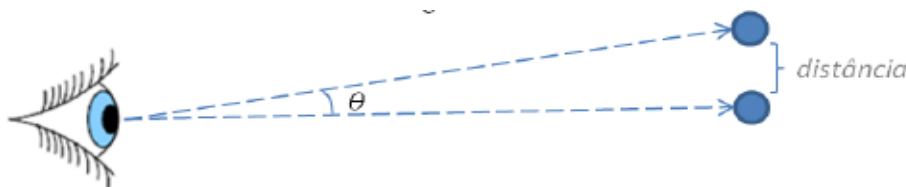


Figura 2.6 – Esquematização da acuidade visual [10].

A acomodação, a adaptação, o contraste e a idade são fatores que influenciam a acuidade visual.

### A cor

*Isaac Newton*, descobriu em 1666 a decomposição da luz solar branca no espectro de cores e em 1860, *Charles August Young*, aprofundando as experiências de *Newton*, obteve a cor branca projetando luz de lanternas com as várias cores do espectro. A cor tem três qualidades, o tom (qualidade), o valor (grau de luminosidade) e a saturação (grau de pureza).

### Temperatura de Cor (T)




Em termos visuais é bastante difícil diferenciar a tonalidade de cor das diversas lâmpadas. Para superar essa dificuldade, foi criado o conceito de Temperatura de Cor (unidade de medida: Kelvin) para classificar a luz. É importante referir que a cor da luz não interfere na eficiência energética da lâmpada e também não é válida a impressão de que quanto mais clara, mais potente é a lâmpada. Quando um sistema de iluminação apresenta uma luz “quente” não significa que a luz apresenta maior temperatura de cor, mas sim que a luz apresenta uma tonalidade mais amarelada. Este tipo de iluminação é utilizada em salas de estar, quartos ou locais onde se deseja tornar um ambiente mais acolhedor. Da mesma forma, quanto mais alta for a temperatura de cor, mais “fria” será a luz. Esta é utilizada em escritórios, cozinhas ou locais em que se deseja estimular ou realizar alguma atividade [11].

Tipicamente encontram-se três gamas de cor na IP:

- Cores quentes ( $T < 3300$  K);
- Cores intermédias ( $3300 \text{ K} < T < 5000$  K);
- Cores frias ( $T > 5000$  K).

O Quadro 2.2 apresenta exemplos da temperatura de cor e respetiva aparência.

Quadro 2.2 – Aparência das várias temperaturas de cor em IP [7].

Temperatura (K)	Aparência
$T < 3300$ Quente (branco alaranjado)	
$3300 < T < 5000$ Intermédio (branco)	
$T > 5000$ Fria (branco azulado)	

A luz pode ser decomposta pela combinação de três cores primárias: vermelha, verde e azul. A combinação destas permite obter o branco (Sistema RGB: R=*Red*, G=*Green*, B=*Blue*).

A visualização das cores ao longo do dia é diferente por existir mais ou menos luz. As lâmpadas incandescentes, por exemplo, tendem a reproduzir com maior nitidez a cor vermelha e amarela do que a cor verde e azul, aparentando assim uma luz mais quente.

### Índice de Restituição de Cor (IRC)

A iluminação de objetos pode parecer diferente, mesmo que as fontes de luz tenham semelhantes tonalidades. As variações de cor na iluminação de objetos com fontes de luz diferentes podem ser identificadas através do conceito, Reprodução de Cores e a sua escala qualitativa Índice de Reprodução de Cores (IRC). Este índice varia entre 0 (nenhuma fidelidade) e 100 (máxima fidelidade). A Figura 2.7 expõe a classificação do IRC [12].

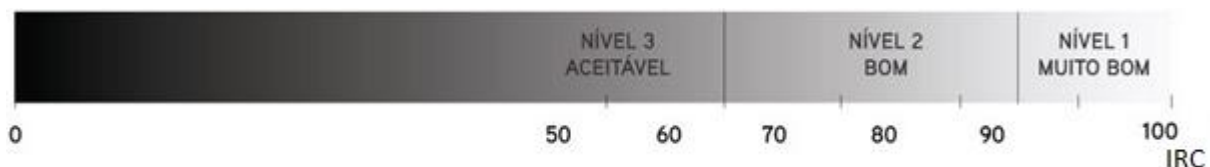


Figura 2.7 – Classificação do IRC [12].

A Figura 2.8 apresenta duas imagens, a da esquerda é iluminada por uma lâmpada incandescente 2700 K com um IRC de 100 e a imagem da direita por uma fluorescente 3000K que apresenta um IRC de 85 [11].



Figura 2.8 – Variação da Reprodução de Cor [11].

Com baixo IRC, a cor dos objetos pode parecer alterada relativamente à sua aparência natural. Quanto maior o IRC, mais próxima é a aparência da sua cor natural [11].

O Quadro 2.3 apresenta alguns exemplos de índices de restituição de cor.

Quadro 2.3 – Exemplos de índices de restituição de cor [12].

IRC		Aplicações	Lâmpadas					
			Incandescente	Iodetos metálicos	Fluorescente	Vapor de sódio		LED
						Alta pressão	Baixa pressão	
Nível 1	90-100	Museus e Galerias, Iluminação de Observação	X	X	X			X
	80-90	Habitacões, Hotéis, Escritórios, Escolas		X	X	X		X
Nível 2	60-80	Indústria, Escritórios, Escolas		X	X	X		X
	40-60	Indústria, Recintos Desportivos			X	X		X
Nível 3	20-40	Iluminação Pública				X	X	X

Quanto maior a diferença na aparência de cor do objecto iluminado em relação ao padrão, menor será o seu IRC. Assim se explica o facto de lâmpadas com a mesma temperatura de cor possuírem um IRC diferente. A Figura 2.9 compara a temperatura de cor com o índice de restituição de cor [11].

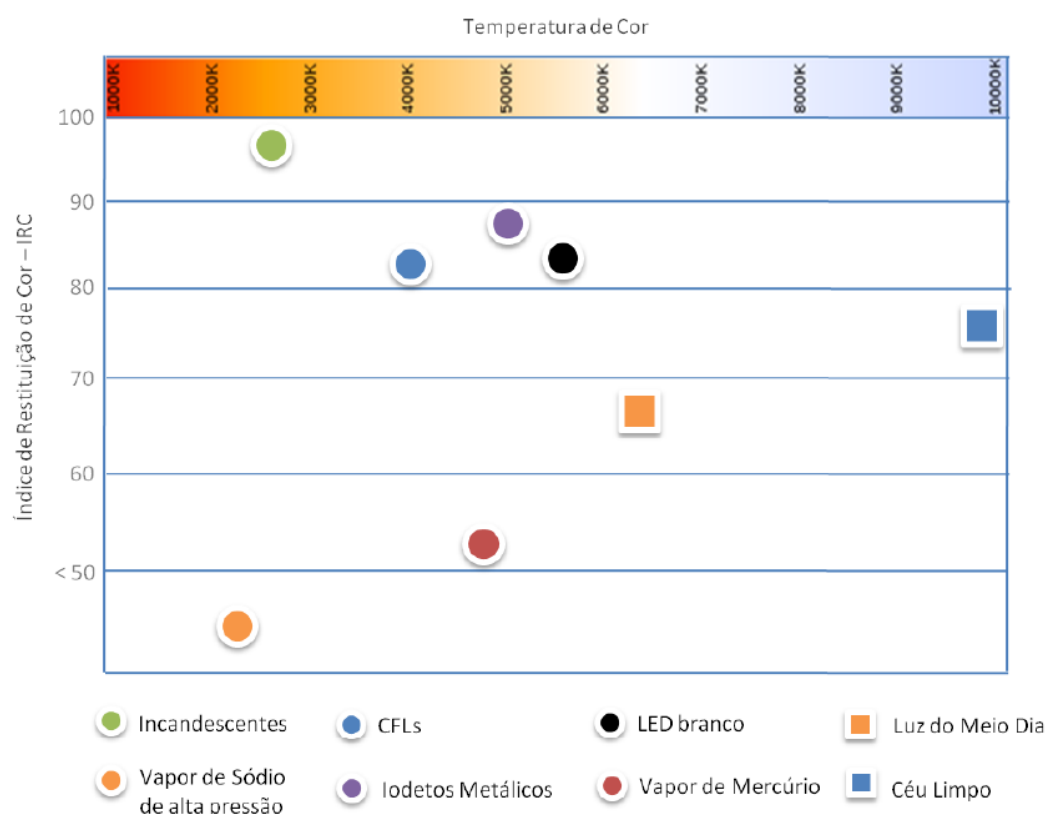


Figura 2.9 – Temperatura de cor e índices de restituição de cor [7].

### 2.3 Grandeza dos sistemas de iluminação

A radiometria compreende a radiação do espectro eletromagnético emitida por uma fonte, enquanto a fotometria trata da radiação visível. A cada grandeza radiométrica está associada uma grandeza fotométrica, sendo que a Figura 2.10, demonstra esta semelhança.

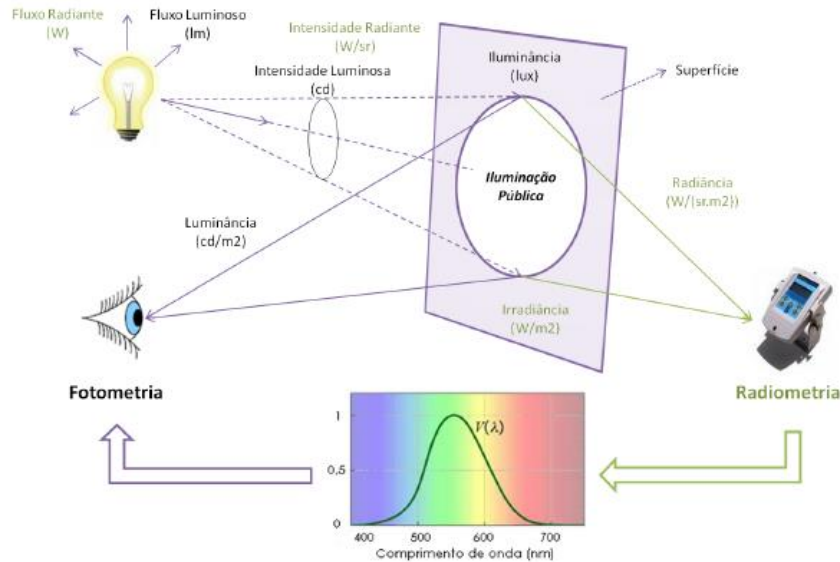


Figura 2.10 – Esquematização dos conceitos associados à radiometria e à fotometria [7].

Em IP, são as grandezas fotométricas (Quadro 2.4) que determinam os parâmetros de qualidade.

Quadro 2.4 – Definição de grandezas radiométricas [7].

Grandeza	Unidade	Definição
Fluxo Radiante	W	Quantidade de energia radiante que atravessa uma dada superfície por unidade de tempo. $\phi = \frac{\partial Q}{\partial t}$
Intensidade Radiante	W/sr	Fluxo radiante transportado por unidade de ângulo sólido. $I = \frac{\partial \phi}{\partial \Omega}$
Irradiância	W/m <sup>2</sup>	Fluxo radiante por unidade de área num receptor. $E = \frac{\partial \phi}{\partial A}$
Radiância	W/(sr.m <sup>2</sup> )	Fluxo radiante por unidade de ângulo sólido e por unidade de área normal. $L = \frac{\partial^2 \phi}{\partial \Omega \cdot \partial A \cdot \cos \theta}$

As secções seguintes tratam os seguintes conceitos:

- Fluxo Luminoso;
- Rácio de Saída do Fluxo Luminoso;
- Fator de Utilização;
- Intensidade Luminosa;
- Eficiência Luminosa;
- Iluminância;
- Luminância.

### Fluxo Luminoso ( $\Phi$ )

É a quantidade de luz emitida em todas as direcções por uma fonte de luz. A unidade é o Lúmen (lm).

### Rácio de Saída do Fluxo Luminoso ou *Light Output Ratio* (LOR)

O LOR pode ser entendido através da expressão (2-4) como o quociente entre o fluxo luminoso ( $\Phi$ ) de uma luminária e a soma dos fluxos luminosos individuais dessas mesmas lâmpadas.

$$LOR = \frac{\Phi_{\text{saída luminária}}}{\sum \Phi_{\text{lâmpada individual}}} \quad (2-4)$$

O Rácio de Saída do Fluxo Luminoso Ascendente ou *Upward Light Output Ratio* (ULOR), de uma luminária é o rácio entre o fluxo emitido para cima, sobre a soma dos fluxos luminosos individuais produzidos, para fora da luminária.

O Rácio de Saída do Fluxo Luminoso Descendente ou *Downward Light Output Ratio* (DLOR), de uma luminária é o rácio entre o fluxo emitido para baixo, sobre a soma dos fluxos luminosos individuais produzidos, para fora da luminária. A Figura 2.11 ilustra estes dois parâmetros, ULOR e DLOR.

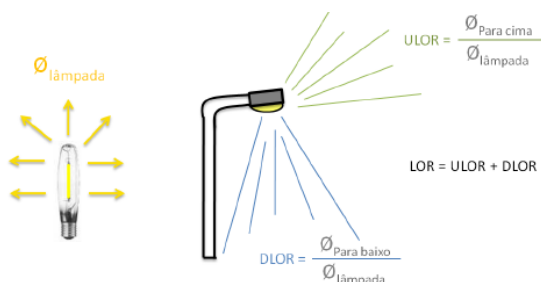


Figura 2.11 – ULOR e DLOR [10].

### Fator de Utilização (FU)

O FU de uma instalação é determinado pelo rácio entre o fluxo luminoso recebido pela superfície que se pretende iluminar (fluxo útil –  $\Phi_{\text{útil}}$ ) e a soma de todos os fluxos individuais das lâmpadas presentes na instalação (Figura 2.12) [13].

Este fator depende de vários parâmetros associados às luminárias e ao meio envolvente, nomeadamente:

- LOR da luminária;
- Distribuição do fluxo luminoso da luminária;
- Reflexão dos objetos vizinhos (muros, casas, entre outros);
- Rácio entre a altura e o espaçamento dos postes de iluminação.

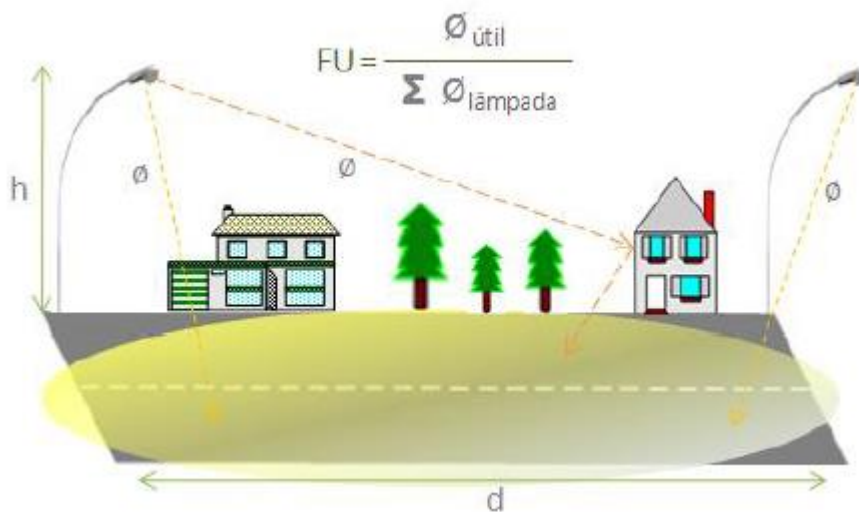


Figura 2.12 – Fator de utilização de uma instalação [7].

### Intensidade Luminosa (I)

Se a fonte luminosa irradiasse a luz uniformemente em todas as direções, o Fluxo Luminoso distribuir-se-ia na forma de uma esfera. Tal facto é quase impossível de implementar. Assim, o valor da intensidade luminosa ( $I$ ) de uma fonte numa dada direção (expressão 2-5) é o quociente entre o fluxo luminoso ( $d\Phi$ ) emitido pela fonte e a sua propagação num determinado ângulo sólido ( $d\Omega$ ):

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (2-5)$$

A fonte luminosa não consegue emitir radiação uniforme em todas as direções. Então é necessário medir os Lúmens emitidos em cada direção. Portanto, a intensidade luminosa é o fluxo luminoso irradiado na direção de um determinado ponto (Figura. 2.13).



Figura 2.13 – Figura à esquerda com ângulo de abertura de 38°. Figura à direita com ângulo de abertura de 10° [14].

À representação esquemática desta intensidade no espaço envolvente da fonte luminosa, dá-se o nome de diagrama fotométrico. A Figura 2.14 apresenta um exemplo.

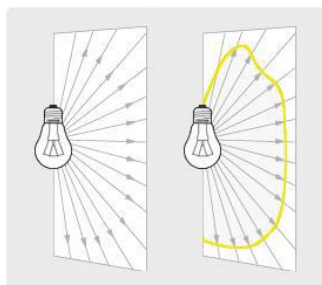


Figura 2.14 – Exemplo de um diagrama fotométrico [14].

### Curva de distribuição luminosa (CDL)

A CDL é a representação da Intensidade Luminosa em todos os ângulos em que ela é direcionada num plano (Figura 2.15).

Para a uniformização dos valores das curvas, geralmente são referidas a 1000 lm. Nesse caso, é necessário multiplicar o valor encontrado na CDL pelo Fluxo Luminoso das lâmpadas em questão e dividir o resultado por 1000 lm.



Figura 2.15 – Curva de distribuição de Intensidades Luminosas no plano transversal e longitudinal para uma lâmpada fluorescente isolada (A) ou associada a um refletor (B) [14].

### Eficiência Luminosa

A eficiência luminosa ( $\eta$ ) de uma fonte (expressão 2-6) é a relação entre o fluxo luminoso total emitido pela fonte ( $\Phi$ ) e a potência por ela absorvida ( $P$ ). A unidade SI é lm/W.

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \text{ (lm/W)} \quad (2-6)$$

### Iluminância

A iluminância tem como unidade o Lux (lx) e segundo a norma EN 12665 é o quociente entre o fluxo luminoso ( $d\Phi$ ) (em Lúmen) incidente num elemento da superfície e a área ( $dA$ ) desse elemento. Ou seja, é a quantidade de fluxo luminoso recebido pela unidade de área iluminada (Figura 2.16). Matematicamente a expressão (2-7) serve para determinar a iluminância:

$$E = \frac{d\Phi}{dA} = \int_{2\pi sr} L \cdot \cos(\theta) \cdot d\Omega \quad (2-7)$$

Legenda:

E – Iluminância, em lx;

L – Luminância num dado ponto nas várias direções dos raios elementares incidentes do ângulo sólido;

$d\Omega$  - Ângulo sólido;

$\theta$  – Ângulo entre qualquer um dos raios incidentes e a normal à superfície num dado ponto.

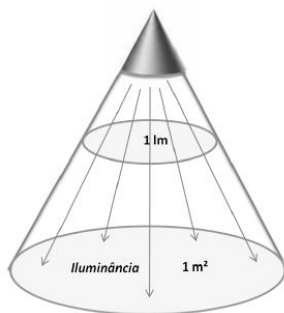


Figura 2.16 – Iluminância sobre uma superfície [7].

Existem quatro medidas de iluminância possíveis:

- Horizontal;
- Vertical;
- Semicilíndrica;
- Hemisférica.

### Luminância

A sensação de claridade é chamada de luminância, onde a luz refletida é visível, no caso da iluminância a luz incidente não é visível (Figura 2.17).

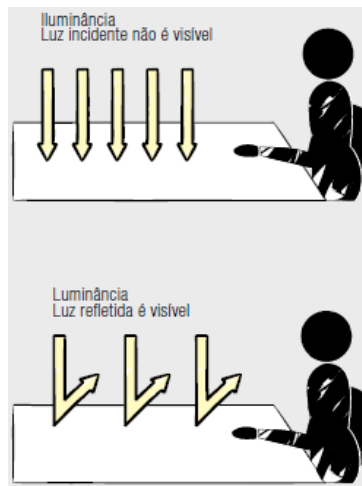


Figura 2.17 – Iluminância *versus* luminância [14].

A luminância (L) pode ser calculada através da expressão (2-8), como o quociente entre a intensidade luminosa (I) e a área (A) que a reflete segundo uma determinada direção ( $\alpha$ ), ou seja:

$$L = \frac{I}{A \cdot \cos(\alpha)} \text{ (cd/m}^2\text{)} \quad (2-8)$$

Ao denominador desta equação, dá-se o nome de área aparente, que não é mais do que a área projetada na direção do observador, correspondente à área da superfície iluminada (Figura 2.18).

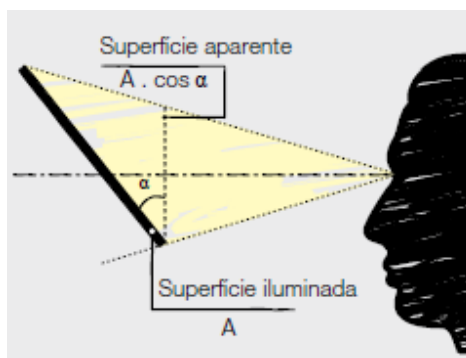


Figura 2.18 – Luminância (percepção de brilho) [14].

Como é difícil medir a Intensidade Luminosa (L) que provém de um corpo não radiante (através de reflexão), pode ser determinada de outra forma, a multiplicação do coeficiente de reflexão ( $\rho$ ) e a iluminância sobre essa superfície (E) a dividir por  $\pi$ , ou seja:

A expressão (2-9) permite a sua determinação:

$$L = \frac{\rho \cdot E}{\pi} \text{ (cd/m}^2\text{)} \quad (2-9)$$

De seguida são referidas algumas leis fundamentais e descrição de métodos de representação dos parâmetros fotométricos, as chamadas curvas de distribuição fotométricas e serão definidos alguns conceitos importantes auxiliares a ter em conta na execução de um projeto de IP:

- Poluição Luminosa;
- Rácio Envolvente;
- Tempo de Vida Útil;
- Fatores de Manutenção.

### **Poluição Luminosa**

Pode ser definida como sendo qualquer efeito adverso causado ao meio ambiente pela luz artificial excessiva, ou mal direcionada, nomeadamente quando a luz artificial é emitida horizontalmente.

Uma luminária eficiente deve iluminar o chão até um pouco além da metade de sua distância ao próximo poste. A vantagem desse tipo de luminária é que a nossa visão da área iluminada se torna muito mais nítida quando não recebemos luz vinda diretamente das lâmpadas sobre os olhos.

### **Rácio Envolvente ou *Surround Ration* (SR)**

A função do SR é assegurar que o fluxo luminoso direcionado para a periferia das estradas seja suficiente para tornar perfeitamente visível os corpos aí existentes. Assim incrementa-se, por exemplo, a segurança dos peões nos passeios.

O SR é definido como a iluminância média horizontal nas duas faixas longitudinais exteriores aos limites laterais de uma faixa de rodagem de viaturas, dividida pela iluminância média horizontal de duas faixas longitudinais dessa estrada, adjacentes aos seus limites (Figura 2.19).



Figura 2.19 – Faixas longitudinais para o cálculo do SR [10].

A largura de cada uma dessas faixas longitudinais definidas, para o cálculo do SR, terá de ser a mesma. O seu valor será o mínimo dos valores das seguintes três hipóteses, (Figura 2.20, 2.21 e 2.22):

- **5 Metros**

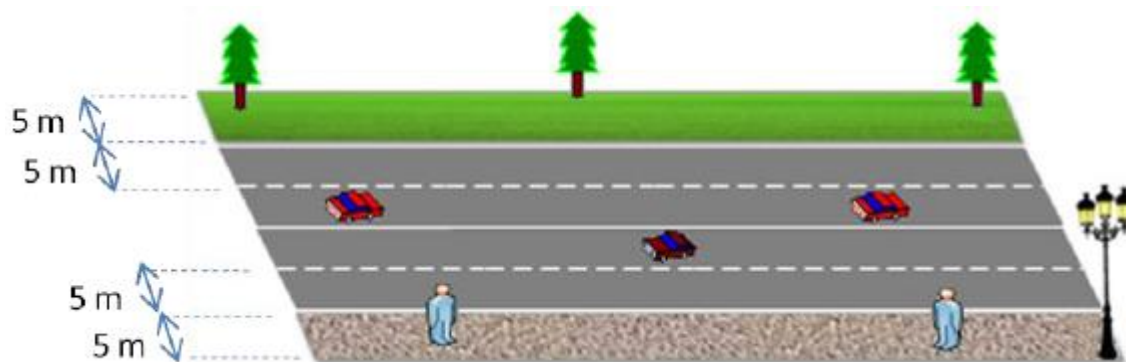


Figura 2.20 – Largura máxima das faixas para o cálculo do rácio envolvente (SR) [10].

- **Metade da largura da estrada**

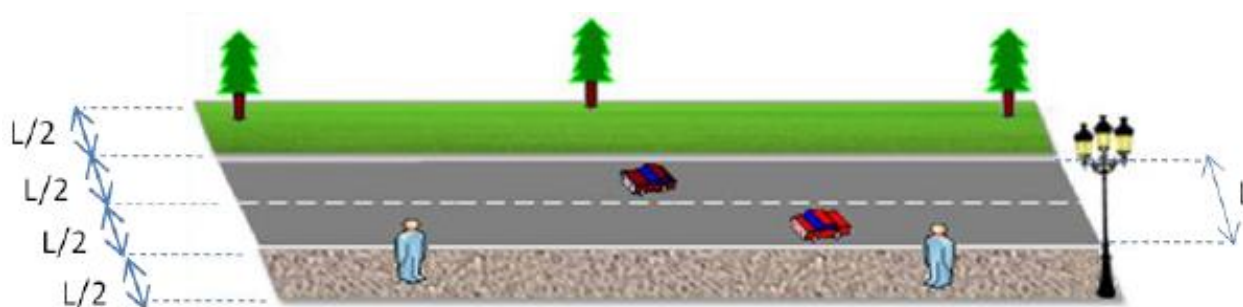


Figura 2.21 – Esquematização para a situação em que o cálculo do SR é feito para metade da largura da estrada [10].

- **Largura da faixa exterior ao limite da estrada que não esteja obstruída**

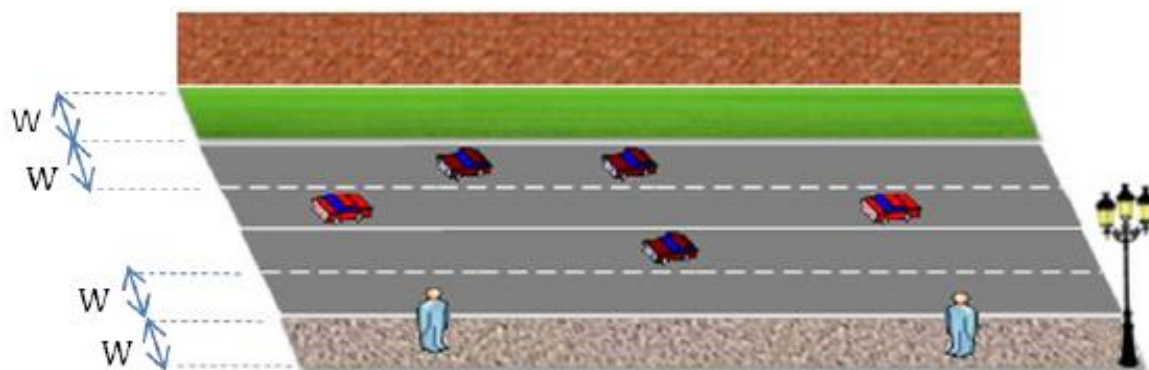


Figura 2.22 – Parede de tijolo a obstruir a faixa longitudinal exterior de largura  $W$  [10].

### Tempo de Vida Útil

O tempo de vida útil disponibilizado pelos fornecedores é uma das características mais relevantes das fontes luminosas, uma vez que influencia os custos quer de manutenção quer do número de lâmpadas a serem adquiridas durante um determinado período.

Este é definido em horas e representa o tempo no qual o fluxo luminoso inicial das lâmpadas testadas foi reduzido em cerca de 25 a 30%.

O tempo de vida útil normalmente indicado pelo fabricante é o tempo de vida útil médio. Este indica o número de horas após as quais, 50% de um lote significativo de lâmpadas acesas deixa de emitir fluxo luminoso (Figura 2.23).

A duração da vida média varia entre as 1000 horas, para as lâmpadas incandescentes, e as 100000 horas, para os LEDs.

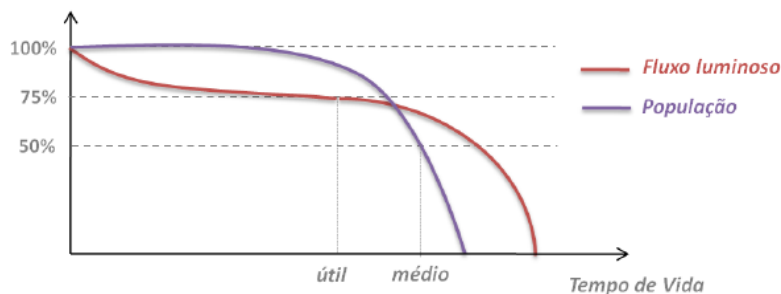


Figura 2.23 – Tempo de vida médio e útil de uma lâmpada [10].

### Fatores de Manutenção (FM)

O FM de uma instalação é o rácio da iluminância num determinado momento ( $E(t)$ ), relativamente à iluminância inicial ( $E_0$ ), como se pode observar na Figura 2.24.

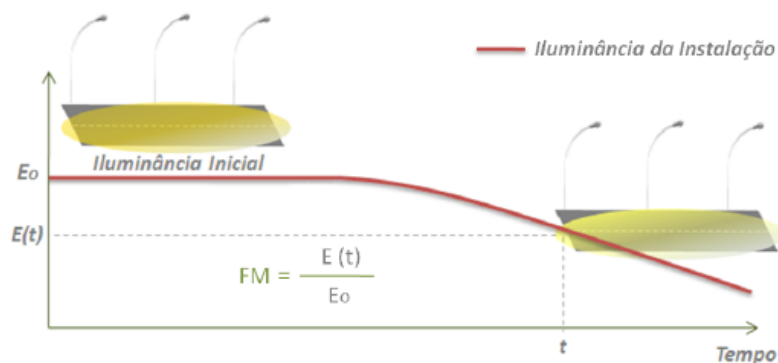


Figura 2.24 – Fator de Manutenção de uma instalação [10].

### Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada (FMLL)

O FMLL é dado pelo rácio entre o fluxo luminoso da lâmpada num dado momento da sua vida ( $\phi(t)$ ) e o fluxo inicial [EN 12665:2002], como ilustra a Figura 2.25.

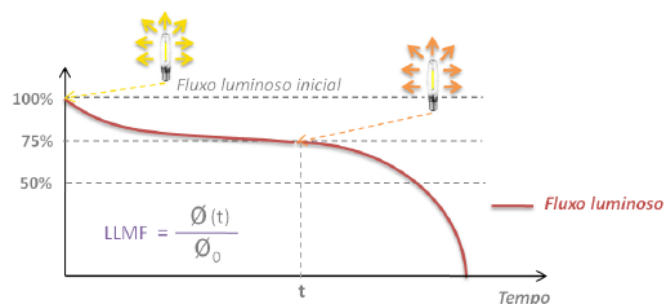


Figura 2.25 – Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada (FMLL) [10].

**Fator de Sobrevivência da Lâmpada (FSL)**

O FSL é definido pela fração do número total de lâmpadas que continuam a funcionar num dado momento e sob determinadas condições [EN 12665:2002], como expõe a Figura 2.26.

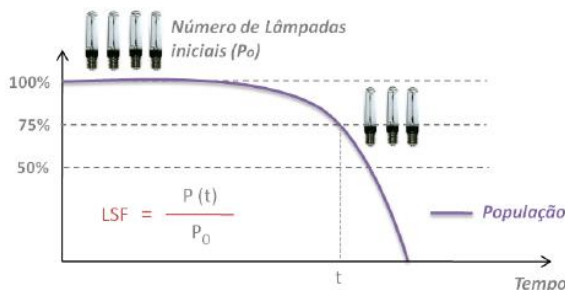


Figura 2.26 – Fator de Sobrevivência da Lâmpada (FSL) [10].

**Fator de Manutenção da Luminária (FML)**

O FML é o rácio de saída (LOR) de uma luminária num dado momento (LOR(t)), com o LOR dessa mesma luminária no seu início de vida (LOR₀), como apresenta a Figura 2.27.

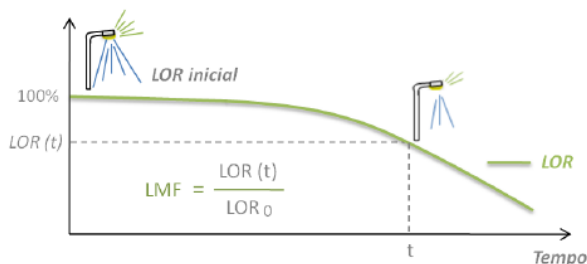


Figura 2.27 – Fator de Manutenção da Luminária (FML) [10].

O valor do fator de manutenção poderá determinar a potência da lâmpada a instalar, bem como o número de luminárias necessárias para alcançar os valores de iluminância/luminância especificados. O FM de uma instalação pode ser calculado através da expressão (2-10):

$$FM = FMLL \times FSL \times FML \tag{2-10}$$

### **CrITÉRIOS para OperaÇão/ManutenÇão**

A operaÇão e manutenÇão da IP é um enorme desafio, devido aos diversos componentes inseridos no sistema (Figura 2.28). Todos os sistemas de iluminaÇão irão deteriorar-se progressivamente a partir do instante inicial de funcionamento. Esta diminuiÇão do desempenho é o resultado da [15]:

- AcumulaÇão de poeiras e lixo nas superfícies expostas das lâmpadas e/ou das luminárias;
- DiminuiÇão do fluxo luminoso da lâmpada;
- Lâmpadas fundidas;
- Idade dos componentes;
- Complexidade dos sistemas.



Figura 2.28 – AÇão de manutenÇão de uma luminária [15].

Uma manutenÇão regular é extremamente importante para manter a eficiênciA de uma instalaÇão, assegurando uma aparênciA satisfatÓria e seguranÇa para os utilizadores.

Existem vÁrios fatores de depreciaÇão de uma rede de IP que reduzem o seu nÍvel de iluminaÇão. Estes agrupam-se em dois grupos:

- DepreciaÇão não recuperÁvel;
- DepreciaÇão recuperÁvel.

Os fatores não recuperÁveis, como por exemplo o envelhecimento, são inerentes à instalaÇão e ao seu meio ambiente, não sendo possÍvel melhorÁ-los (pelo menos de modo economicamente viÁvel) com a manutenÇão efetuada.

Os fatores recuperÁveis podem ser melhorados através de uma manutenÇão, fazendo a limpeza e a substituiÇão dos componentes do sistema de IP. Como exemplos temos o FMLL, FSL e o FML (Figura 2.29).

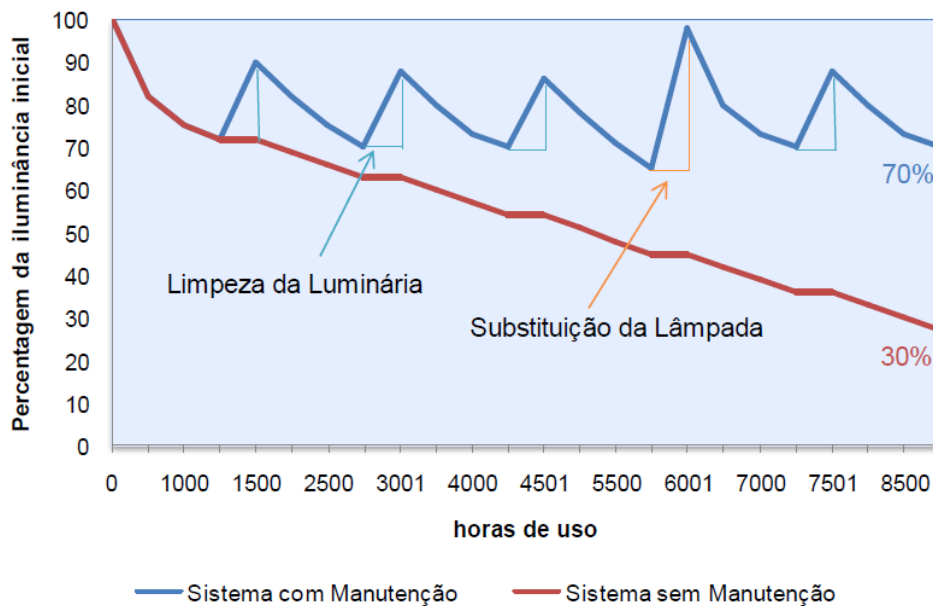


Figura 2.29 – Comparação da depreciação do fluxo luminoso de um sistema, com e sem manutenção [15].

É aconselhável uma limpeza regular das superfícies internas e externas das luminárias de uma instalação de IP. A sua frequência irá depender do:

- Meio ambiente envolvente;
- Equipamento usado;
- Parâmetros do projeto.

## 2.4 Equipamentos de medição utilizados em IP

### Luxímetro

O luxímetro (Figura 2.30) consiste numa célula fotoelétrica, normalmente baseada num fotodíodo, que ao receber a luz permite a passagem de uma corrente elétrica proporcional à luz incidente. Este aparelho é utilizado para medir o nível de iluminação, ou seja, a iluminância.



Figura 2.30 – Luxímetro (SI – Lux) [7].

### Luminancímetro

O Luminancímetro (Figura 2.31) é um aparelho de medição de luminância que se baseia num sistema ótico direcional. Este sistema orienta-se de modo a que a imagem coincida com o ponto a medir. A luz detetada num sensor fotoelétrico gera uma corrente elétrica, que é convertida num sinal de leitura analógico ou digital.



Figura 2.31 – Luminancímetro (SI –  $\text{cd/m}^2$ ) [7].

### Esfera de Ulbricht

A medida do fluxo luminoso realiza-se em laboratório por meio de um foto elemento incorporada numa esfera côncava. A esta dá-se o nome de esfera integradora de Ulbricht (Figura 2.32) no seu interior coloca-se a fonte luminosa que se pretende medir.



Figura 2.32 – Esfera de Ulbricht (SI – Lúmen) [7].

## **3. Tecnologia de iluminação**

### **3.1 Lâmpadas**

A lâmpada é o componente cuja funcionalidade é a produção de radiação eletromagnética no espectro visível. São vários os tipos de lâmpadas que podem ser utilizadas como fontes luminosas num sistema IP. Estas distinguem-se mediante as suas características técnicas e económicas e os seus parâmetros de desempenho, nomeadamente:

- Índice de Restituição de Cor;
- Temperatura de Cor;
- Fluxo Luminoso;
- Eficiência Luminosa;
- Gama de Potência;
- Tempo de Vida;
- Custo;
- Fator de Sobrevivência da Lâmpada;
- Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada.

### 3.1.1 Tecnologias antigas

As lâmpadas incandescentes e de vapor de Mercúrio são fontes luminosas, que estão neste momento num período de saída do mercado nos sistemas de IP em Portugal. Se já não se encontram praticamente lâmpadas incandescentes, as de vapor de Mercúrio ainda representam um lote significativo no sistema de iluminação pública nacional, responsáveis por cerca de 10% do consumo total neste sector no final de 2008 [16].

#### Lâmpada Incandescente

Este tipo de lâmpada funciona com base no fenómeno de incandescência, ou seja, pela emissão de luz de um corpo devido à sua elevada temperatura.

Consistem num bolbo de vidro cheio de um gás inerte, nomeadamente Árgon, Azoto ou Crip-ton, com um filamento de Tungsténio no seu interior, como se pode observar na Figura 3.1. Este filamento é dimensionado para suportar uma corrente elétrica que o irá aquecer a temperaturas de 2000 a 3300 (K).

Nestas lâmpadas apenas uma pequena parte da energia consumida é convertida em luz visível, sendo que 90 a 95% é perdida sob forma de calor, na forma de radiação no espectro dos infravermelhos. O seu rendimento é baixo quando comparado com outras lâmpadas como as fluorescentes compactas ou *Compact Fluorescent Lamps (CFLs)*.

A vantagem deste tipo de lâmpada é a excelente reprodução de cores e o seu baixo custo.



Figura 3.1 – Constituição de uma lâmpada incandescente [16].

Trata-se de uma solução energeticamente desaconselhável, quando comparada com outras fontes luminosas existentes, pois apresenta:

- Muito baixa eficiência luminosa;
- Menor tempo de vida médio/curto (cerca de 1000 horas);

- Uma potência elevada de onde resulta um elevado consumo;
- Uma maior degradação do fluxo luminoso devido à deposição das partículas de Tungsténio na parede interior da lâmpada.

Na Figura 3.2 está representada o espectro luminoso de uma lâmpada incandescente.

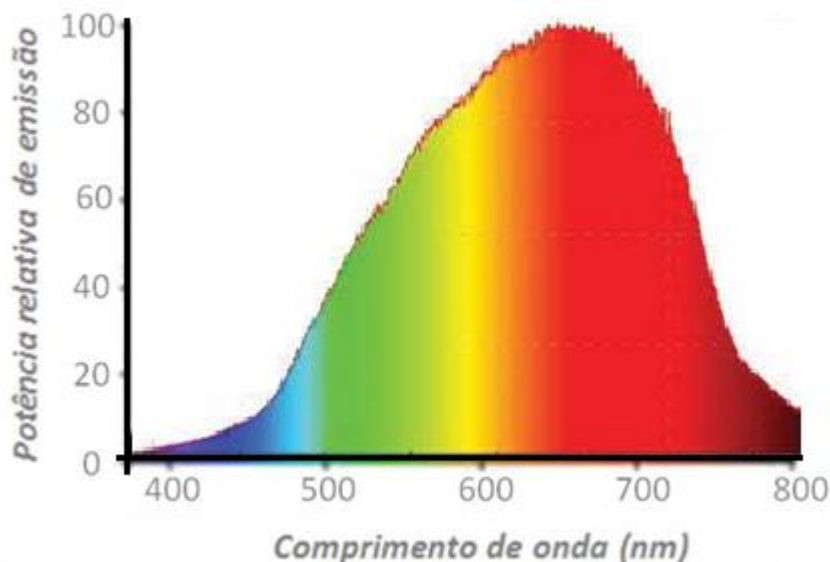


Figura 3.2 – Espectro luminoso de uma lâmpada incandescente [17].

Apresenta-se no Quadro 3.1 as características principais da lâmpada incandescente.

Quadro 3.1 – Características das lâmpadas incandescentes [18].

<b>Potência</b>	15 – 1000 (W)
<b>Temperatura de cor</b>	2700 (K)
<b>IRC</b>	100
<b>Eficiência</b>	10 – 20 (lm/W)
<b>Tempo de vida útil</b>	1000 horas

### **Lâmpada Vapor de Mercúrio de Alta Pressão ou *High Pressure Mercury Lamp* (HPM)**

A lâmpada de vapor de Mercúrio tem como princípio de funcionamento a descarga entre dois eletrodos imersos numa atmosfera de Árgon, com uma pequena quantidade de Mercúrio, como se pode observar na Figura 3.3. Foi desenvolvido por volta de 1930 e teve grande sucesso comparativamente com a tecnologia incandescente.

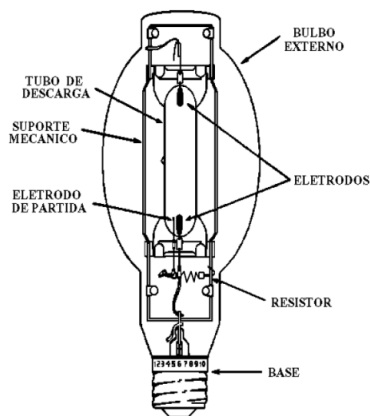


Figura 3.3 – Lâmpada de Mercúrio [19].

Esta lâmpada era considerada, na década de 80, uma das mais importantes em IP. No entanto, com o aparecimento da lâmpada de vapor de Sódio de alta pressão, a sua utilização tem-se tornado cada vez menos comum. Assim acontece por dois motivos principais, a sua eficiência luminosa é muito baixa, raramente consegue atingir os 50 lm/W e quantidade de Mercúrio existente é bastante prejudicial para o meio ambiente. Na Figura 3.4 está representada o espectro luminoso de uma lâmpada de vapor de Mercúrio.

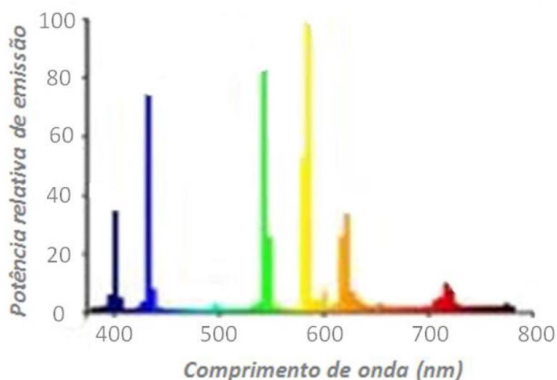


Figura 3.4 – Espectro de emissão luminoso de lâmpadas de vapor de Mercúrio [17].

Apresenta-se no Quadro 3.2 as características principais da lâmpada de vapor de Mercúrio.

Quadro 3.2 – Características das lâmpadas de vapor de Mercúrio [17].

<b>Potência</b>	50 – 1000 (W)
<b>Temperatura de cor</b>	3000 – 5000 (K)
<b>IRC</b>	40 – 60
<b>Eficiência</b>	20 – 50 (lm/W)
<b>Tempo de vida útil</b>	16000 horas

### 3.1.2 Tecnologias do presente

Devido às suas características e à relação eficiência/custo de investimento e de funcionamento, os tipos de lâmpadas explicitados neste subcapítulo são os mais utilizados atualmente em IP, tais com:

- Fluorescentes (compactas ou tubulares);
- Vapor de Sódio (alta e baixa pressão);
- Iodetos Metálicos;
- Díodo emissor de luz ou Light Emitting Diode (LED).

#### **Fluorescentes Compactas ou *Compact Fluorescent Lamps (CFLs)***

A CFL (ilustrada na Figura 3.5) surgiu na década de 80 e foram projetadas para substituir as lâmpadas incandescentes. São uma boa escolha quando se quer uma elevada eficiência, baixo custo e um valor baixo de Lúmens à saída, sendo por isso aplicadas em locais onde baixos níveis de luminosidade são aceitáveis. Daqui se compreende que a taxa de utilização deste tipo de lâmpadas no mercado da IP é baixa, sendo quase exclusivamente utilizadas nos parques e jardins ou em zonas para efeitos decorativos.

Mais recentemente, com a introdução de novos Fosfatos, as características da cor das CFLs foram substancialmente melhoradas, pelo que atualmente já existem modelos em que a luz emitida é branca e fria.



Figura 3.5 – Lâmpada florescente compacta [20].

Apesar de terem um custo inicial superior ao das lâmpadas de incandescência, proporcionam poupanças importantes devido ao seu maior rendimento (consomem apenas 20% da energia) e à sua elevada duração.

A Figura 3.6 ilustra o espectro luminoso de uma lâmpada fluorescente.

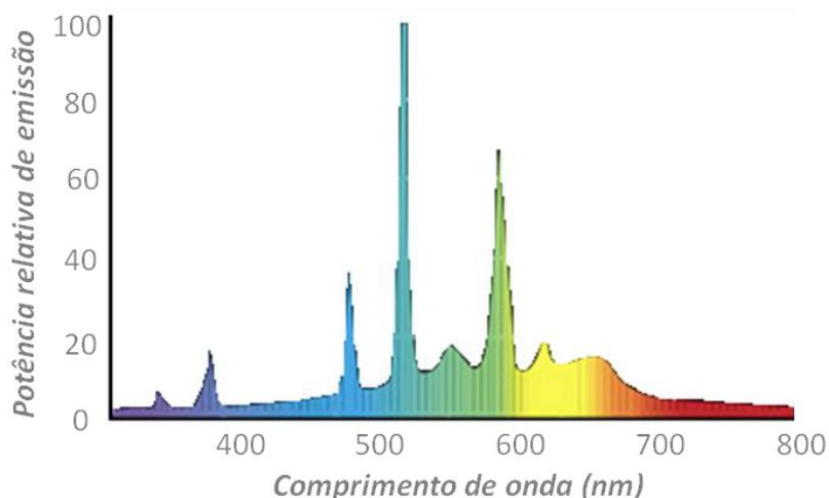


Figura 3.6 – Espectro de emissão luminoso de uma lâmpada fluorescente [17].

Apresenta-se no Quadro 3.3 as características principais da lâmpada compacta fluorescente.

Quadro 3.3 – Características das lâmpadas compactas fluorescente [21].

<b>Potência</b>	5 – 55 (W)
<b>Temperatura de cor</b>	2700 – 6000 (K)
<b>IRC</b>	85 – 98
<b>Eficiência</b>	45 – 87 (lm/W)
<b>Tempo de vida útil</b>	10000 horas

### Lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão ou *High Pressure Sodium (HPS)*

A lâmpada de vapor Sódio de alta pressão foi projetada para obter rendimentos e durabilidade elevada. A maior barreira para o seu fabrico foi a confecção do tubo de descarga, para que suportasse a agressividade do Sódio a altas temperaturas e pressões. Este obstáculo foi transposto com o desenvolvimento de um tipo especial de cerâmica translúcida de Alumina (Óxido de Alumínio).

Uma fonte de alimentação e um balastro (eletromagnético ou eletrónico) em série irão fornecer uma corrente apropriada à lâmpada. A Figura 3.7 ilustra o seu funcionamento. Quanto maior for a potência da lâmpada, maior será a temperatura no seu interior e quanto maior for a temperatura, maior será a pressão do vapor e menor a resistência elétrica da lâmpada.

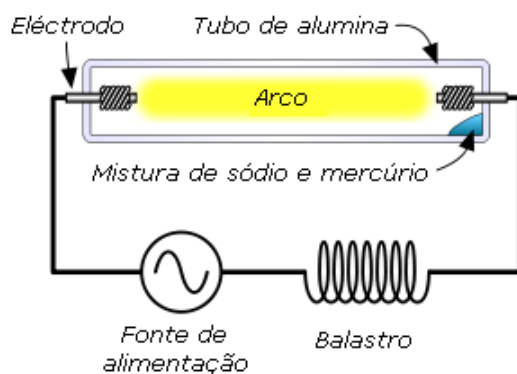


Figura 3.7 – Esquema de funcionamento de uma lâmpada de vapor de Sódio de alta pressão [22].

As lâmpadas de vapor de Sódio de alta pressão (ilustradas na Figura 3.8), assim como as lâmpadas de Iodetos Metálicos, estão disponíveis numa vasta gama de formatos, desde a forma elipsoidal à refletora parabólica.

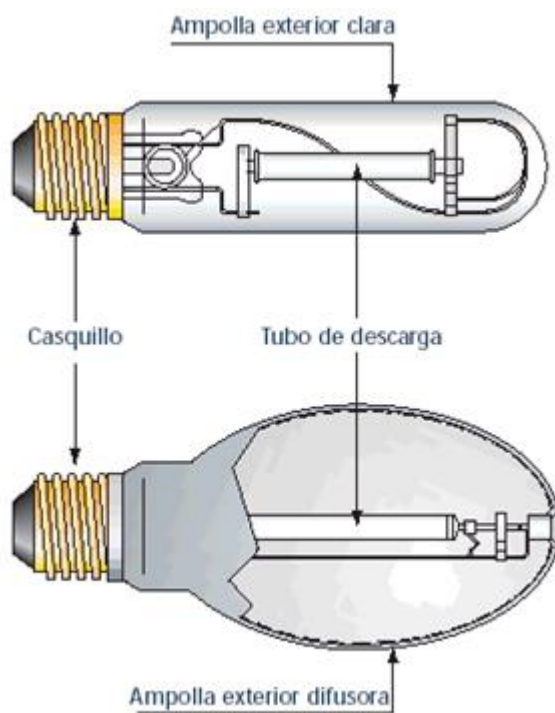


Figura 3.8 – Lâmpadas de vapor de Sódio de alta pressão [23].

A Figura 3.9 ilustra o espectro luminoso de uma lâmpada de vapor de Sódio de alta pressão.

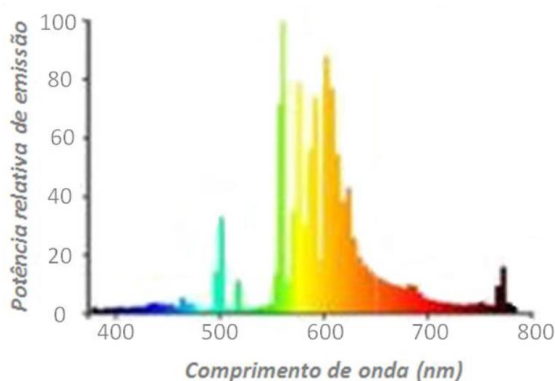


Figura 3.9 – Espectro luminoso de lâmpadas de vapor de Sódio de alta pressão [17].

Apresenta-se no Quadro 3.4 as características principais da lâmpada vapor de Sódio de alta pressão.

Quadro 3.4 – Características das lâmpadas de vapor de Sódio de alta pressão [21].

<b>Potência</b>	50 – 1000 (W)
<b>Temperatura de cor</b>	2000 – 3300 (K)
<b>IRC</b>	20 – 40
<b>Eficiência</b>	70 – 140 (lm/W)
<b>Tempo de vida útil</b>	16000 horas

### Lâmpadas de Vapor de Sódio de Baixa Pressão ou *Low Pressure Sodium (LPS)*

Com o aparecimento da lâmpada de vapor de Sódio de baixa pressão (ilustrada na Figura 3.10) nas redes de IP conseguiu-se obter um melhor rendimento das instalações. Tem como princípio de funcionamento a descarga num tubo de vidro especial em forma de U, contendo uma atmosfera composta de Néon, Árgon e do Sódio.

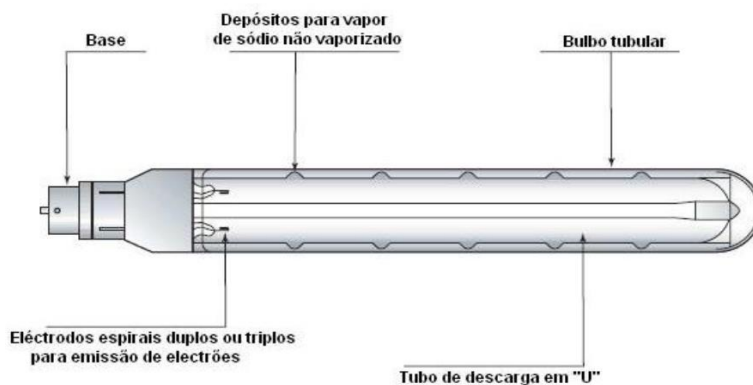


Figura 3.10 – Detalhes de uma lâmpada de vapor de Sódio de baixa pressão [23].

A lâmpada a vapor de Sódio de baixa pressão tem a desvantagem de possuir um espectro praticamente monocromático na região do amarelo (Figura 3.11), o que representa o pior índice de restituição de cor de todas as fontes luminosas. Tem também os tempos de vida útil mais baixos. Em contrapartida possui o mais elevado índice de eficiência energética.

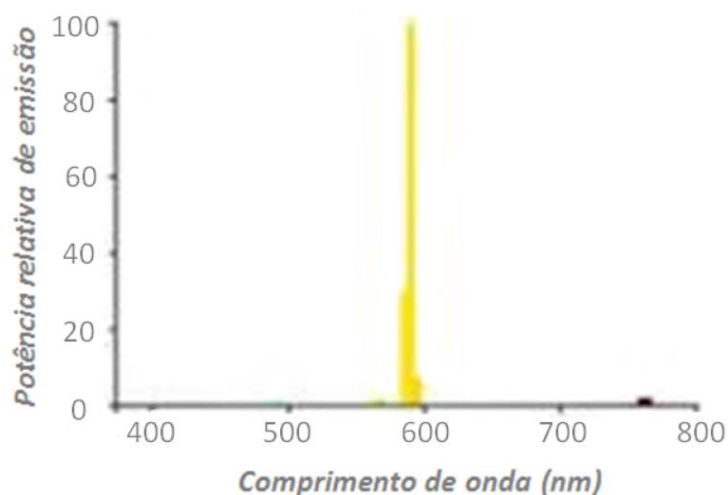


Figura 3.11 – Espectro da lâmpada de Vapor de Sódio de baixa pressão [17].

Apresenta-se no Quadro 3.5 as características principais da lâmpada vapor de Sódio de baixa pressão.

Quadro 3.5 – Características típicas da lâmpada de vapor de Sódio de baixa pressão [21].

<b>Potência</b>	50 – 1000 (W)
<b>Temperatura de cor</b>	1800 – 2200 (K)
<b>IRC</b>	10 – 20
<b>Eficiência</b>	120 – 180 (lm/W)
<b>Tempo de vida útil</b>	16000 horas

#### Lâmpada de Iodetos Metálicos

A lâmpada de Iodetos Metálicos (ilustrada na Figura 3.12) tem algumas semelhanças com a lâmpada de vapor de Mercúrio, à exceção das seguintes características:

- Presença de Iodetos Metálicos;
- Desempenho muito superior em termos do Índice de Restituição de Cor (IRC).

Esta lâmpada contém um revestimento de alumina nas extremidades do tubo de descarga, cujo objetivo é refletir o calor produzido pela descarga para os eletrodos, impedindo a condensação dos Iodetos no interior do tubo de descarga da lâmpada.

Atualmente, a lâmpada de Iodetos Metálicos, apresenta um grande número de aplicações, com destaque para a IP de:

- Centros históricos e monumentos;
- Zonas residenciais;
- Estádios de futebol.

A eficiência luminosa deste tipo de lâmpadas é superior à lâmpada de vapor de Mercúrio, mas inferior à lâmpada de vapor de Sódio de alta pressão.



Figura 3.12 – Lâmpadas de Iodetos Metálicos [24].

Comparadas com as lâmpadas de Sódio de alta pressão, oferecem as mesmas vantagens, mas têm características diferentes. Têm uma maior gama de potências e uma cor mais branca e fria. São usadas quando se necessita de uma boa eficiência e restituição de cores. Contudo a cor é afetada pela idade, têm menor vida útil e rendimento. Na Figura 3.13 está ilustrado o espectro luminoso de uma lâmpada de Iodetos Metálicos.

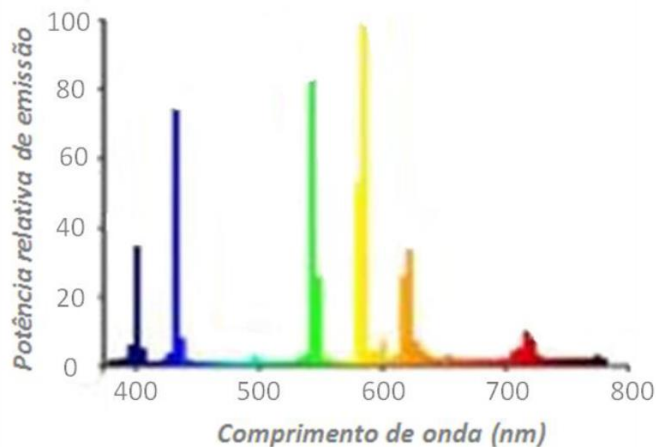


Figura 3.13 – Espectro luminoso das lâmpadas de Iodetos Metálicos [17].

Apresenta-se no Quadro 3.6 as características principais da lâmpada de Iodetos Metálicos.

Quadro 3.6 – Características típicas da lâmpada de Iodetos Metálicos [21].

<b>Potência</b>	35 – 3500 (W)
<b>Temperatura de cor</b>	3300 – 5500 (K)
<b>IRC</b>	80 – 90
<b>Eficiência</b>	65 – 110 (lm/W)
<b>Tempo de vida útil</b>	12000 – 16000 horas

### Díodo emissor de luz ou *Light Emitting Diode (LED)*

O LED transforma a energia elétrica em luz num cristal de semicondutor. Tal transformação é diferente da encontrada em lâmpadas convencionais (incandescentes, descarga e indução), pois a transformação de energia elétrica em luz é efetuada dentro da matéria sólida, daí que também seja denominada por iluminação de estado sólido ou *Solid State Lighting (SSL)*.

Com o desenvolvimento de novas tecnologias de fabrico e materiais, os LEDs têm vindo a ser produzidos com custos cada vez menores, proporcionando uma gama cada vez maior de aplicações, como sinalização, iluminação de interiores e IP.

O LED (ilustrado na Figura 3.14) é constituído por um chip semicondutor (detalhes na Figura 3.15), que é encapsulado em material plástico, cerâmico ou resina. Geralmente um segundo controlador ótico (lente ou difusor) é introduzido na cápsula. Desta forma, o rendimento ótico do sistema será definido quer pela forma e tamanho do LED, quer pela configuração da lente e da sua distância ao chip.

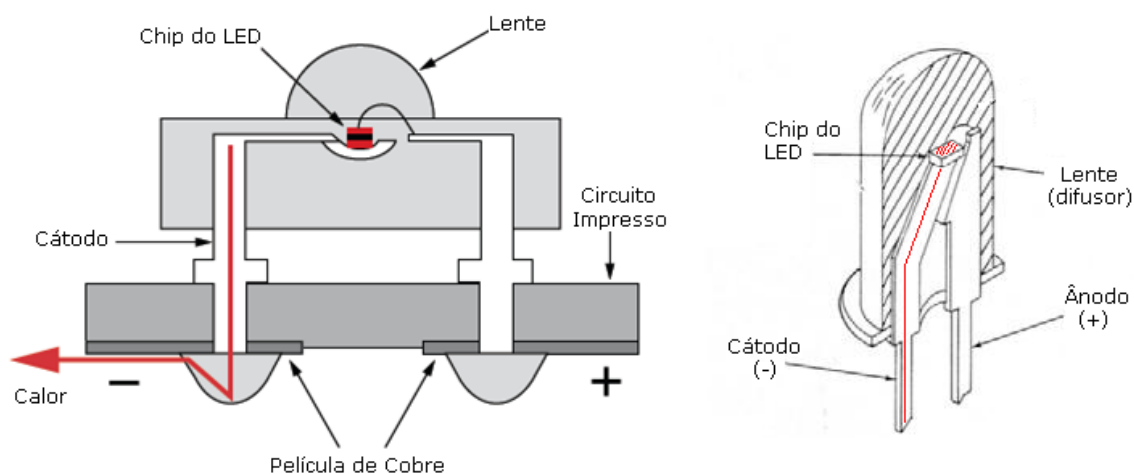


Figura 3.14 – Estrutura de um LED montado em circuito impresso (esquerda) e vista de perfil do LED (direita) [25].

O funcionamento de um LED só é possível com o uso de uma fonte de alimentação especial, que irá converter a tensão alternada da rede em tensão contínua. Dependendo da sua polarização, o LED irá permitir, ou não, a passagem de corrente elétrica gerando, ou não, luz.

Os elétrons movem-se da região N, através da junção PN do díodo semiconductor, até atingirem a região P, onde se recombinam com cargas positivas (lacunas). Quando duas cargas se recombinam, são libertados fótons cuja energia é igual à largura da banda proibida,  $E_g$  (Figura 3.16).

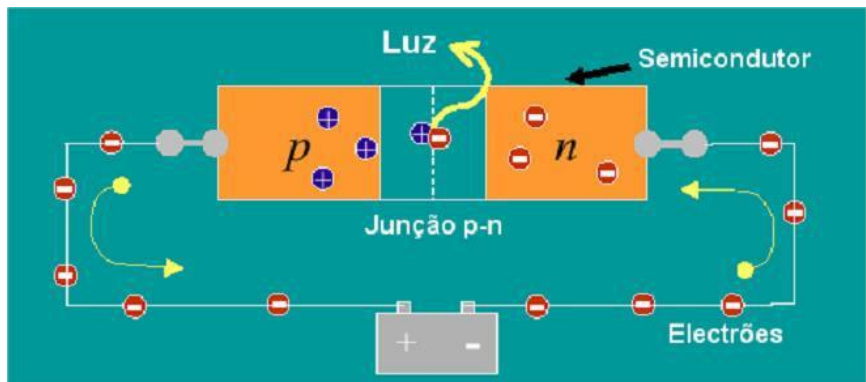


Figura 3.15 – Representação interna do princípio de funcionamento de um LED [25].

Os LEDs emitem uma luz monocromática, sendo que a cor da luz irá depender do:

- Material utilizado na sua composição;
- Largura de banda proibida do semiconductor.

De modo a termos um díodo emissor de luz visível, é necessário escolher materiais que possuam uma largura de banda proibida maior que a do Silício (Figura 3.16). Esse valor irá determinar o comprimento de onda do fóton e, desta forma, a cor da luz emitida.

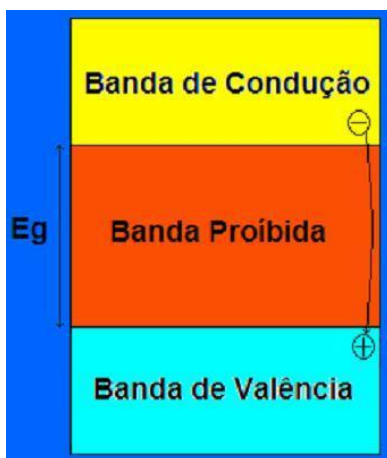


Figura 3.16 – A energia de um fóton é igual à largura de banda proibida ( $E_g$ ) [25].

A produção de LEDs com cor idêntica foi um problema ultrapassado apenas com a implementação do processo de agrupamento em lotes homogêneos (*binning* - seleção em *bins*, ou seja, lotes). O processo *binning* (ilustrado na Figura 3.17) envolve a caracterização dos LEDs mediante as medidas das suas características fundamentais: fluxo, cor e tensão.

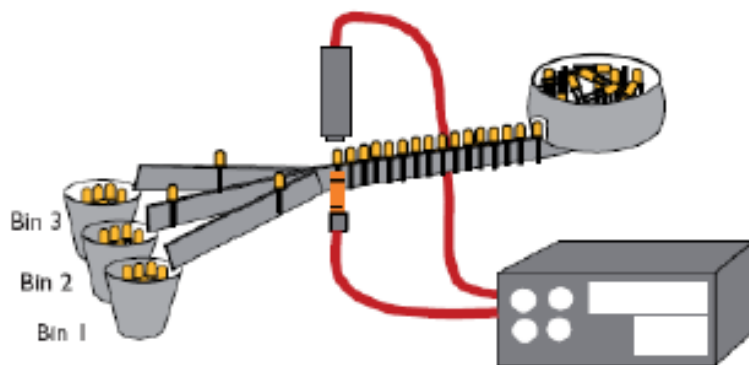


Figura 3.17 – Processo de *binning* [25].

Quando se utiliza uma luminária de LEDs (Figura 3.18) é fundamental que sejam do mesmo lote de modo a proporcionar um melhor efeito visual.



Figura 3.18 – Luminária de IP com LEDs [25].

Possuem ainda como vantagens:

- Direccionalidade;
- Tempo de vida superior;
- Mais eficientes comparando com lâmpadas convencionais;
- Mais adequado para *dimming*. Permite reduções muito superiores às das lâmpadas convencionais.

Assumindo uma durabilidade anunciada por alguns fabricantes de 100.000 horas, a operar numa média de 12h por dia, terá um tempo de vida superior a 22 anos. A Figura 3.19 expõe o espectro luminoso de um LED de cor branca.

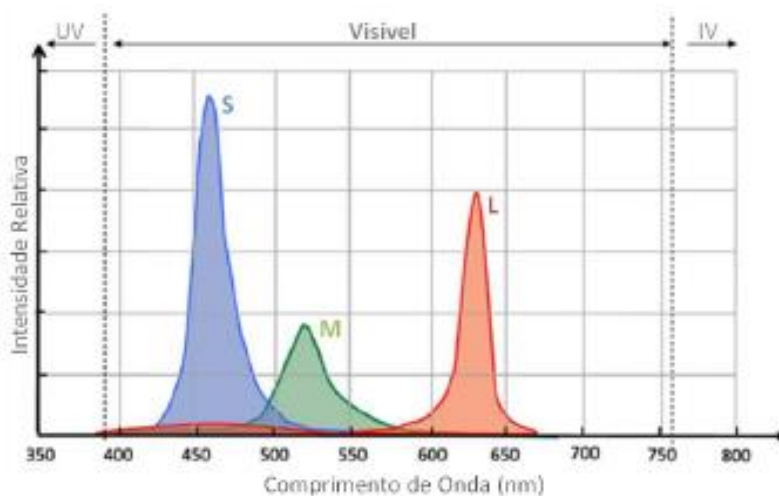


Figura 3.19 – Espectro luminoso de um LED de cor branca [17].

Apresenta-se no Quadro 3.7 as características principais dos LEDs.

Quadro 3.7 – Características típicas dos LEDs [26].

<b>Potência</b>	1 – 50 (W)
<b>Temperatura de cor</b>	2700 – 5000 (K)
<b>IRC</b>	60 – 98
<b>Eficiência</b>	120 – 160 (lm/W)
<b>Tempo de vida útil</b>	30000 - 100000 horas

### 3.1.3 Tecnologia com características especiais

#### Lâmpadas de Indução

O princípio de funcionamento da lâmpada fluorescente de indução (ilustrado na Figura 3.20), baseia-se na excitação do Mercúrio e dos gases nobres que se encontram no seu interior, através da aplicação de um campo magnético oscilante de alta frequência que irão produzir radiação ultravioleta que é convertida em luz visível.

Esta não possui elétrodos internos, sendo constituída ou por uma ampola com Mercúrio com uma bobina, que excita o Mercúrio, ou simplesmente por um tubo fechado com duas bobinas enroladas nas extremidades da lâmpada.

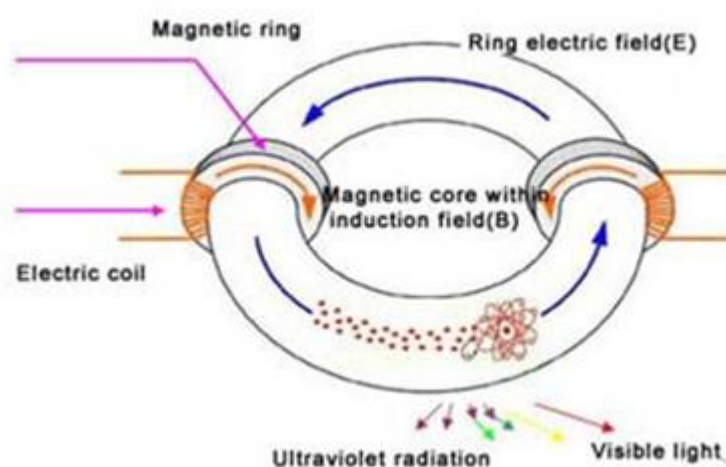


Figura 3.20 – Lâmpada fluorescente de indução [27].

As lâmpadas de indução têm uma boa eficiência energética e um IRC relativamente elevado. A grande vantagem é a sua duração. Sendo assim é utilizada em locais onde a manutenção frequente seja indesejável. Na Figura 3.21 é apresentado exemplos de armaduras equipadas com lâmpadas de indução, que poderão ser utilizadas na iluminação exterior como por exemplo em postes de iluminação de difícil acesso ou junto a linhas de AT e MAT, túneis, tecto de indústrias muito altos e de difícil acesso, entre outros.



Figura 3.21 – Armaduras equipadas com lâmpadas de Indução [27].

Tem a desvantagem de, atualmente, não ser ainda possível efetuar o seu *dimming* e de funcionarem apenas com balastos eletrônicos de muito alta frequência. A Figura 3.22 mostra o espectro luminoso da lâmpada de indução.

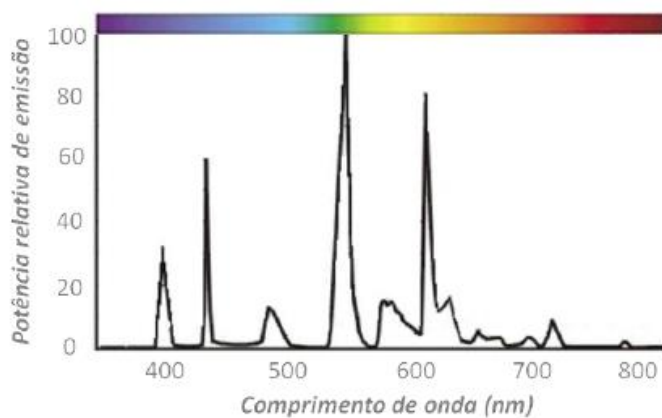


Figura 3.22 – Espectro luminoso da lâmpada de indução [17].

No Quadro 3.8 apresenta as características principais da lâmpada de indução.

Quadro 3.8 – Características típicas da lâmpada de indução [27].

<b>Potência</b>	100 – 150 (W)
<b>Temperatura de cor</b>	2700 – 4000 (K)
<b>IRC</b>	85
<b>Eficiência</b>	75 (lm/W)
<b>Tempo de vida útil</b>	100000 horas

### 3.1.4 Tecnologias do Futuro

#### Lâmpada de Plasma ou *Light Emitting Plasma* (LEP)

A LEP (ilustrada na Figura 3.23) é uma fonte luminosa de estado sólido que utiliza um gerador de altas frequências para ionizar uma ampola carregada com Árgon. O controle de emissão de Interferências Eletromagnéticas ou *Electromagnetic Interference* (EMI) e a temperatura são dois fatores muito problemáticos, que terão que ser equacionados na utilização desta tecnologia. Neste sentido, os fabricantes destas ampolas dispõem de meios para garantir que as emissões de EMI fiquem contidas dentro do corpo da luminária e que haja uma correta dissipação do calor.

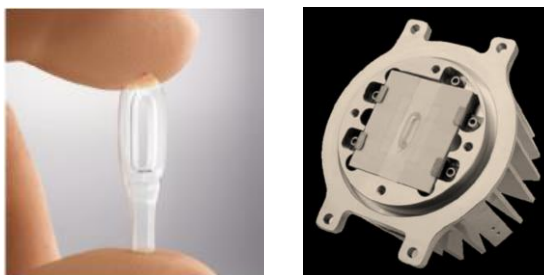


Figura 3.23 – Lâmpada de Plasma [28].

Outras exigências desta tecnologia:

- Necessidade de ter o gerador de altas frequências o mais próximo possível da ampola, sob pena de reduzir a eficiência da lâmpada;
- Redução de fluxo luminoso apenas até 20% da sua capacidade máxima;
- Alta eficiência para baixas potências.

A luz emitida da LEP é direcionada de forma mais uniforme comparando com as tecnologias apresentadas anteriormente, para todas as áreas que necessitam de iluminação sem perdas de luz em direções erradas ou desnecessárias. Na maioria das instalações com LEP é possível alcançar uma eficiência de 90% na distribuição de luz. Na Figura 3.24 é possível ter uma percepção da eficiência na distribuição de luz com a lâmpada de Plasma (90%) e com a lâmpada vapor de sódio de alta pressão (65%).

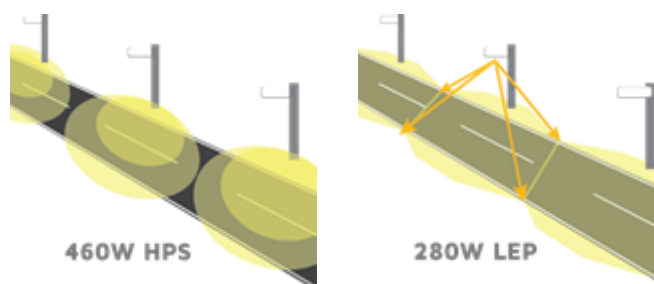


Figura 3.24 – Eficiência na distribuição de luz da LEP e da HPS [28].

Vantagens da LEP:

- Excelente eficiência na distribuição de luz;
- Consegue uma iluminação muito próxima da natural devido ao seu espectro luminoso;
- Redução do consumo de energia sem diminuir os níveis de brilho;
- Integração de qualquer sistema de controlo;
- IRC excelente. De todos os sistemas de iluminação artificial a LEP é a que possui o espectro mais próximo da radiação solar.

O Quadro 3.9 apresenta a comparação de alguns aspetos da lâmpada de plasma com outras tecnologias existentes

Quadro 3.9 – Comparação de alguns aspetos da lâmpada de plasma com outras tecnologias existentes [28].

<b>Tecnologia</b>	<b>Semelhanças</b>	<b>Diferenças</b>
<b>Plasma vs LED</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fiabilidade elevada devido à utilização de eletrónica de estado sólido;</li> <li>• Direccionalidade da luz;</li> <li>• Níveis de eficiência;</li> <li>• Capacidade de <i>dimming</i>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espectro visível total, logo os plasmas possuem um IRC mais elevado;</li> <li>• O plasma demora mais tempo a atingir a potência máxima e mais tempo no reacendimento.</li> </ul>
<b>Plasma vs Indução</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não necessita de elétrodos para transferência de energia;</li> <li>• Bolbo de elevada durabilidade, completamente selado e livre de contaminações.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior brilho;</li> <li>• Mais compacta;</li> <li>• Maior IRC.</li> </ul>
<b>Plasma vs Lâmpada de descarga de alta intensidade</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior fiabilidade;</li> <li>• Controlo mais preciso;</li> <li>• Não necessita de elétrodos;</li> <li>• Custos menores de operação e manutenção.</li> </ul>

No Quadro 3.10 refere as características principais da lâmpada de plasma.

Quadro 3.10 – Características típicas das lâmpadas de plasma [28].

<b>Potência</b>	230 – 450 (W)
<b>Temperatura de cor</b>	5300 – 6000 (K)
<b>IRC</b>	100
<b>Eficiência</b>	75 – 120 (lm/W)
<b>Tempo de vida útil</b>	30000 horas

Um caso de estudo na China, na província de Guangdong, teve como objetivo a substituição das lâmpadas de vapor de Sódio de alta pressão de 460 W existentes por lâmpadas de plasma de 280 W. Nas Figuras 3.25 e 3.26 é possível observar a diferença na iluminação com esta tecnologia.



Figura 3.25 – Caso de estudo na China, província de Guangdong, antes com lâmpada vapor de Sódio [28].



Figura 3.26 – Caso de estudo na China, província de Guangdong , depois com lâmpada de plasma [28].

### **Lâmpadas incandescente mais eficientes**

Várias experiências têm sido efetuadas no domínio das lâmpadas incandescentes para combater a sua baixa eficiência, a par do reduzido tempo de vida útil.

São de seguida apresentados três desenvolvimentos.

1. Utilizando um laser superpotente no processo de fabrico faz com que uma lâmpada de 100 W, emitindo a mesma luminosidade, consuma menos eletricidade do que uma lâmpada de 60 W, e continue a ser muito mais barata e capaz de emitir uma luz de espectro contínuo. O laser cria uma série de estruturas nanocristalinas na superfície do filamento de Tungsténio alterando a sua capacidade de emissão de fotões. Desta forma, recorrendo à mesma corrente de alimentação, o filamento fica mais brilhante, tornando o Tungsténio mais eficiente na emissão de luz.
2. Um outro avanço foi conseguido pelos cientistas do *Sandia National Laboratories* (EUA) ao criarem uma rede cristalina de Tungsténio, com um padrão microscópico bem definido, que é capaz de transformar praticamente toda a energia em luz, evitando o desperdício. O fabrico do novo filamento baseou-se na tecnologia MEMS (*Micro Electro Mechanical Systems*) e utilizou pastilhas de Silício de seis polegadas. Isso significa que a sua produção efetiva poderá ser fácil e barata.
3. Finalmente, dois engenheiros do Instituto Politécnico *Rensselaer* (igualmente nos EUA) recorreram à nanotecnologia e criaram um filtro fotónico metálico bidimensional que aumenta a eficiência dessas lâmpadas em cerca de 8 vezes. Isto é conseguido ao "reciclar" a radiação infravermelha desperdiçada pela lâmpada, reaproveitando-a e transformando-a em luz visível. Este filtro que envolve o filamento da lâmpada é totalmente transparente à luz e funciona como um refletor perfeito para a luz infravermelha que irá ajudar a aquecer o filamento, poupando energia [17].

### **LEDs Orgânicos ou *Organic Lighting Emitting Diode* (OLED)**

O OLED é uma fonte de iluminação fina e plana composta por camadas de plástico e outros materiais orgânicos que emite luz a partir de uma área potencialmente grande (detalhes na Figura 3.27). A sua estrutura é similar aos LEDs inorgânicos:

- Ânodo;
- Cátodo;
- Camada emissora entre os dois;
- Camada transportadora de eletrões (CTE);
- Camada transportadora de lacunas (CTL).

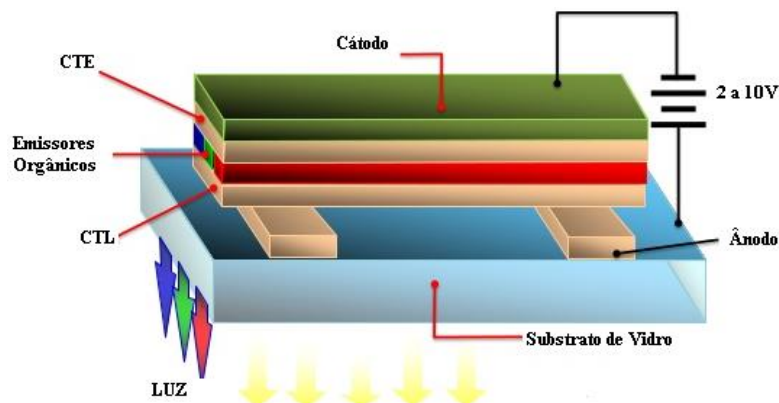


Figura 3.27 – Camadas do OLED de cor branca [29].

O seu princípio de funcionamento é muito simples: elétrons e lacunas são injetados no cátodo e no ânodo e quando as cargas portadoras se combinam na camada orgânica são emitidos fótons. Para diminuir a dificuldade na injeção dos portadores dos contactos inorgânicos para a camada orgânica, são adicionadas as CTE e de CTL à estrutura do OLED.

O Quadro 3.11 apresenta as vantagens e desvantagens dos OLEDs.

Quadro 3.11 – Vantagens e Desvantagens dos OLEDs [30].

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bastante finos e de material plástico flexível e transparente;</li> <li>• Usam picos de intensidade luminosa baixos numa área alargada;</li> <li>• Possibilidade de emissão de todas as cores e até de multicores numa mesma área;</li> <li>• Bom IRC;</li> <li>• Possibilidade de <i>dimming</i>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muito sensíveis à humidade, o que faz com que o tempo de vida seja mais reduzido;</li> <li>• Eficiência luminosa ainda relativamente baixa;</li> <li>• Não consegue ainda manter o brilho durante tempo suficiente para competir com outros tipos de lâmpadas.</li> </ul>

### **Cavidades Orgânicas Emissoras de Luz ou *Cavity Organic Light-Emitting Diode* (COLEDs)**

Os COLEDs foram projetados pelo investigador Dr. Yijian Shi (Estados Unidos).

Estes novos LEDs orgânicos (Figura 3.28) utilizam cavidades óticas, espelhos paralelos e espelhos contrapostos que evitam a fuga de fótons para outros pontos que não a direção de saída da luz emitida pelo dispositivo.

As cavidades óticas, usadas em conjunto com os LEDs orgânicos feitos de polímeros, resultam numa emissão de luz cinco vezes superiores às dos melhores OLEDs. O COLED consegue obter mais eficiência ao emitir luz azul e verde do que qualquer outro OLED. Para

produzir a luz branca necessária na IP é necessário misturar as estruturas emissoras do vermelho, verde e azul. Os investigadores acreditam que estão no caminho certo com o seu COLED azul, visto ser a cor mais problemática. Os COLEDs poderão ser duas vezes mais eficientes do que as atuais lâmpadas fluorescentes compactas.

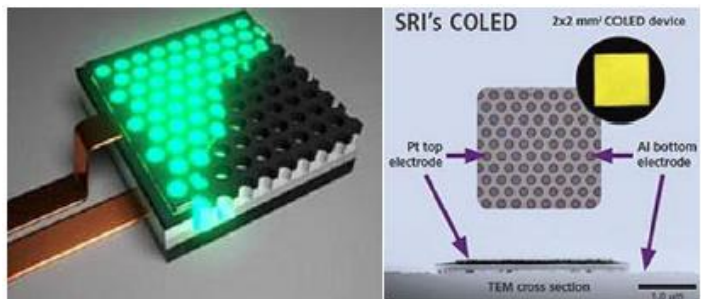


Figura 3.28 – Estrutura do COLED [30].

### 3.1.5 Comparação das características dos diversos tipos de lâmpadas

A escolha do tipo de lâmpada num conjunto funcional reveste-se da máxima importância, quer ao nível da qualidade de iluminação (IRC e temperatura de cor), quer ao nível do custo e eficiência da instalação (tempo de vida, rendimento e preço). Existem várias categorias de lâmpadas como ilustra a Figura 3.29.

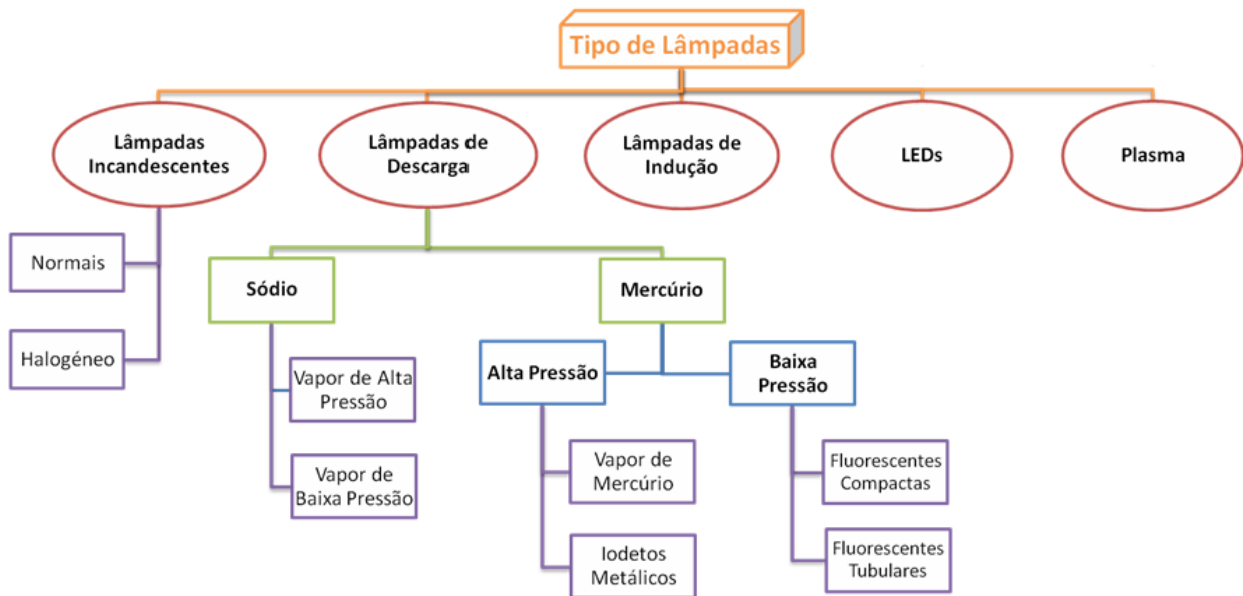


Figura 3.29 – Diagrama com os tipos de lâmpadas existentes [17].

Em termos de eficiência, e tendo em conta as preocupações de sustentabilidade para a IP, deve existir um valor mínimo de eficiência luminosa associado a um determinado intervalo de potência da lâmpada. Com pode verificar no Quadro 3.12.

Quadro 3.12 – Eficiência mínima associada a uma determinada potência [17].

Potência da Lâmpada (W)	Eficiência Mínima da Lâmpada (lm/W)
$W \leq 50$	55
$50 \leq W \leq 70$	65
$70 \leq W \leq 125$	70
$125 \leq W \leq 400$	75
$400 \leq W \leq 1000$	80
$1000 \leq W \leq 2000$	85
Superior a 2000	90

O fluxo luminoso de uma lâmpada degradar-se ao longo do seu tempo de vida. O Quadro 3.13 indica qual a percentagem típica do fluxo luminoso inicial, após a vida média de uma dada lâmpada.

Quadro 3.13 – Fluxo luminoso verificado à vida média, de cada tipo de lâmpada [17].

Tipo de Lâmpada	Fluxo Luminoso verificado à vida média
Incandescente	87%
Fluorescente	85%
Vapor de Mercúrio	78%
Vapor de Sódio de alta pressão	90%
Vapor de Sódio de baixa pressão	87%
Iodetos Metálicos	70%
LED	90%

Após um comando de controlo de ignição da lâmpada (a frio) ou uma falha na rede (a quente), cada tipo de lâmpada demora um certo período de tempo a voltar a acender (Quadro 3.14), podendo ser da ordem dos segundos ou mesmo minutos das lâmpadas de descarga de alta intensidade, pois necessitam de arrefecer antes de reacender.

Quadro 3.14 – Tempo de ignição para cada tipo de lâmpada [17].

Tipo de Lâmpada	Tempo de arranque (a frio)	Tempo de re-ignição (a quente)
Fluorescente tubular	1 - 3 minutos	1 - 2 segundos
Vapor de Mercúrio	3 - 5 minutos	5 - 6 minutos
Vapor de Sódio de alta pressão	< 5 minutos	1 - 2 minutos
Vapor de Sódio de baixa pressão	10 - 14 minutos	Quase instantâneo
Iodetos Metálicos	3 - 4 minutos	4 - 6 minutos
LEDs	Instantâneo	Instantâneo

Nem todas as lâmpadas têm a mesma capacidade de regulação de fluxo luminoso (*dimming*) (Quadro 3.15), sendo que esta poderá ser um fator com algum peso na seleção de um tipo de lâmpadas de uma rede de IP com sistema de controle.

Quadro 3.15 – Capacidade de regulação de fluxo de cada tipo de lâmpada [17].

Tipo de Lâmpada	Capacidade de <i>Dimming</i>
Incandescentes	Capacidade total de fazer um <i>dimming</i> contínuo a qualquer valor.
Fluorescentes	
LEDs	
Iodetos Metálicos	Possível, no entanto alguns fabricantes não recomenda o <i>dimming</i> , por suspeita de diminuição do tempo de vida e da qualidade do fluxo luminosos.
Vapor de Mercúrio	<i>Dimming</i> possível (normalmente discreto) mas para um intervalo de valores mais limitado
Vapor de Sódio	
Indução	Até ao momento não existem balastros eletrônicos associados disponíveis que possibilitem o seu <i>dimming</i> .

As lâmpadas incandescentes normais, por motivos de eficiência, tem vindo a ser retiradas do mercado e as lâmpadas que utilizam Mercúrio (Diretiva 2005/32/EC de 6 Julho de 2005) têm grandes restrições ambientais. Todos os outros tipos de lâmpada têm o seu espaço no domínio da IP, dependendo das necessidades e do tipo de local a iluminar.

### 3.2 Luminárias

A luminária não é simplesmente uma peça decorativa visto que, para além de suportar a fonte de luz e garantir a alimentação elétrica, deve:

- Dirigir o fluxo luminoso, assegurando conforto visual com uma eficiência máxima;
- Evitar o encandeamento;
- Satisfazer as especificações elétricas e mecânicas que garantem a segurança e o bom funcionamento;
- Proteger os dispositivos elétricos e óticos e a fonte luminosa das possíveis agressões exteriores, nomeadamente as atmosféricas;
- Promover a dissipação de calor.

### Eficiência de uma Luminária

A eficiência de uma luminária ( $\eta$ ) pode ser obtida (expressão 3-1) pela relação entre fluxo luminoso emitido por ela ( $\Phi_{\text{luminária}}$ ) e o fluxo luminoso emitido pela fonte luminosa ( $\Phi_{\text{lâmpada}}$ ).

$$\eta = \frac{\Phi_{\text{luminária}}}{\Phi_{\text{lâmpada}}} \quad (3-1)$$

Parte do fluxo luminoso da lâmpada é absorvido pela luminária, enquanto a restante é emitida para a área a iluminar. A fração de emissão da luz da luminária irá depender dos seguintes fatores:

- Forma e tipo de construção (aberta ou fechada);
- Dispositivos usados para proteger as fontes luminosas;
- Estado de conservação.

### 3.3 Fontes de alimentação (*Drivers* de alimentação)

Entende-se por *Driver* todo o circuito controlador dos LEDs e tem como função efetuar a conversão da energia elétrica da rede, em tensão contínua, de forma a alimentar os componentes eletrônicos da luminária e a controlar a corrente fornecida nos vários modos de funcionamento dos LEDs. Adicionalmente, alguns *drivers* permitem efetuar o *dimming*, controlar as comunicações e implementar capacidades de inteligência artificial.

Existem dois tipos de drivers de LEDs:

- Corrente constante;
- Tensão constante.

A Figura 3.30 representa a configuração mínima de um sistema *driver* de LEDs. Temos um conversor AC/DC para converter a tensão sinusoidal da rede em tensão contínua e de seguida um conversor DC/DC que irá fornecer ao secundário a tensão necessária para o correto funcionamento dos LEDs.



Figura 3.30 – Esquema de um *driver* de LEDs [31].

### Balastros

Existem dois grupos de balastros, os magnéticos e os eletrônicos (ilustrados na Figura 3.31), sendo que estes últimos se podem ainda distinguir entre os de saída fixa e os controláveis, ou seja, com capacidade de *dimming*.

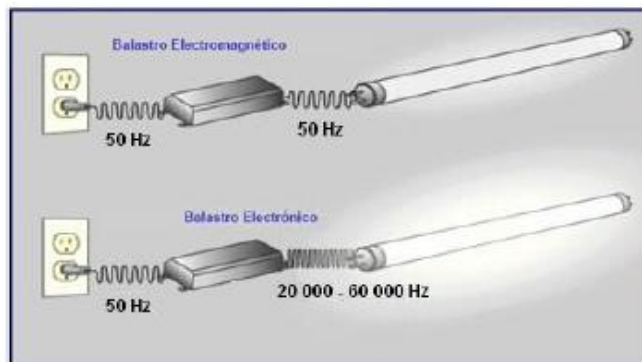


Figura 3.31 – Ilustração dos dois tipos de balastros [21].

A seleção dos balastros terá de ter obviamente em conta a sua eficiência, sendo que para cada potência da lâmpada estará uma potência de perdas máxima associada do balastro (Quadro 3.16).

Quadro 3.16 – Potência de perdas máxima dos balastros [17].

Potência da Lâmpada (W)	Potência de Perdas Máxima do Balastro (W)
50	10
70	11
100	14
150	19
250	26
400	35

Os custos dos balastros, tendo em conta a sua classe de eficiência energética, podem ser caracterizados pelo gráfico da Figura 3.32.

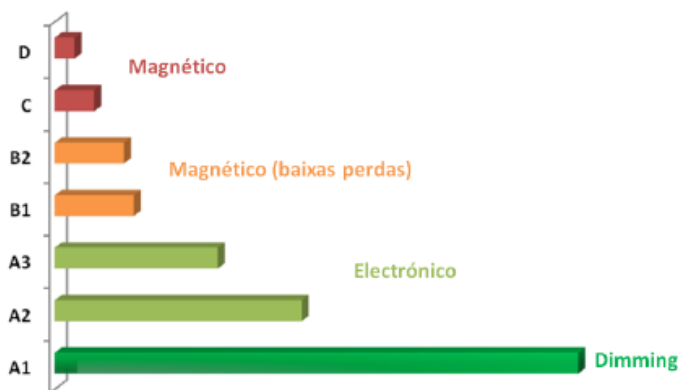


Figura 3.32 – Comparação dos custos relativos dos diversos tipos de balastros, tendo em conta a sua classe de eficiência energética [17].

As principais características dos balastros utilizados em IP (magnéticos, eletrônicos e eletrônicos com *dimming*) estão mencionadas no Quadro 3.17.

Quadro 3.17 – Principais características típicas dos balastros [17].

Características	Balastro Eletrônico	Balastro Eletrônico	Balastro com <i>Dimming</i>	Driver
<b>Rendimento</b>	Cerca de 84 - 92%	Cerca de 84 - 96%	>95%	>85%
<b>Vida útil</b>	20k a 30k (horas)	50k a 100k (horas)		75k (horas)
<b>Ruído</b>	Zumbido constante audível	Não audível		
<b>Flicker e efeito Estroboscópico</b>	Sim	Não		
<b>Numero Máximo de lâmpadas</b>	2	4		1 por luminária de LEDs
<b>Interferências</b>	Nenhumas	RFI e EMI	Problema resolvido nos balastros mais avançados	Nenhumas
<b>Fator de Potência</b>	0,4 - 0,5	0,9 - 0,99		>0,9
<b>Regulação do Fluxo Luminoso</b>	Fraca (apenas regulação a degrau-duplo nível)		Excelente (regulação contínua)	
<b>Poupança de energia</b>	–	Entre 20 a 30%	Cerca de 50%	Fonte de luz diferente, logo, não comparável
<b>Interação com sistema de telegestão</b>	Apenas ON - OFF		Sim	
<b>Custo</b>	Baixo	Médio	Elevado	

### 3.4 Sistemas de controlo e gestão de energia

Os sistemas de controlo são dispositivos que regulam a operação do sistema de iluminação em resposta a um sinal externo. Estes permitem otimizar a utilização das instalações de IP, resultando em economias de energia significativas, sem prejuízo dos níveis de conforto e segurança visual necessários em cada local.

Existem dois tipos de controlo: “Tudo ou nada” e reguláveis. Para os “Tudo ou nada” estão associados aos seguintes sistemas de comando:

- Sensores crepusculares;
- Relógios astronómicos.

Os reguláveis aqui considerados são:

- Reguladores de fluxo;
- Sistemas de telegestão.

#### Sensores Crepusculares

Nos sistemas de IP é importante saber em que altura o nível de iluminação é já insuficientemente, para ativar as luzes. Este controlo não pode ser efetuado de forma eficaz utilizando temporizadores, uma vez que em dias de chuva ou nevoeiro intenso pode ser necessário ativar o sistema de iluminação antecipadamente por razões de segurança. Além disso o horário do nascer e pôr-do-sol vai variando de dia para dia. Por estas razões, são utilizados sensores de luz ambiente também conhecidos como crepusculares (ilustrado na Figura 3.33) [32].



Figura 3.33 – Interruptor crepuscular e respectivo sensor [32].

A célula fotoelétrica existente no interruptor crepuscular reage à mudança de luminosidade, ligando ou desligando a iluminação conforme o nível estipulado. Na Figura 3.34 está representado um esquema que ilustra esta topologia

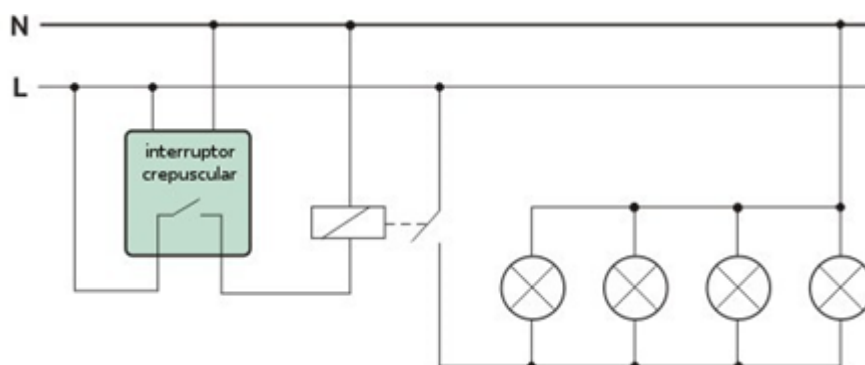


Figura 3.34 – Esquema de um sensor crepuscular [32].

### Relógios Astronômicos

O relógio astronômico é uma solução de comando ON/OFF cujo horário de funcionamento se encontra enquadrado na variação do ciclo solar ao longo do ano. Estes equipamentos (ilustrado na Figura 3.35) são programadores eletrônico-digitaís utilizados para o controle automático de ligação e corte de IP em função do pôr e do nascer do Sol, respetivamente.



Figura 3.35 – Exemplos de relógios astronômicos [33].

O relógio astronômico tem as seguintes características de funcionamento:

- Cálculo diário, para as ações ligar/desligar, considerando a latitude e longitude, em graus e minutos, do local onde se encontra;
- Válido para qualquer região geográfica de qualquer hemisfério tendo apenas que o programar previamente;
- Alteração automática do horário de Inverno e Verão;
- Possibilidade de outro tipo de programação que não a programação astronómica;
- Possibilidade de inclusão no ciclo de funcionamento astronómico de uma programação diferente para dias festivos e feriados;

- Tal como os sensores crepusculares, o relógio astronómico poderá funcionar como sistema de controlo da rede de IP isolado, ou ser um equipamento auxiliar aos reguladores de fluxo e/ou sistemas de telegestão, tendo como função transmitir o sinal de ligação e corte das lâmpadas do sistema de iluminação.

### Reguladores de Fluxo

Está comprovado que a percepção do olho humano em relação à luz não varia linearmente. De facto, apenas para uma variação superior a 10 % do fluxo luminoso é que a diferença é notada. Contudo, uma redução de 10 % do fluxo luminoso corresponde a uma mesma percentagem na economia de energia eléctrica. Assim, uma redução no fluxo luminoso não afecta a qualidade do serviço, mas traduz-se numa eficiência significativa [34].

A regulação do fluxo luminoso pode ser conseguida através de balastos electrónicos (reguláveis) ou através de reguladores de tensão (autotransformadores).

Assim, o nível de iluminação deve ser maior durante as horas de grande utilização e pode diminuir quando o uso diminui. O regulador de fluxo luminoso é, assim, um mecanismo que diminui automaticamente o fluxo luminoso da iluminação pública, a partir de determinada hora, o que origina uma redução do consumo de energia durante esse período (ilustrado um exemplo na Figura 3.36) [34].

Um regulador de fluxo pode estar integrado num sistema de telegestão, estando às ordens do Sistema Central de Gestão (SCG). Quando esse nível de tensão não é mais necessário, o regulador baixa a tensão de alimentação das lâmpadas. As transições entre as várias condições de operação devem ser lentas, para que a alteração do nível de iluminação se torne imperceptível ao utilizador.



Figura 3.36 – Exemplo de funcionamento de um Regulador de Fluxo Luminoso ao longo do período noturno [17].

Os reguladores de fluxo, para além de variarem a intensidade luminosa, têm também a função de estabilização da tensão, que permite aumentar o tempo de vida da lâmpada, asseguram economias diretas no consumo.

Reguladores de fluxo (ilustrado na Figura 3.37) que utilizam autotransformadores, cuja comutação é efetuada por:

- Circuitos eletromecânicos (relés/contactores), que por sua vez são acionados eletronicamente. A regulação dos autotransformadores é efetuada por patamares discretos.
- Circuitos estáticos eletrônicos (Triacs, IGBTs e tirístores), que, por sua vez, são controlados pelo módulo eletrônico de controlo. A resposta destes autotransformadores é em escada com patamares fixos.



Figura 3.37 – Reguladores de Fluxo [33].

Características de funcionamento dos reguladores de fluxo:

- Possíveis perturbações audíveis durante a ativação dos patamares (nível varia de regulador para regulador);
- Existência de potência de perdas que, consoante o regulador, podem variar entre 55W – 170 W (valores médios);

Caso a regulação seja efectuada com autotransformadores:

- A eventual ocorrência de harmónicos dá-se apenas durante a transição dos patamares, principalmente no circuito do secundário do autotransformador de potência, ou seja, no circuito das lâmpadas, pois o autotransformador provoca um isolamento entre o circuito primário e secundário [35];
- Com reguladores electrónicos poderá resultar poluição harmónica na rede.

#### **Sistemas de Telegestão Avançados**

Um estudo de três anos elaborado pelo departamento público de transportes da Holanda, efetuou testes de redução do nível de iluminação em estradas, durante as horas de tráfego reduzido e com boas condições climáticas, implementando um sistema dinâmico adaptativo às condições existentes, para controlo da IP. Concluíram que um sistema dinâmico de IP pode

ser aplicado, com reduções na luminosidade até 50%, atingindo poupanças de energia na ordem dos 30% a 40% e aumentando o tempo em serviço dos sistemas de iluminação. Além disso, permite alavancar a utilização racional de energia melhorando o balanço entre a segurança e o conforto [36].

Torna-se assim evidente que se pode dar um grande salto qualitativo na área da IP, com a implementação de sistemas de telegestão de controlo adaptativo e monitorização de IP, evitando, por exemplo, os custos associados aos processos de manutenção.

Um sistema de telegestão adaptativo com inteligência artificial e integrado numa rede inteligente permite:

- Ter uma rede IP mais eficiente capaz de se adaptar há necessidades de cada momento.
- Adaptar a cor e os restantes parâmetros luminotécnicos em função das condições ambientais.
- Adaptar o fluxo luminoso em função da iluminação ambiente.
- Deteção de derrube ou impacto.

Os sistemas de telegestão fazem o controlo, a medição e o diagnóstico de um sistema de iluminação, comunicando e utilizando essa informação através de meios e equipamentos.

A informação atualizada a todo o momento leva a uma previsão e planeamento bastante preciso, o que proporcionará uma manutenção menos dispendiosa.

O sistema de Telegestão (Figura 3.38) é constituído por:

- Sistema Central de Gestão (SCG);
- Controlador de Segmento ou *Segment Controller* (SC);
- Controlador da Luminária Exterior ou *Outdoor Luminaire Controller* (OLC).

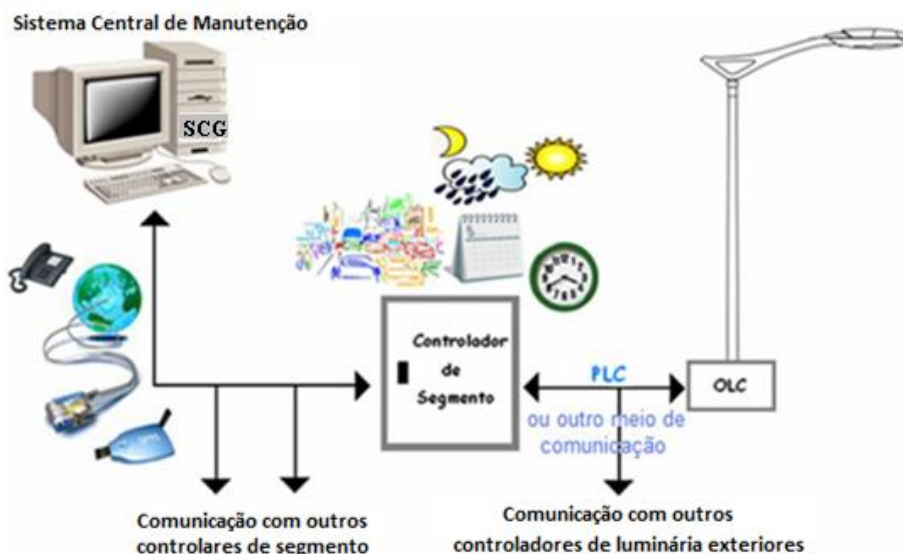


Figura 3.38 – Esquematização de um sistema de telegestão de uma rede de IP [36].

O OLC é o aparelho que faz o controlo do balastro/driver programável da fonte de luz e de todos os sensores existentes na luminária, proporcionando um sistema de iluminação dinâmico.

As luminárias estão ligadas a uma cabina exterior de alimentação e comunicam através do SC.

O SCG é usado para controlar os vários segmentos do sistema de IP, gerindo a informação transmitida pelos controladores (da luminária e de segmento).

### Comparação das características dos diversos tipos de Sistemas de Controlo

Os sistemas de controlo referidos na introdução deste subcapítulo, como ON/OFF com sensores crepusculares e relógios astronómicos, são utilizados com interruptores ligado-desligado nas redes de IP. Basicamente a sua função é determinar quando o sistema deve ligar, desligar, ou regular a intensidade luminosa. São por isso simples e baratos. Podem existir isoladamente ou integrado na rede, desempenhando a sua função normalmente, ou então estar associados aos outros tipos de sistemas de controlo (reguladores de fluxo e sistemas de telegestão). Estes últimos são equipamentos/sistemas mais complexos e dispendiosos. No entanto, são os que conseguem proporcionar as maiores poupanças em termos de consumo e consequentemente da faturação, bem como na manutenção das redes de IP, permitem ainda a promoção da eficiência energética.

Relativamente aos sistemas e protocolos de comunicação, não existe ainda nenhuma norma *standard*, pelo que atualmente cada fabricante apresenta o seu sistema proprietário. Por este facto, a implementação massiva encontra-se condicionada. No Quadro 3.18 sintetizam-se as características e vantagens proporcionadas por cada sistema de controlo.

Quadro 3.18 – Características dos Sistemas de Controlo [17].

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

### **3.5 Sistemas de Iluminação Pública inteligente**

A IP tem início num tempo em que ainda era feita de uma forma não elétrica. O início da distribuição de energia elétrica proporcionou que a iluminação fosse feita de uma forma mais simples. Desde então, não surgiu qualquer grande alteração no modo de funcionamento nos sistemas de iluminação, houve sim desenvolvimentos tecnológicos que proporcionaram formas de iluminação mais eficazes, mudanças na mentalidade de como utilizar na IP. Com a introdução das tecnologias LED poderemos estar a um passo de uma grande revolução nos sistemas de iluminação. A facilidade e versatilidade de controlo deste tipo de fonte luminosa são algumas das principais vantagens em relação às tecnologias que recorrem à descarga de gases, e que estão atualmente instaladas. As entidades responsáveis pela IP precisam de diminuir os gastos energéticos e os LEDs podem contribuir para esse papel.

#### **Sistemas de Controlo**

Sistemas de controlo são unidades que permitem a partir de algum tipo de informação de entrada, realizar uma ou mais ações de acordo com o resultado esperado. No caso de sistemas de IP a informação de entrada serão as condições atmosféricas, a presença de movimento e porventura outras, enquanto as de saída serão, o tempo e a intensidade de iluminação.

Estes sistemas de controlo possibilitam às luminárias alguma autonomia na gestão de energia. Atualmente um sistema básico de iluminação apenas dispõe de dois estados, sendo ligado ou desligado e tendo como referencia o nível de luminosidade natural.

Por outro lado uma luminária com unidade de controlo terá um maior número de estados em que permanece, sendo eles, gama de fluxo luminoso com menor ou maior intensidade e duração que se mantem ativa. Esse controlo pode ser feito de diferentes formas dependendo da aplicação do sistema em questão bem como as necessidades do meio envolvente. Estes sistemas operam normalmente em grupo, pois são mais rentáveis do que o controlo individual.

#### **Arquiteturas de Controlo**

O sistema será estruturado conforme as necessidades e especificidades de determinado local pois com a diversidade de possíveis locais de instalação o controlo poderá ser feito de forma diferente.

As topologias estão organizadas na Figura 3.39, de acordo com o tipo de controlo e topologia [37].



Figura 3.39 – Topologias dos sistemas de IP.

Existem duas possibilidades genéricas de controlo a considerar:

**Controlo autónomo:**

- **Sistema Autónomo Individual com Controlo Passivo de Energia:** Cada luminária contém um sensor de luminosidade ambiente e/ou relógio que origina o ligar e desligar da mesma;
- **Sistema Autónomo Celular com Controlo Ativo de Energia:** Cada luminária está equipada com uma unidade de controlo totalmente independente da rede de luminárias e gere todos os recursos localmente, permitindo a gestão de energia. Existe ainda a possibilidade de comunicação entre as luminárias vizinhas.

**Controlo centralizado:**

- **Sistema Centralizado Programado:** Um grupo de luminárias é controlado por uma mesma unidade programada;
- **Sistema Centralizado com Supervisão:** As luminárias são controladas, em grupo, por uma unidade central que gere todo o funcionamento do mesmo, com possibilidade de gestão remota de monitorização;
- **Gestão Remota em sistemas com Supervisão ou Programados:** O controlo pode ser gerido de forma remota, em que o processo de controlo pode ser reconfigurado e obter informação em tempo real do estado das luminárias.

**Sistema Inteligente de Gestão de Iluminação Pública (SIGIP)**

Com o SIGIP (ilustrado na Figura 3.40), as redes de IP podem ser utilizadas para recolher dados ambientais e como um suporte para sistemas de monitorização. Permite uma economia de até 65% nos custos de energia e nas emissões de CO<sub>2</sub>. Reduz consideravelmente as

despesas de manutenção, enquanto melhora a qualidade da iluminação e a segurança nas ruas [38].

As topologias de controlo mais usadas podem ser divididas em dois grupos, um com unidade de controlo passivo e outro com ativo. Por exemplo, em zonas de elevada necessidade de iluminação durante todo o período noturno, não será necessário prover as luminárias com unidades caras, se realmente elas não são necessárias - utiliza-se controlo passivo. Contudo topologias com unidades de controlo ativo são bastante úteis em zonas com pouco tráfego, em que se torna desnecessário a iluminação em máximo fluxo por longos períodos de tempo, habitualmente em zonas rurais ou com pouca densidade populacional [39].

Em sistemas deste tipo são necessárias algumas tecnologias:

- Termopar, termístor e circuito integrado entre outras para medir a temperatura dos LEDs;
- LDR, foto-díodo, foto-transístor, célula foto voltaica entre outras para medir a luminosidade ambiente;
- Infravermelhos, ultrassons para captar o movimento de pessoas e/ou objetos.

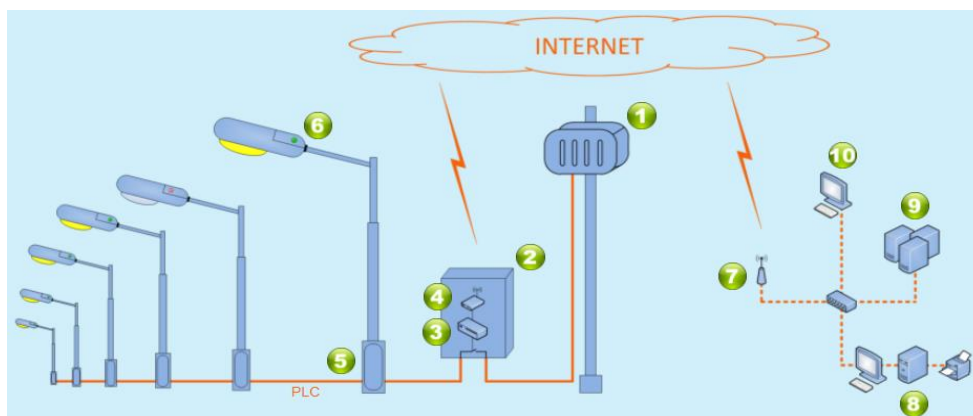


Figura 3.40 – Sistema Inteligente de Gestão de Iluminação Pública (SIGIP) [39].

**Legenda:**

- |                              |                                   |
|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Transformador;            | 6. Balastro FM/EDA/LED;           |
| 2. Armário de controlo;      | 7. Ponto de acesso;               |
| 3. Controlador de segmento;  | 8. Sistema central de telegestão; |
| 4. Router Celular 3G;        | 9. Base de dados central;         |
| 5. Controlados de luminária; | 10. Utilizador do sistema.        |

Vantagens:

- Permite o controlo das redes de iluminação em qualquer momento e de qualquer local;
- Monitorização de energia consumida e parâmetros elétricos;
- Aumento da vida útil das lâmpadas devido ao controlo *dimming*;
- Eliminação de rondas noturnas devido à identificação automática de falhas de lâmpadas e balastros;
- Redução de custos de manutenção;
- Diminuição do número de operações no local devido ao controlo remoto em tempo real;
- Redução do número de reclamações dos clientes insatisfeitos;
- Cálculo das economias de energia e CO<sub>2</sub>.

### **3.6 Exemplos de instalações eficientes de iluminação exterior em Portugal**

Com as exigências de eficiência energética existentes, foram feitos estudos para encontrar escolhas que satisfizessem esses requisitos. O objetivo é caracterizar as instalações com melhores características e gastando menos energia.

#### **Autoestrada iluminada com tecnologia LED**

Em Portugal foram já implementados alguns projetos recorrendo à tecnologia LED. Como exemplo tem-se parte da iluminação da autoestrada A29, km 1, nó de Angeja, inaugurada em 2009. A qualidade de iluminação obtida por um IRC até agora inexistente neste tipo de aplicação, em paralelo com uma eficiência energética na ordem dos 50%. A reduzida manutenção (tempo de vida útil de 60 mil horas – mais de 14 anos de duração de vida) representa, em autoestradas, um menor incómodo para os utilizadores, proporcionando, igualmente um melhor serviço. A Figura 3.41 ilustra a implementação desta solução [40].

Segundo estudos, esta solução que incluiu a instalação de mais de 200 luminárias, evita a emissão de mais de 40 toneladas de CO<sub>2</sub> por ano [40].



Figura 3.41 – Solução de iluminação utilizada na A29, nó de Angeja, km 1 [40].

### **Projeto “Rua LED”**

O concelho de Pombal foi o primeiro em Portugal a ter uma rua iluminada com LEDs (Rua Fidalgo Aprendiz), Figura 3.42. As lâmpadas originais de vapor de Sódio de 325W foram substituídas por lâmpadas LED de 80W, proporcionando, uma economia de energia que pode chegar aos 80%. A autarquia instalou 20 candeeiros LED, num investimento total de 7500 €, que se conta estar amortizado em 5 anos, com a vantagem de esta instalação não requerer manutenção durante 14 anos [41].



Figura 3.42 – Luminárias a LED instaladas na Rua Fidalgo Aprendiz, Pombal [41].

### **Projeto “Aldeia LED”**

Inserido no projeto “Aldeia LED”, a freguesia de Cabeça no concelho de Seia, contou com a primeira instalação de iluminação LED em aldeias, Figura 3.43, que inclui também contadores eletrónicos de energia. A inauguração foi no dia 15 de Abril de 2011 e estima-se que, através desta operação, seja possível uma redução dos consumos energéticos com IP na ordem dos 70%, num investimento que rondou os 683.000 € [42].



Figura 3.43 – Aldeia de Cabeça (Seia) iluminada a LED [42].

### **Instalações eficientes a nível Europeu**

Serão apresentados alguns exemplos implementados em países europeus cuja finalidade foi obter melhor desempenho luminotécnico, a par com a obtenção de poupanças significativas.

### **Projeto E-street – Intelligent Road and Street Lighting in Europe – Projeto de iluminação em Oslo, Noruega**

Foram implementados na cidade de Oslo mais de 6000 pontos de luz que representam 10% do objetivo proposto na Europa de aproximadamente 38TWh. Foram divididos por várias fases:

- 117 pontos de luz em 2003 – Projeto piloto (redução de 67% no consumo de energia);
- 2000 pontos de luz em 2004 – Projeto teste em grande escala (redução de 62% no consumo de energia);
- 4000 pontos de luz em 2005/2006 – Projeto em grande escala (redução de 52% no consumo de energia).

Utilizando controlo de fluxo luminoso e monitorização das luminárias, com o intuito de poupança de energia. A Figura 3.44 representa um esquema deste tipo de instalação [43].

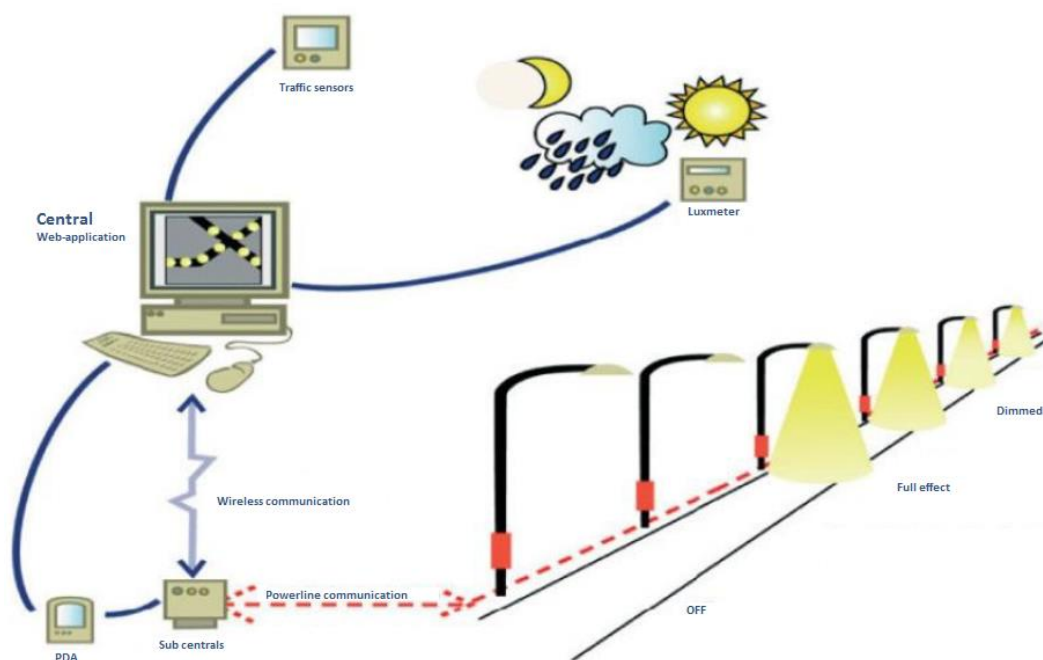


Figura 3.44 – Representação esquemática da gestão de IP em Oslo [43].

Na cidade de Oslo, existem mais de 2300 veículos elétricos e 60% da energia utilizada nos transportes públicos é renovável. Graças à implementação deste sistema inteligente de gestão de IP, esta cidade foi galardoada com o prémio “*The sustainable City of the year in Europe*” em 2003, e com o prémio “*European Green Capital Award*” em 2009 [43].

## 4. Estudo de caso prático

Com base numa instalação de IP existente é efetuado neste capítulo um estudo para a escolha de um sistema de iluminação mais eficiente que o atual. Este foi dividido em duas partes, o estudo luminotécnico e o estudo de viabilidade técnica e económica.

A metodologia aplicada teve por base duas fases: avaliação do desempenho do sistema de iluminação atualmente instalado e busca de alternativas mais eficientes; com o objetivo de reunir informações para comparar consumos energéticos e custos económicos.

Efetuiu-se um levantamento das características da Avenida do Povo em Viseu, que permitiram reunir informações sobre os fatores que influenciam a seleção da classe de iluminação, número de luminárias, posicionamento no espaço, potência instalada e tecnologia usada.

Para o estudo luminotécnico, recorreu-se ao *software* DIALux. Este foi usado para a simulação das alternativas em estudo por forma a verificar se as mesmas asseguram os níveis de iluminação requeridos pela norma EN 13201.

A Figura 4.1 apresenta, resumidamente, o plano de ação e metodologia utilizada para o desenvolvimento do estudo.

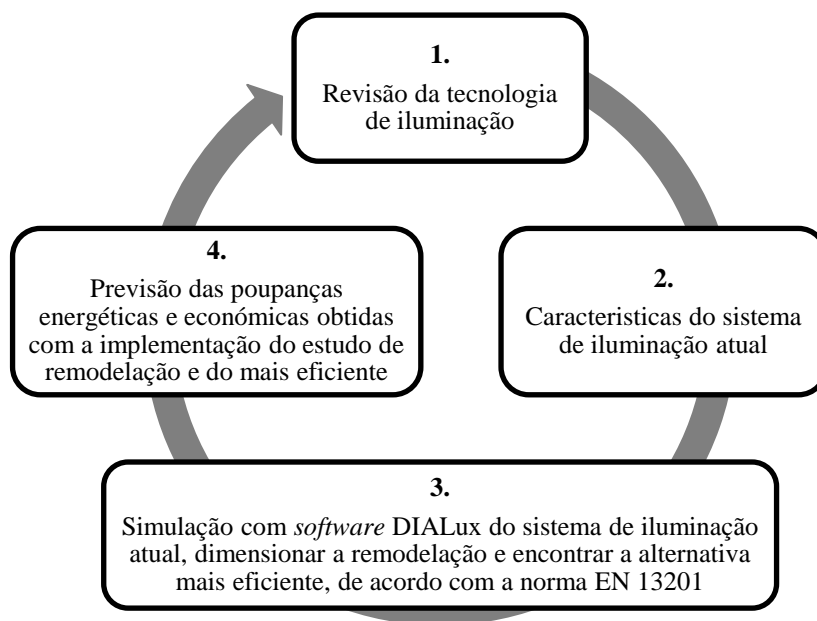


Figura 4.1 – Metodologia seguidas para encontrar um sistema de iluminação mais eficiente.

## 4.1 Estudo luminotécnico

A Comissão Europeia de Normalização (CEN) desenvolveu a norma EN 13201 aplicável à IP, dividida em quatro partes:

**EN 13201-1:** Escolha da classe de iluminação para cada tipo de área exterior pública com tráfego pedestre ou motorizado com base em requisitos geométricos da área considerada, tipo de uso da área e influência do ambiente envolvente [44];

**EN 13201-2:** Parâmetros fotométricos recomendados [45];

**EN 13201-3:** Cálculo dos parâmetros fotométricos [46];

**EN 13201-4:** Métodos de medição das *performances* fotométricas [47].

Utilizando a EN 13201-1 é possível definir a situação de iluminação do troço da Avenida do Povo, com base no tipo de utilizadores e a velocidade típica nessa via.

### 4.1.1 Caracterização da situação atual na Avenida do Povo

A classe de iluminação é definida pela situação de tráfego exposta no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Situação de iluminação para a área relevante da avenida.

Parâmetros	Valor
Velocidade típica do utilizador principal	Velocidade média (entre 30 e 60 km/h)
Utilizadores principais e outros utilizadores	Utilizadores principais são tráfego motorizado e veículos a baixa velocidade (< 40 km/h) e ciclistas. São autorizados pedestres.

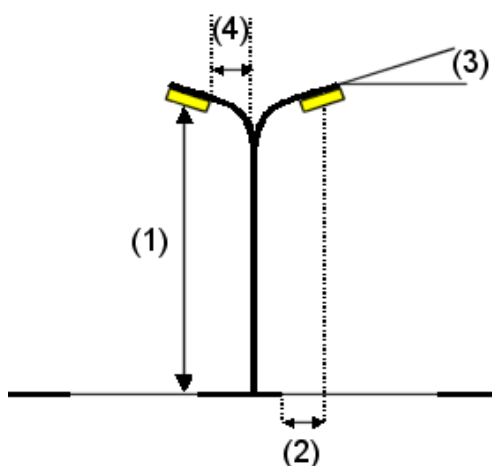
Classe de iluminação selecionada no simulador: **B2**.

As recomendações para a classe de iluminação B2 dependem da geometria da área relevante, do tráfego e das influências ambientais e externas.

A Avenida do Povo possui dois tipos de perfis, com distinção na forma de como os postes estão posicionados. Um dos perfis tem postes distribuídos na faixa central e o outro, nos dois lados e frente a frente sobre os passeios.

#### Troço com os postes na faixa central

O troço com os postes na faixa central possui um total de 24 postes de iluminação, separados por uma distância de 35 m, com duas luminárias cada, uma para cada par de faixas de rodagem. Na Figura 4.2 é possível observar o tipo de poste e dimensões.



#### Legenda:

- Distribuição: na faixa central
- Altura de montagem (1): 10 m
- Altura do ponto de luz: 10.01 m
- Pendor (2): 0.404 m
- Inclinação do braço extensor (3): 10 °
- Comprimento do braço extensor (4): 1.5 m

Figura 4.2 – Tipo e dimensões dos postes na faixa central.

Com recurso ao *software* DIALux, a Figura 4.3 ilustra uma simulação em 3D da Avenida do Povo com os postes distribuídos na faixa central.



Figura 4.3 – Simulação em 3D da Avenida do Povo com os postes na faixa central.

As dimensões do troço da Avenida do Povo com os postes na faixa central são expostas na Figura 4.4.

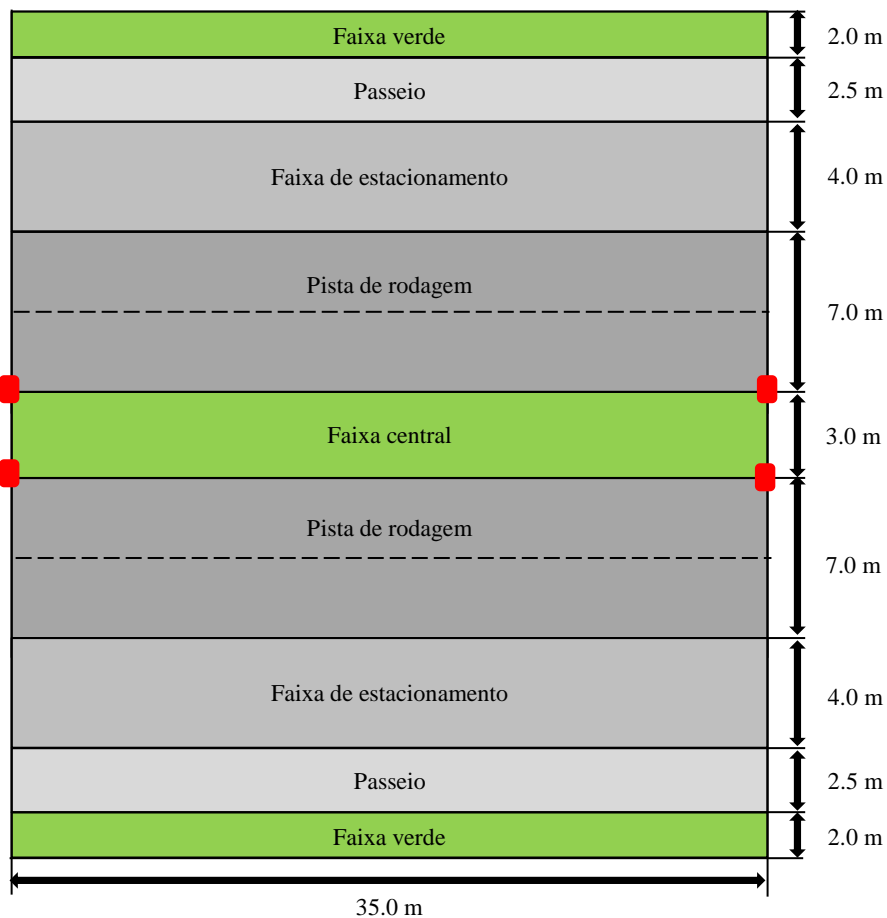


Figura 4.4 – Troço da Avenida do Povo com os postes na faixa central.

### Troço com os postes nos passeios

O troço com os postes dos dois lados frente a frente sobre os passeios possui um total de 14 postes, separados por uma distância de 30 m, com uma luminária cada, uma para cada par de faixas de rodagem. Na Figura 4.5 é possível observar o tipo e dimensões dos postes distribuídos dos dois lados frente a frente sobre os passeios na Avenida do Povo.

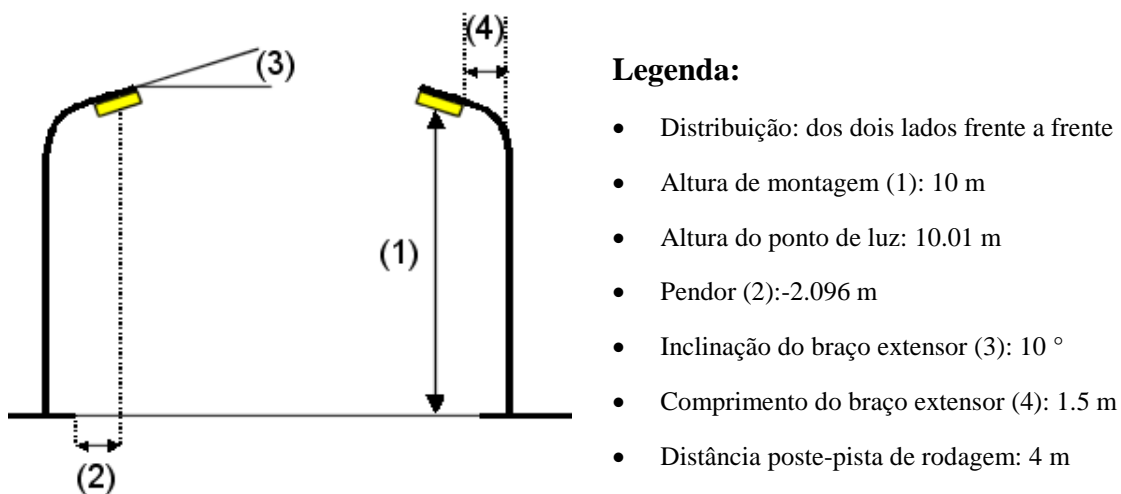


Figura 4.5 – Tipo e dimensões dos postes sobre os passeios.

Com recurso ao *software* DIALux, a Figura 4.6 ilustra uma simulação em 3D nesta secção da avenida.



Figura 4.6 – Simulação em 3D da Avenida do Povo com os postes sobre os passeios.

As dimensões do troço da Avenida do Povo com os postes distribuídos nos dois lados (frente a frente) sobre os passeios são expostas na Figura 4.7.

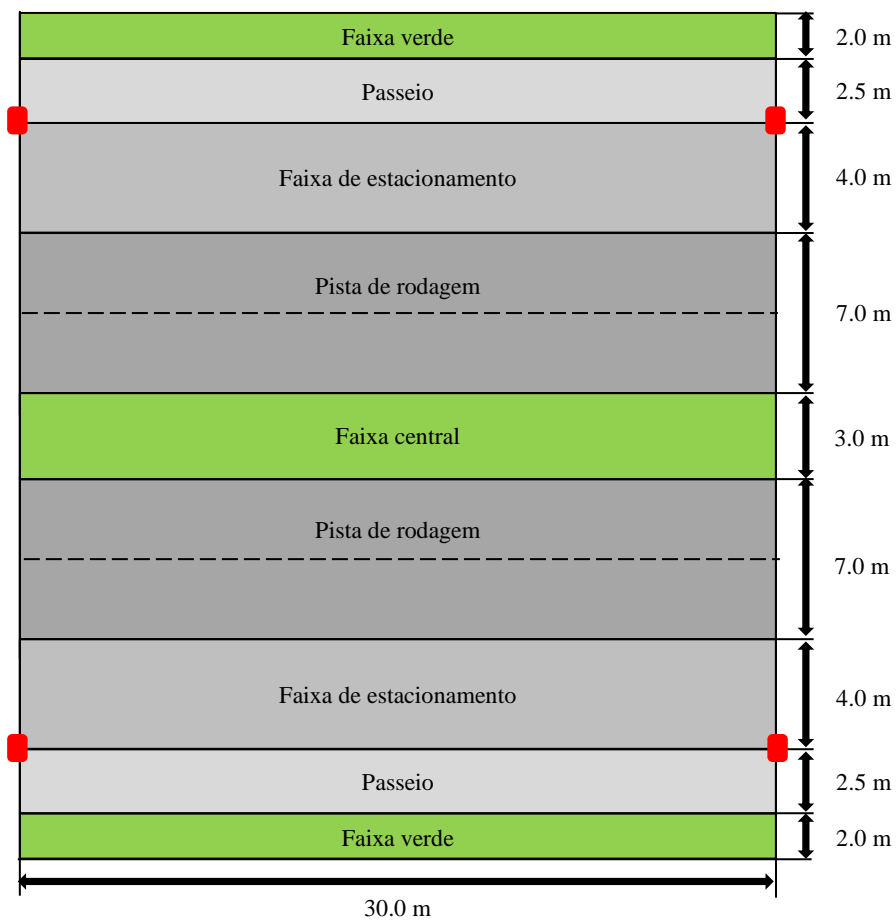


Figura 4.7 – Troço da Avenida do Povo com os postes distribuídos dos dois lados frente a frente sobre os passeios.

### Cálculo da luminância para a área relevante

Na direção longitudinal da área relevante, o campo de cálculo deve situar-se entre duas luminárias na mesma linha, sendo que a primeira luminária tem de estar afastada 60 m do observador. Para cálculos de luminância, deve-se considerar que a vista do observador se encontra 1,5 m acima da superfície da estrada e a sua localização, na direção transversal, deve ser no centro de cada via de trânsito. A Figura 4.8 ilustra o campo de cálculo de luminância para a área relevante.

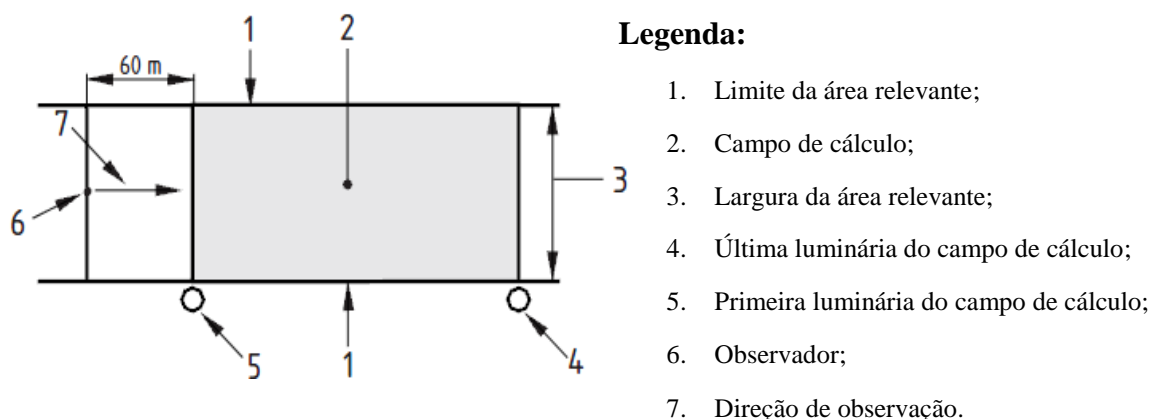


Figura 4.8 – Cálculo da luminância para a área relevante.

### Posição dos observadores

A Figura 4.9 apresenta a posição dos observadores 1 e 2 para o sistema de iluminação da Avenida do Povo.

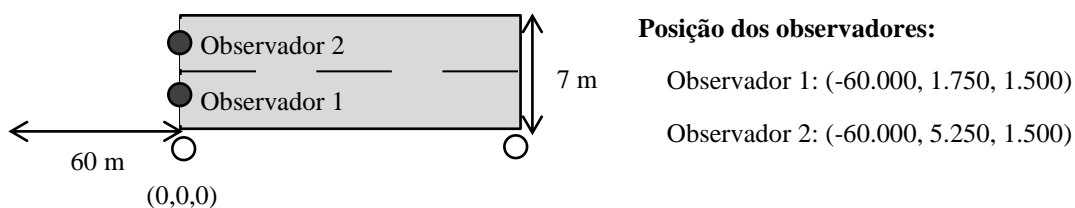


Figura 4.9 – Posição dos observadores.

### Classes de iluminação

O *software* DIALux tem a funcionalidade “Assistente”, orientada pela norma EN 13201, que permite definir passo a passo todas as exigências fotométricas necessárias para o apuramento de uma classe de iluminação para o planeamento de uma iluminação exterior.

As áreas relevantes do troço em estudo foram definidas pela pista de rodagem e pelos passeios.

### Avaliação de iluminação na pista de rodagem

A classe de iluminação do campo de avaliação da pista de rodagem baseia-se na situação de tráfego representado no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 – Classe de iluminação do campo de avaliação da pista de rodagem.

Parâmetros	Valor
Velocidade típica do utilizador principal	Velocidade média (entre 30 e 60 km/h)
Utilizadores principais e outros utilizadores	Utilizadores principais são tráfego motorizado e veículos a baixa velocidade (< 40 km/h) e ciclistas. São autorizados pedestres.
Tipo de clima principal	Seco
Medidas construtivas para redução do tráfego	Não
Frequência de cruzamentos	< 3 unidades por km
Dificuldade da navegação	Normal
Fluxo diário de tráfego motorizado	Entre 15000 e 25000
Zona de conflito	Não
Complexidade do campo de visão	Normal
Veículos estacionados	Sim
Densidade de luminância do ambiente	Poucos (arredor campestre)
Fluxo de tráfego de ciclistas	Normal

Classe de iluminação selecionada no simulador: **ME4b**.

O troço analisado faz parte da classe ME, utilizada apenas por veículos motorizados com velocidade elevada ou média de circulação. O Quadro 4.3 expõe as exigências fotométricas para a classe de iluminação ME4b.

Quadro 4.3 – Valores fotométricos requeridos pela classe de iluminação ME4b.

Classe	Luminância da superfície da faixa de rodagem para condições de superfície de estrada seca			Encadeamento Perturbador	Iluminação envolvente
	$L_{med}$ mínimo ( $cd/m^2$ )	$U_0$ mínimo	$U_L$ mínimo	TI máximo (%)	SR mínimo
<b>ME4b</b>	0.75	0.4	0.5	15	0.5

#### Onde:

$L_{med}$  – Luminância média na superfície da estrada, em  $cd/m^2$ ;

$U_0$  – Uniformidade global da luminância;

$U_L$  – Uniformidade longitudinal da luminância;

TI – Encadeamento perturbador, em %;

SR – Iluminação envolvente;

### Avaliação da iluminação nos passeios

A iluminação nos passeios foi dividida de acordo com a distribuição dos postes, distribuídos na faixa central e sobre os passeios.

### Distribuição dos postes na faixa central

A classe de iluminação nos passeios com distribuição dos postes na faixa central baseia-se na situação de tráfego representado no Quadro 4.4.

Quadro 4.4 – Classe de iluminação nos passeios com os postes na faixa central.

Parâmetros	Valor
Velocidade típica do utilizador principal	Velocidade de pedestre ( $\leq 5$ km/h)
Utilizadores principais e outros utilizadores	Utilizadores principais são exclusivamente pedestre. Não são autorizados outros utilizadores
Risco de criminalidade	Normal
Reconhecimento do rosto das pessoas	Necessário
Fluxo de tráfego de pedestres	Normal
Densidade de luminância do ambiente	Poucos (arredor campestre)
Potência luminosa	Horizontal

Classe de iluminação selecionada no simulador: **S5**.

O troço analisado faz parte da classe S, é apenas utilizada em ciclovias e vias para peões. Assim, o Quadro 4.5 representa as exigências fotométricas para a classe de iluminação S5.

Quadro 4.5 – Valores fotométricos requeridos pela classe de iluminação S5.

Classe	Illuminância horizontal média	Illuminância mínima
	$E_m$ mínimo [lx]	$E_{min}$ mínimo [lx]
S5	3	0.6

### Distribuição dos postes sobre os passeios

A classe de iluminação nos passeios com distribuição dos postes sobre os passeios baseia-se na situação de tráfego representado no Quadro 4.6.

Quadro 4.6 – Classe de iluminação nos passeios com os postes sobre os passeios.

Parâmetros	Valor
Velocidade típica do utilizador principal	Velocidade de pedestre ( $\leq 5$ km/h)
Utilizadores principais e outros utilizadores	Utilizadores principais são exclusivamente pedestre. Não são autorizados outros utilizadores
Risco de criminalidade	Normal
Reconhecimento do rosto das pessoas	Necessário
Fluxo de tráfego de pedestres	Alta
Densidade de luminância do ambiente	Poucos (arredor campestre)
Potência luminosa	Horizontal

Classe de iluminação selecionada no simulador: **S4**.

O troço analisado faz parte da classe S, é apenas utilizada em ciclovias e vias para peões. Assim, o Quadro 4.7 representa as exigências fotométricas para a classe de iluminação S4.

Quadro 4.7 – Valores fotométricos requeridos pela classe de iluminação S4.

Classe	Iluminância horizontal média	Iluminância mínima
	$E_m$ mínimo [lx]	$E_{min}$ mínimo [lx]
<b>S4</b>	5	1

### Estudo da solução de iluminação atualmente instalada

O sistema de iluminação atual tem luminárias da Schréder (modelo Onyx 2), equipadas com lâmpadas de 250 W de vapor de Sódio de alta pressão. O Quadro 4.8 apresenta uma síntese deste sistema.

Quadro 4.8 – Características da solução de iluminação atualmente instalada.

Características	
Luminária	<b>SCHREDER ONYX 2 / 1419 / HPS 250W / 93234C</b>
Lâmpadas	1 x HPS 250W
Corrente luminosa (Luminária)	27173 lm
Corrente luminosa (Lâmpadas)	33200 lm
Potência luminosa	250 W
Classificação de luminárias conforme CIE	99
Código de Fluxo (CIE)	41 76 96 99 81

A Figura 4.10 ilustra a distribuição fotométrica da luminária atual. Nesta está representado a vermelho a distribuição polar longitudinal C0-C180 e a azul a distribuição polar transversal C90-C270.

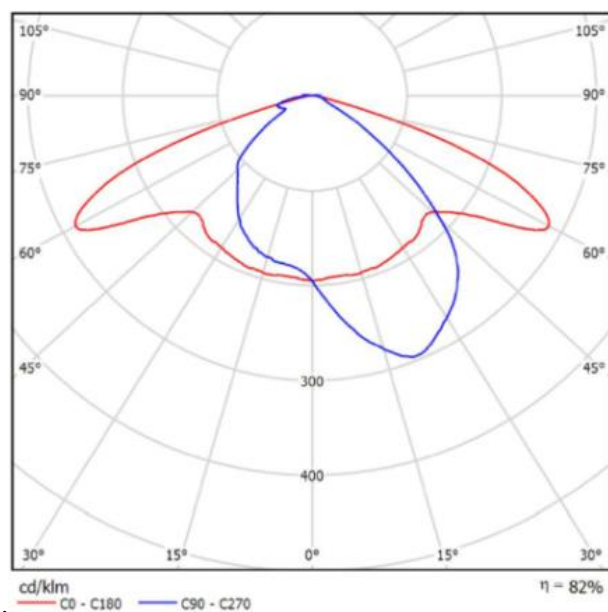


Figura 4.10 – Distribuição fotométrica da luminária atual.

### i. Cálculo luminotécnico com postes na faixa central

#### Avaliação da iluminação na pista de rodagem

No Quadro 4.9 é possível visualizar o campo de avaliação da pista de rodagem para o sistema de iluminação atualmente instalada; sendo largamente cumpridas as exigências da norma EN 13201.

Quadro 4.9 – Avaliação da iluminação na pista de rodagem com os postes na faixa central para o sistema de iluminação atualmente instalada.

Classe de iluminação selecionada: ME4b	Lm [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores nominais segundo a classe:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15	≥ 0.50
Valores reais segundo o cálculo:	1.82	0.75	0.75	8	0.82
Cumprido:	✓	✓	✓	✓	✓

No Quadro 4.10 é possível visualizar os observadores da pista de rodagem para o sistema de iluminação atualmente instalada.

Quadro 4.10 – Observadores da pista de rodagem com os postes na faixa central para o sistema de iluminação atualmente instalada.

Observador	Lm [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]
Observador 1	1.82	0.80	0.75	8
Observador 2	1.95	0.75	0.78	7

#### Avaliação da iluminação nos passeios

No Quadro 4.11 é possível visualizar o campo de avaliação dos passeios com distribuição dos postes na faixa central para o sistema de iluminação atual.

Quadro 4.11 – Avaliação da iluminação nos passeios com os postes na faixa central para o sistema de iluminação atual.

Classe de iluminação selecionada: S4	E <sub>m</sub> [lx]	E <sub>min</sub> [lx]
Valores nominais segundo a classe:	≥ 5.00	≥ 1.00
Valores reais segundo o cálculo:	15.76	8.41
Cumprido:	✓	✓

## ii. Cálculo luminotécnico com postes sobre os passeios

### Avaliação da iluminação na pista de rodagem

No Quadro 4.12 é possível visualizar o campo de avaliação da pista de rodagem para o sistema de iluminação atual; sendo também cumpridas as exigências da norma EN 13201.

Quadro 4.12 – Avaliação da iluminação na pista de rodagem com os postes sobre os passeios para o sistema de iluminação atual.

Classe de iluminação selecionada: ME4b	Lm [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores nominais segundo a classe:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15	≥ 0.50
Valores reais segundo o cálculo:	1.64	0.66	0.67	8	0.86
Cumprido:	✓	✓	✓	✓	✓

No Quadro 4.13 é possível visualizar os observadores da pista de rodagem para o sistema de iluminação atual.

Quadro 4.13 – Observadores da pista de rodagem com os postes sobre os passeios para o sistema de iluminação atual.

Observador	Lm [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]
Observador 1	1.76	0.67	0.67	7
Observador 2	1.64	0.66	0.73	8

### Avaliação da iluminação nos passeios

No Quadro 4.14 é possível visualizar o campo de avaliação dos passeios com os postes dos dois lados frente a frente sobre os passeios.

Quadro 4.14 – Avaliação da iluminação nos passeios com os postes sobre os passeios para o sistema de iluminação atual.

Classe de iluminação selecionada: S5	E <sub>m</sub> [lx]	E <sub>min</sub> [lx]
Valores nominais segundo a classe:	≥ 3.00	≥ 0.60
Valores reais segundo o cálculo:	12.74	9.15
Cumprido:	✓	✓

Como se pode constatar-se pelos Quadros 4.9 a 4.14 o sistema atualmente instalado excede largamente os níveis luminotécnicos impostos pela norma EN 13201.

### 4.1.2 Alternativa 1 – Luminárias Onyx 2 com lâmpadas de 150 W

Esta solução considera a simples substituição das lâmpadas atuais por lâmpadas de 150 W de vapor de Sódio de alta pressão mantendo as luminárias Schröder (modelo Onyx 2). No Quadro 4.15 é possível observar as características desta substituição.

Quadro 4.15 – Características do sistema de iluminação com lâmpadas de 150 W.

Características	
Luminária	<b>SCHREDER ONYX 2 / 1419 / HPS 150W / 93231A</b>
Lâmpadas	1 x HPS 150W
Corrente luminosa (Luminária)	14190 lm
Corrente luminosa (Lâmpadas)	17500 lm
Potência luminosa	150.0 W
Classificação de luminárias conforme CIE	99
Código de Fluxo (CIE)	38 70 95 99 81

Na Figura 4.11 é possível observar a distribuição fotométrica da luminária Onyx 2 com lâmpada de 150 W.

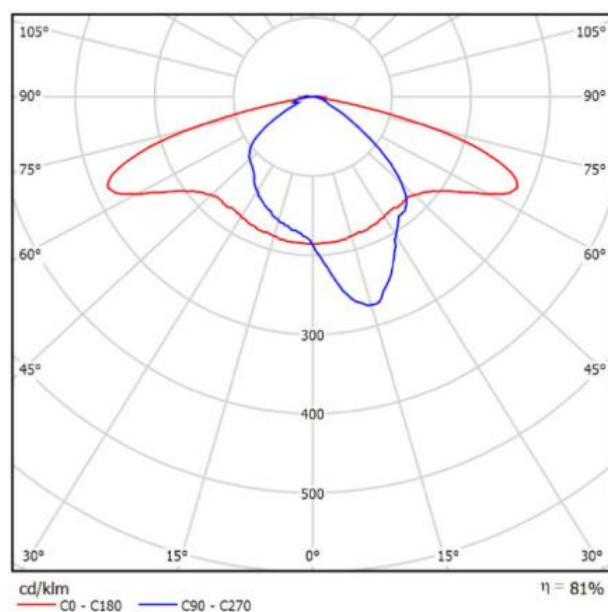


Figura 4.11 – Distribuição fotométrica da luminária Onyx 2 com lâmpada de 150 W.

### i. Cálculo luminotécnico com postes na faixa central

#### Avaliação da iluminação na pista de rodagem

No Quadro 4.16 é possível visualizar o campo de avaliação da pista de rodagem para a remodelação com lâmpadas de 150 W.

Quadro 4.16 – Avaliação da iluminação na pista de rodagem com os postes na faixa central para a remodelação com lâmpadas de 150 W.

Classe de iluminação seleccionada: ME4b	Lm [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores nominais segundo a classe:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15	≥ 0.50
Valores reais segundo o cálculo:	0.97	0.51	0.75	10	0.78
Cumprido:	✓	✓	✓	✓	✓

No Quadro 4.17 é possível visualizar os observadores da pista de rodagem para a remodelação com lâmpadas de 150 W; sendo ainda cumpridos os níveis luminotécnicos impostos pela norma EN 13201.

Quadro 4.17 – Observadores da pista de rodagem com os postes na faixa central para a remodelação com lâmpadas de 150 W.

Observador	Lm [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]
Observador 1	0.97	0.56	0.81	10
Observador 2	1.07	0.51	0.75	7

#### Avaliação da iluminação nos passeios

No Quadro 4.18 é possível visualizar o campo de avaliação dos passeios com distribuição dos postes na faixa central para a remodelação com lâmpadas de 150 W.

Quadro 4.18 – Avaliação da iluminação nos passeios os postes na faixa central para a remodelação com lâmpadas de 150 W.

Classe de iluminação seleccionada: S4	E <sub>m</sub> [lx]	E <sub>min</sub> [lx]
Valores nominais segundo a classe:	≥ 5.00	≥ 1.00
Valores reais segundo o cálculo:	8.99	4.80
Cumprido:	✓	✓

## ii. Cálculo luminotécnico com postes sobre os passeios

### Avaliação da iluminação na pista de rodagem

No Quadro 4.19 é possível visualizar o campo de avaliação da pista de rodagem para a remodelação com lâmpadas de 150 W.

Quadro 4.19 – Avaliação da iluminação na pista de rodagem com os postes sobre os passeios para a remodelação com lâmpadas de 150 W.

Classe de iluminação selecionada: ME4b	Lm [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	U1	TI [%]	SR
Valores nominais segundo a classe:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15	≥ 0.50
Valores reais segundo o cálculo:	0.97	0.69	0.85	9	0.84
Cumprido:	✓	✓	✓	✓	✓

No Quadro 4.20 é possível visualizar os observadores da pista de rodagem para a remodelação com lâmpadas de 150 W.

Quadro 4.20 – Observadores da pista de rodagem com os postes sobre os passeios para a remodelação com lâmpadas de 150 W.

Observador	Lm [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	U1	TI [%]
Observador 1	1.06	0.69	0.85	8
Observador 2	0.97	0.69	0.86	9

### Avaliação da iluminação nos passeios

No Quadro 4.21 é possível visualizar o campo de avaliação dos passeios com os postes dos postes dos dois lados frente a frente sobre os passeios.

Quadro 4.21 – Avaliação da iluminação nos passeios com os postes sobre os passeios para a remodelação com lâmpadas de 150 W.

Classe de iluminação seleccionada: S5	E <sub>m</sub> [lx]	E <sub>min</sub> [lx]
Valores nominais segundo a classe:	≥ 3.00	≥ 0.60
Valores reais segundo o cálculo:	6.21	4.86
Cumprido:	✓	✓

Como se pode constatar-se pelos Quadros 4.16 a 4.21, apesar da potência inferior, esta solução garante plenamente os níveis luminotécnicos impostos pela norma EN 13201.

### 4.1.3 Alternativas 2 – Luminárias com tecnologia LED

Nesta alternativa integram-se todas as luminárias com tecnologia LED. Apresenta-se apenas o estudo luminotécnico para as luminárias com lâmpada LED de menor potência. Considera-se que se esta cumprir os requisitos da norma, para a solução em estudo, todas as restantes (de maior potência e fluxo luminoso) o cumpriram também. No Quadro 4.22 é possível observar as características da luminária Schröder (modelo Ampera), equipadas com lâmpada LED de 75 W.

Quadro 4.22 – Características do sistema de iluminação com luminária Schröder (modelo Ampera) com lâmpada LED de 75 W.

Características	
Luminária	<b>SCHREDER AMPERA MIDI/ 5136 / 48 LEDS 500mA CW / 336072 Flat Glass Extra Clear Smooth XP-G2</b>
Lâmpadas	1 x 48 LEDS 500mA CW
Corrente luminosa (Luminária)	8213 lm
Corrente luminosa (Lâmpadas)	9197 lm
Potência luminosa	75 W
Classificação de luminárias conforme CIE	100
Código de Fluxo (CIE)	49 78 97 100 99

Na Figura 4.12 é possível observar a distribuição fotométrica do sistema de iluminação com luminária Schröder (modelo Ampera) com lâmpada LED de 75 W. Como a distância entre postes é significativa a opção mais eficiente é escolha de uma distribuição polar longitudinal C0-C180, mais aberto possível, para abranger toda a faixa de rodagem.

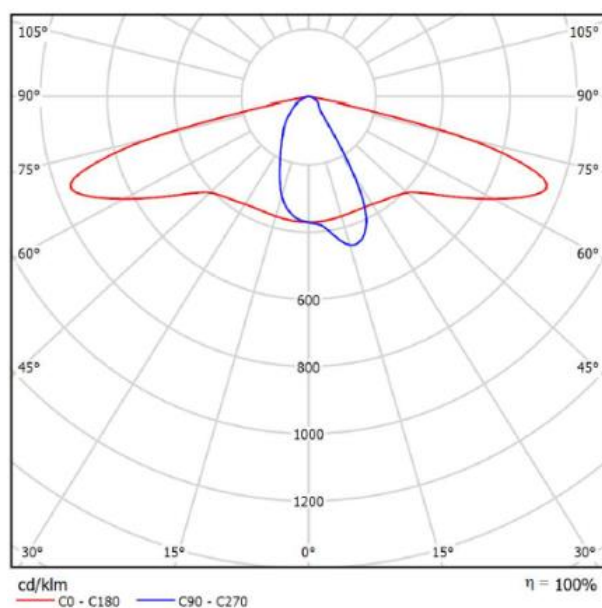


Figura 4.12 – Distribuição fotométrica do sistema de iluminação com luminária Schröder (modelo Ampera) com lâmpada LED de 75 W.

### i. Cálculo luminotécnico com postes na faixa central

#### Avaliação da iluminação na pista de rodagem

No Quadro 4.23 é possível visualizar o campo de avaliação da pista de rodagem para o sistema de iluminação com LED.

Quadro 4.23 – Avaliação da iluminação na pista de rodagem com os postes na faixa central para o sistema de iluminação com LED.

Classe de iluminação seleccionada: ME4b	Lm [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores nominais segundo a classe:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15	≥ 0.50
Valores reais segundo o cálculo:	0.80	0.40	0.89	13	0.69
Cumprido:	✓	✓	✓	✓	✓

No Quadro 4.24 é possível visualizar os observadores da pista de rodagem para o sistema de iluminação com LED.

Quadro 4.24 – Observadores da pista de rodagem com distribuição dos postes na faixa central para o sistema de iluminação com LED.

Observador	Lm [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]
Observador 1	0.80	0.44	0.89	13
Observador 2	0.93	0.40	0.90	6

#### Avaliação da iluminação nos passeios

No Quadro 4.25 é possível visualizar o campo de avaliação dos passeios com os postes na faixa central para o sistema de iluminação com LED.

Quadro 4.25 – Campo de avaliação dos passeios com distribuição dos postes na faixa central para o sistema de iluminação com LED.

Classe de iluminação seleccionada: S4	E <sub>m</sub> [lx]	E <sub>min</sub> [lx]
Valores nominais segundo a classe:	≥ 5.00	≥ 1.00
Valores reais segundo o cálculo:	5.72	2.57
Cumprido:	✓	✓

## ii. Cálculo luminotécnico com postes sobre os passeios

### Avaliação da iluminação na pista de rodagem

No Quadro 4.26 é possível visualizar o campo de avaliação da pista de rodagem para o sistema de iluminação com LED.

Quadro 4.26 – Avaliação da iluminação na pista de rodagem com os postes sobre os passeios para o sistema de iluminação com LED.

Classe de iluminação selecionada: ME4b	Lm [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores nominais segundo a classe:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15	≥ 0.50
Valores reais segundo o cálculo:	0.81	0.66	0.73	11	0.74
Cumprido:	✓	✓	✓	✓	✓

No Quadro 4.27 é possível visualizar os observadores da pista de rodagem para o sistema de iluminação com LED.

Quadro 4.27 – Observadores da pista de rodagem com os postes sobre os passeios para o sistema de iluminação com LED.

Observador	Lm [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]
Observador 1	0.91	0.66	0.87	10
Observador 2	0.81	0.67	0.73	11

### Avaliação da iluminação nos passeios

No Quadro 4.28 é possível visualizar o campo de avaliação dos passeios com distribuição dos postes dos dois lados frente a frente sobre os passeios.

Quadro 4.28 – Avaliação da iluminação nos passeios com os postes sobre os passeios para o sistema de iluminação com LED.

Classe de iluminação selecionada: S5	E <sub>m</sub> [lx]	E <sub>min</sub> [lx]
Valores nominais segundo a classe:	≥ 3.00	≥ 0.60
Valores reais segundo o cálculo:	3.03	1.66
Cumprido:	✓	✓

Como se pode constatar-se pelos Quadros 4.23 a 4.28 a solução da luminária Schröder (modelo Ampera) com tecnologia LED e lâmpada de 75 W garante os níveis luminotécnicos impostos pela norma EN 13201.

## 4.2 Estudo de viabilidade técnica e económica

Após o estudo luminotécnico apresentado anteriormente é apresentada nesta secção o estudo comparativo de viabilidade técnica e económica da solução atual com as sete soluções alternativas. Estas consistem uma na substituição das lâmpadas atuais por lâmpadas de 150 W de vapor de Sódio de alta pressão mantendo as luminárias Schröder (modelo Onyx 2) e as outras seis em tecnologia LED dos fabricantes Schröder, Arquiled e Lutche, com ligação ON/OFF e sistema de regulação de fluxo luminoso, cujos detalhes são expostos no Anexo 1.

Os principais fatores a considerar no projeto são, o investimento requerido para a sua concretização mais os custos de operação e de manutenção ao longo da sua vida e os ganhos, traduzidos em termos de redução de custos, que resultam desse investimento.

O tempo de vida estimado para o investimento é de 30 anos e este opera em média 10 horas por dia. Estes valores correspondem a 10.950 dias ou 109.500 horas.

A tomada de decisão será baseada no cálculo do valor atualizado líquido (VAL) de cada alternativa, valor que traduz o resultado global alcançável com cada solução [48]. O cálculo deste indicador consiste na transposição dos fluxos financeiros gerados pelo investimento para o ano económico zero e permitirá ordenar as soluções pelo seu grau de mérito. Assim quando:

**VAL > 0**, as receitas excedem os custos;

**VAL = 0**, as receitas cobrem os custos;

**VAL < 0**, as receitas são insuficientes para pagar os custos.

O VAL é calculado a partir da seguinte expressão:

$$VAL = \sum_{t=0}^N \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (4-1)$$

$$VAL = CF_0 + \frac{CF_1}{(1+r)^1} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

Onde:

$CF_t$  – Fluxo financeiro que ocorre no ano t no futuro;

$CF_0$  – Investimento inicial;

r – Taxa de atualização do capital (ou de custo do dinheiro);

t – ano;

N – Tempo de vida útil do projeto.

A taxa de atualização do capital (ou custo do dinheiro) foi escolhida com base em informação facultada por organismos oficiais. Esta pode ser calculada através da seguinte expressão:

$$r = (1 + i) * (1 + j) - 1 \quad (1) \quad (4-2)$$

r – Taxa de atualização do capital (ou de custo do dinheiro);

i – Taxa de inflação, %;

j – Custo do dinheiro estimado, %.

Para determinar o custo de substituição/manutenção das lâmpadas, utilizou-se a expressão:

$$C_{invest} = \frac{CF_t}{(1 + r)^t} = \frac{N^{\circ}Lâmp \times (Custo\ lâmp + Custo\ subst/man)}{(1 + r)^t} \quad (4-3)$$

Onde:

*C<sub>invest</sub>* – Custo de investimento quando é feita a substituição das lâmpadas, €;

*N<sup>o</sup>Lâmp* – Número de lâmpadas;

*Custo lâmp* – Custo unitário da lâmpada, €;

*Custo subst/man* – Custo de substituição com respectiva manutenção, €.

A manutenção de cada ponto de iluminação deve ser realizada de acordo com as recomendações do fabricante. Para determinar o custo de manutenção, recorreu-se à expressão:

$$C_{man} = \frac{CF_t}{(1 + r)^t} = \frac{N^{\circ}Lâmp \times (C_{man\ ponto})}{(1 + r)^t} \quad (4-4)$$

Onde:

*C<sub>man</sub>* – Custo de manutenção, €;

*C<sub>man ponto</sub>* – Custo de manutenção de cada ponto de iluminação, €.

---

<sup>(1)</sup> Expressão obtida a partir da referência [48].

Para determinar o custo da energia consumida anualmente, recorreu-se à expressão:

$$CkWh_t = Cenergia \times \frac{(1 + ce)^t}{(1 + r)^t} \quad (4-5)$$

Onde:

$CkWh_t$  – Custo da energia consumida anualmente do ano t a preço do ano zero, €;

$ce$  – Taxa de crescimento do preço da energia, %;

$Cenergia$  – Custo da energia consumida anualmente no ano zero, €.

Para calcular a vida útil das lâmpadas recorreu-se à expressão:

$$AV_u = \frac{VUL}{TFMA} \quad (4-6)$$

Onde:

$AV_u$  – N° de anos de vida útil;

$VUL$  – Vida útil da lâmpada, h;

$TFMA$  – Tempo de funcionamento médio anual, h.

Para calcular a energia consumida anualmente recorreu-se à expressão:

$$EC_a = P_t \times TFMA \quad (4-7)$$

Onde:

$EC_a$  – Energia consumida anualmente, Wh/ano;

$P_t$  – Potência total do conjunto das luminárias, W;

$TFMA$  – Tempo de funcionamento médio anual, h.

Para determinar a energia consumida anualmente com sistema *dimming* recorreu-se à expressão:

$$EC_a = P_t \times dimming \times TFMA \quad (4-8)$$

Onde:

$P_t$  – Potência total do conjunto das luminárias, W;

*dimming* – Valor percentual da potência total com *dimming*, %.

Para efetuar a análise económica tiveram-se em conta os seguintes pressupostos:

### 1. Custo do dinheiro

Segundo os agentes de mercado em Portugal o custo do dinheiro ronda os 7 a 8% para um empréstimo a empresas [49].

### 2. Taxa de inflação

Segundo a Base de Dados Portugal Contemporâneo da PORDATA, a taxa de inflação (taxa de Variação - Índice de preços no consumidor) em Portugal para 2014 foi de -0,28 %, sendo que entre 2000 e 2014 esse valor se aproximou dos 2,5% [50].

### 3. Taxa de crescimento do preço da eletricidade

Segundo a ERSE – Entidade Reguladora de Serviços Energéticos, a taxa de crescimento do preço da eletricidade no comunicado da proposta de tarifas e preços para a energia elétrica em 2015, obteve uma variação de 1,2% [51].

### 4. Emissões de CO<sub>2</sub>

Segundo a EDP com o *mix* de geração atual as emissões de CO<sub>2</sub>, no ano de 2013 foram de 139.89 gCO<sub>2</sub>/kWh [52].

### 5. Custo da energia elétrica

Na sequência do previsto nos Regulamentos Tarifário e das Relações Comerciais, a tarifa de Iluminação Pública está extinta desde 1 de janeiro de 2013 [53].

A tarifa que a CMV possui para este troço de IP é a tri-horária, na Baixa Tensão Nominal (BTN) com potência contratada de 5,75 kVA.

O Quadro 4.29 apresenta os preços aplicados a este tipo de consumidor no ano de 2014, aos quais acresce o IVA à taxa de 23%.

Quadro 4.29 – Preços da energia elétrica [53].

TARIFA DE ACESSO ÀS REDES EM BTN (<=20.7 kVA e >2.3 kVA)		PREÇOS	
Potência		(EUR/mês)	(EUR/dia)*
Tarifa simples, bi-horária e tri-horária	3,45	4,64	0,1526
	5,75	7,42	0,2439
	6,9	8,81	0,2895
Energia ativa		(EUR/kWh)	
Tarifa simples <=6.9kVA		0,1528	
Tarifa simples >6.9kVA		0,1543	
Tarifa tri-horária <= 6.9kVA	Hora ponta	0,2029	
	Hora cheia	0,1613	
	Hora vazio	0,0946	
Tarifa tri-horária >6.9kVA	Hora ponta	0,2066	
	Hora cheia	0,1642	
	Hora vazio	0,0955	
Imposto Especial Consumo Eletricidade		0,0010	

\* RRC art. 220.º, n.º 3

Com base nos pressupostos anteriores, foram adotados os seguintes valores para o cálculo do VAL:

- Taxa de inflação (i) **2,5%**;
- Custo do dinheiro (j) **8%**;
- Crescimento anual do preço da eletricidade **1,2%** (para cálculo da expressão (4-5));
- Emissões de CO<sub>2</sub> de **135 gCO<sub>2</sub>/kWh**.

Recorrendo à expressão (4-2) é possível determinar a taxa de atualização [48]:

$$r = (1 + i) * (1 + j) - 1 \Leftrightarrow r = ((1 + 0,025) * (1 + 0,08) - 1) * 100\% \Leftrightarrow r = \mathbf{10.7\%}$$

O Quadro 4.30 apresenta a distribuição referente aos ciclos diários tri-horários das horas de ponta, cheia e vazio para os períodos de Verão e de Inverno.

Quadro 4.30 – Horas de ponta, cheia e vazio para os períodos de Verão e de Inverno [53].

Ciclo diário tri-horário para BTN em Portugal Continental			
Período de hora legal de Verão		Período de hora legal de Inverno	
<b>Ponta:</b>	10:30/13:00 h 19:30/21:00 h	<b>Ponta:</b>	09:00/10:30 h 18:00/20:30 h
<b>Cheias:</b>	08:00/10:30 h 13:00/19:30 h 21:00/22:00 h	<b>Cheias:</b>	08:00/09:00 h 10:30/18:00 h 20:30/22:00 h
<b>Vazio</b>	22:00/08:00 h	<b>Vazio</b>	22:00/08:00 h

No Quadro 4.31 é exposta a distribuição nas horas de ponta, cheias e vazio para os períodos de Verão e de Inverno.

No período de Verão o sistema de IP está ligado durante 8 horas (entre as 21h30min e as 5h30min), sendo 0,5 hora em período de cheia e 7,5 horas em vazio. Nas restantes horas o sistema de IP está desligado.

No Inverno a IP está ligado durante 12 horas (entre as 18h30min e as 6h30min), sendo 2 horas em período de ponta, 1,5 horas em cheia e 8,5 horas em vazio. Nas restantes horas o sistema de IP está desligado.

Quadro 4.31 – Distribuição das horas de ponta, cheia e vazio, no Verão e no Inverno.

Distribuição das horas ponta, cheias e vazio		
Horas	Período Verão	Período Inverno
Ponta (h)	0	2
Cheias (h)	0,5	1,5
Vazio (h)	7,5	8,5
<b>Total (h)</b>	<b>8</b>	<b>12</b>

O Quadro 4.32 expõe a distribuição das horas de ponta, cheia e vazio, para as horas de funcionamento, nos períodos de Verão e de Inverno.

Quadro 4.32 – Horas de funcionamento por luminária, nos períodos de Verão e de Inverno.

Período (h)	Período Verão		Período Inverno	
	Variação (%)	Horas	Variação (%)	Horas
18:30	0		100	Ponta
19:00	0		100	Ponta
19:30	0		100	Ponta
20:00	0		100	Ponta
20:30	0		100	Cheias
21:00	0		100	Cheias
21:30	100	Cheias	100	Cheias
22:00	100	Vazio	100	Vazio
22:30	100	Vazio	100	Vazio
23:00	100	Vazio	100	Vazio
23:30	100	Vazio	100	Vazio
00:00	100	Vazio	100	Vazio
00:30	100	Vazio	100	Vazio
01:00	100	Vazio	100	Vazio
01:30	100	Vazio	100	Vazio
02:00	100	Vazio	100	Vazio
02:30	100	Vazio	100	Vazio
03:00	100	Vazio	100	Vazio
03:30	100	Vazio	100	Vazio
04:00	100	Vazio	100	Vazio
04:30	100	Vazio	100	Vazio
05:00	100	Vazio	100	Vazio
05:30	0		100	Vazio
06:00	0		100	Vazio

Com a distribuição diária exposta, foi necessário elaborar uma distribuição anual. Os meses de Janeiro, Fevereiro, Março, Outubro, Novembro e Dezembro foram ponderados como período de Inverno. Os restantes como meses de Verão. No Quadro 4.33 é feita essa distribuição, obtendo um total de 3.648 horas de funcionamento por luminária.

Quadro 4.33 – Distribuição anual do funcionamento por luminária.

Admitindo que o número de horas de ponta se mantém ao longo dos anos				
Período	Mês	Horas ponta (h)	Horas cheia (h)	Horas vazio (h)
Inverno	Jan	62	46,5	263,5
	Fev	56	42	238
	Mar	62	46,5	263,5
Verão	Abr	0	15	225
	Mai	0	15,5	232,5
	Jun	0	15	225
	Jul	0	15,5	232,5
	Ago	0	15,5	232,5
	Set	0	15	225
Inverno	Out	62	46,5	263,5
	Nov	60	45	255
	Dez	62	46,5	263,5
Total		364	364,5	2919,5
		3.648		

Apresenta-se a seguir o estudo económico para as luminárias instaladas do fabricante Schröder, modelo Onyx 2. Os valores encontrados são depois comparados com as sete soluções alternativas, uma com substituição das lâmpadas atuais por lâmpadas de 150 W de HPS e seis com base em tecnologia LED. Foram utilizados quatro modelos de luminárias do fabricante Schröder, modelo Onyx 2, Piano, Teceo e Ampera (com e sem *dimming*), um do fabricante Arquiled (modelo Arquicity C10) e um do fabricante Lutche (modelo Almenara Plus).

#### 4.2.1 – Custos da situação atual (Onyx 2 – HPS 250 W)

No Quadro 4.34 são expostos os dados do sistema atual. Cada ponto de iluminação tem instalada lâmpada de vapor de Sódio de alta pressão de 250 W, com luminária da Schröder, modelo Onyx 2. Os fabricantes deste tipo de lâmpadas aplicam um preço unitário de 45 €. As empresas certificadas para executar a substituição com respectiva manutenção praticam um custo de aproximadamente de 35 € por ponto de iluminação <sup>(2)</sup>.

Quadro 4.34 – Dados da análise económica do sistema atual (Schröder - Onyx 2 HPS 250 W).

Alternativa	P(W)	Vida útil (h)	Fluxo (lm)	Custo lâmp (€)	Nº lâmp	Custo subst/man ponto (€)
Atual	250	10000	33200	45	62	35

**Nota:** Preços com IVA à taxa de 23%.

Recorrendo a (4-6), a vida útil de cada lâmpada é:

$$AV_u = \frac{VUL}{TFMA} \Leftrightarrow AV_u = \frac{10000}{3648} \Leftrightarrow AV_u = 2,74 \text{ anos}$$

A lâmpada tem uma vida útil de 2 anos e 270 dias. Antes deste período deve ser feita a sua substituição e manutenção para verificação do equipamento bem como a respetiva limpeza.

Para a realização do estudo foi considerado que as lâmpadas estão no fim da vida útil. Assim, no ano 0 é feito o investimento em novas lâmpadas e a manutenção de cada ponto de iluminação.

No Quadro 4.35 é exposto o cálculo mensal da energia consumida em horas de ponta, cheia e vazio, de acordo com a potência e número de luminárias bem como as horas de funcionamento por período, mencionados no Quadro 4.33.

A energia consumida anualmente pode ser calculada através do somatório da energia consumida em horas de ponta, cheia e vazio ou através da expressão (4-7):

$$EC_a = P_t \times TFMA \Leftrightarrow EC_a = (250W \times 62) \times 3648h \Leftrightarrow EC_a = 56544000 Wh \Leftrightarrow EC_a = 56,54 MWh/\text{ano}.$$

<sup>(2)</sup> Informação obtida pela EDP.

O custo anual da energia consumida foi obtido através do valor anterior e dos preços de referência mencionados no Quadro 4.29. Estes serviram igualmente de base para contabilizar o custo da potência contratada, bem como do imposto especial de consumo da eletricidade. O custo total anual é o somatório dos gastos referidos anteriormente.

Quadro 4.35 – Custo mensal do sistema Schröder (modelo Onyx 2) com lâmpada de 250W.

Luminária modelo Onyx 2, com lâmpada 250W						
Mês	Consumo por mês (kWh)			Custo por mês (€)		
	Horas ponta	Horas cheia	Horas vazio	Horas ponta	Horas cheia	Horas vazio
Jan	961	721	4.084	195 €	116 €	386 €
Fev	868	651	3.689	176 €	105 €	349 €
Mar	961	721	4.084	195 €	116 €	386 €
Abr	0	233	3.488	0 €	38 €	330 €
Mai	0	240	3.604	0 €	39 €	341 €
Jun	0	233	3.488	0 €	38 €	330 €
Jul	0	240	3.604	0 €	39 €	341 €
Ago	0	240	3.604	0 €	39 €	341 €
Set	0	233	3.488	0 €	38 €	330 €
Out	961	721	4.084	195 €	116 €	386 €
Nov	930	698	3.953	189 €	113 €	374 €
Dez	961	721	4.084	195 €	116 €	386 €
<b>Total anual</b>	5.642	5.650	45.252	1.145 €	911 €	4.281 €
	56.544			6.337 €		
<b>Potência Contratada (€)</b>				89 €		
<b>Imposto Especial Consumo Eletricidade</b>				57 €		
<b>IVA 23%</b>				1.491 €		
<b>TOTAL ANUAL (€)</b>				<b>7.973 €</b>		

Por exemplo para o 3º ano o  $C_{invest}$  é calculado recorrendo à expressão (4 – 3), ou seja:

$$C_{invest} = \frac{CF_t}{(1+r)^t} = \frac{N^{\circ}Lum \times (Custo \text{ lâmp} + Custo \text{ subst/man})}{(1+r)^t} = \frac{62 \times (45 + 35)}{(1 + 10.7\%)^3} = 3.656 \text{ €}$$

Para determinar o custo da energia anual por exemplo no 6º ano, recorreu-se à seguinte expressão (4 – 5):

$$C_{kWh} = C_{energia} \times \frac{(1+ce)^t}{(1+r)^t} = 7.973 \times \frac{(1+1,2\%)^6}{(1+10,7\%)^6} = 4.654 \text{ €}$$

O custo acumulado é o somatório dos custos de energia, investimento e manutenção anual ao longo dos 30 anos.

Recorrendo as expressões (4-1), (4-2), (4-3) e (4-5), no Quadro 4.36 são expostos os cálculos dos custos de investimento (substituição das lâmpadas e da manutenção dos pontos de iluminação) e da energia consumida ao longo dos 30 anos do investimento.

Quadro 4.36 – Estudo económico para a solução atual (Schröder - Onyx 2 HPS 250 W).

Solução Atual (Schröder - Onyx 2 HPS 250 W)					
Ano	Cinvest	CkWh	Ctotais	Acumulativo	
2015	0	€ 4.960	€ 7.973	€ 12.933	€ 12.933
2016	1	€ 0	€ 7.289	€ 7.289	€ 20.223
2017	2	€ 0	€ 6.664	€ 6.664	€ 26.886
2018	3	€ 3.656	€ 6.092	€ 9.748	€ 36.634
2019	4	€ 0	€ 5.569	€ 5.569	€ 42.204
2020	5	€ 0	€ 5.091	€ 5.091	€ 47.295
2021	6	€ 2.695	€ 4.654	€ 7.349	€ 54.644
2022	7	€ 0	€ 4.255	€ 4.255	€ 58.899
2023	8	€ 0	€ 3.890	€ 3.890	€ 62.789
2024	9	€ 1.987	€ 3.556	€ 5.543	€ 68.331
2025	10	€ 0	€ 3.251	€ 3.251	€ 71.582
2026	11	€ 0	€ 2.972	€ 2.972	€ 74.554
2027	12	€ 1.465	€ 2.717	€ 4.181	€ 78.735
2028	13	€ 0	€ 2.484	€ 2.484	€ 81.218
2029	14	€ 0	€ 2.270	€ 2.270	€ 83.489
2030	15	€ 1.080	€ 2.076	€ 3.155	€ 86.644
2031	16	€ 0	€ 1.897	€ 1.897	€ 88.542
2032	17	€ 0	€ 1.735	€ 1.735	€ 90.276
2033	18	€ 796	€ 1.586	€ 2.382	€ 92.658
2034	19	€ 0	€ 1.450	€ 1.450	€ 94.108
2035	20	€ 0	€ 1.325	€ 1.325	€ 95.433
2036	21	€ 587	€ 1.212	€ 1.798	€ 97.231
2037	22	€ 0	€ 1.108	€ 1.108	€ 98.339
2038	23	€ 0	€ 1.013	€ 1.013	€ 99.351
2039	24	€ 432	€ 926	€ 1.358	€ 100.709
2040	25	€ 0	€ 846	€ 846	€ 101.555
2041	26	€ 0	€ 774	€ 774	€ 102.329
2042	27	€ 319	€ 707	€ 1.026	€ 103.355
2043	28	€ 0	€ 647	€ 647	€ 104.001
2044	29	€ 0	€ 591	€ 591	<b>€ 104.592</b>

Para o sistema atual, pode-se concluir que ao fim dos 30 anos de investimento existem 10 trocas de lâmpadas e manutenção das mesmas. O custo total do investimento para os 30 anos é de **104.592 €**.

### 4.2.2 – Custos com luminária Onyx 2 com lâmpada HPS 150 W

Cada ponto de iluminação tem luminária do fabricante Schröder (modelo Onyx 2), agora com lâmpada de vapor de Sódio de alta pressão de 150 W. O tempo de funcionamento anual, como referido no Quadro 4.33 é de 3.648 horas com controlo de ON/OFF realizado por relógio astronómico.

No Quadro 4.37 são expostos os dados relevantes da luminária, bem como os custos associados. Cada ponto de iluminação tem instalada lâmpada de vapor de Sódio de alta pressão de 150 W, com luminária da Schröder, modelo Onyx 2. Os fabricantes deste tipo de lâmpadas aplicam um preço unitário de 45 €. As empresas certificadas para executar a substituição com respectiva manutenção praticam um custo de aproximadamente de 35 € por ponto de iluminação <sup>(3)</sup>.

Quadro 4.37 – Dados da análise económica do sistema de remodelação do sistema atual (Schröder - Onyx 2 HPS 150 W).

Alternativa	P(W)	Vida útil (h)	Fluxo (lm)	Custo lum (€)	Custo lâmp (€)	Nº lum	Custo subst/man ponto (€)
Onyx 2 - HPS150W	150	10000	17500	615 €	40 €	62	35 €

Nota: Preços com IVA à taxa de 23%.

Recorrendo a (4-6), a vida útil de cada lâmpada é:

$$AV_u = \frac{VUL}{TFMA} \Leftrightarrow AV_u = \frac{10000}{3648} \Leftrightarrow AV_u = 2,74 \text{ anos}$$

A lâmpada tem uma vida útil de 2 anos e 270 dias. Antes deste período deve ser feita a sua substituição e manutenção para verificação do equipamento bem como a respetiva limpeza.

No Quadro 4.38 é exposto o cálculo mensal da energia consumida em horas de ponta, cheia e vazio, de acordo com a potência e número de luminárias bem como as horas de funcionamento por período, mencionados no Quadro 4.33.

A energia consumida anualmente pode ser calculada através do somatório da energia consumida em horas de ponta, cheia e vazio ou através da expressão (4-7):

$$EC_a = P_t \times TFMA \Leftrightarrow EC_a = (150W \times 62) \times 3648h \Leftrightarrow EC_a = 33926000 Wh \Leftrightarrow EC_a = 33,93 MWh/\text{ano}.$$

<sup>(3)</sup> Informação obtida pela EDP.

O custo anual da energia consumida foi obtido através do valor anterior e dos preços de referência mencionados no Quadro 4.29. Estes serviram igualmente de base para contabilizar o custo da potência contratada anualmente, bem como do imposto especial de consumo da eletricidade. O custo total anual é o somatório dos gastos referidos anteriormente.

Quadro 4.38 – Custo mensal do sistema Schröder (modelo Onyx 2 – HPS 150W).

<b>Luminária modelo Onyx 2, com lâmpada 150W</b>						
<b>Mês</b>	<b>Consumo por mês (kWh)</b>			<b>Custo por mês (kWh)</b>		
	Horas ponta	Horas cheia	Horas vazio	Horas ponta	Horas cheia	Horas vazio
<b>Jan</b>	577	432	2.451	117 €	70 €	232 €
<b>Fev</b>	521	391	2.213	106 €	63 €	209 €
<b>Mar</b>	577	432	2.451	117 €	70 €	232 €
<b>Abr</b>	0	140	2.093	0 €	23 €	198 €
<b>Mai</b>	0	144	2.162	0 €	23 €	205 €
<b>Jun</b>	0	140	2.093	0 €	23 €	198 €
<b>Jul</b>	0	144	2.162	0 €	23 €	205 €
<b>Ago</b>	0	144	2.162	0 €	23 €	205 €
<b>Set</b>	0	140	2.093	0 €	23 €	198 €
<b>Out</b>	577	432	2.451	117 €	70 €	232 €
<b>Nov</b>	558	419	2.372	113 €	68 €	224 €
<b>Dez</b>	577	432	2.451	117 €	70 €	232 €
<b>Total anual</b>	3.385	3.390	27.151	687 €	547 €	2.569 €
	33.926			3.802 €		
<b>Potência Contratada (€)</b>				89 €		
<b>Imposto Especial Consumo Eletricidade</b>				34 €		
<b>IVA 23%</b>				903 €		
<b>TOTAL ANUAL (€)</b>				<b>4.828 €</b>		

O Quadro 4.39 demonstra a redução do custo de energia conseguida com este tipo de solução em comparação ao sistema com lâmpadas de 250 W.

Quadro 4.39 – Redução de energia conseguida com a mudança da lâmpada de 250W para a de 150W.

	<b>Atual (HPS 250W)</b>	<b>Onyx 2 – HPS 150W</b>
<b>Consumo anual (kWh)</b>	56544	33926
<b>Redução consumo (kWh)</b>	22618	
<b>Consumo anual (€)</b>	7.973 €	4.828 €
<b>Poupança conseguida (€)</b>	<b>3.146 €</b>	

Recorrendo as expressões (4-1), (4-2), (4-3) e (4-5), no Quadro 4.40 são expostos os cálculos dos custos de investimento (substituição das lâmpadas e da manutenção dos pontos de iluminação), e da energia consumida ao longo dos 30 anos do investimento.

Quadro 4.40 – Estudo económico para a solução do sistema Schröder (modelo Onyx 2) com lâmpada de 150W.

<b>Solução de remodelação (Schröder (modelo Onyx 2) com lâmpada de 150W)</b>							
<b>Ano</b>	<b>Cinvest</b>	<b>CkWh</b>	<b>Ctotais</b>	<b>Benefícios</b>	<b>Saldo</b>	<b>Acumulativo</b>	
2015	0	€ 4.650	€ 4.828	€ 9.478	€ 3.456	€ 3.456	€ 9.478
2016	1	€ 0	€ 4.414	€ 4.414	€ 2.876	€ 6.331	€ 13.891
2017	2	€ 0	€ 4.035	€ 4.035	€ 2.629	€ 8.960	€ 17.926
2018	3	€ 3.428	€ 3.689	€ 7.116	€ 2.632	€ 11.592	€ 25.043
2019	4	€ 0	€ 3.372	€ 3.372	€ 2.197	€ 13.789	€ 28.415
2020	5	€ 0	€ 3.083	€ 3.083	€ 2.008	€ 15.797	€ 31.497
2021	6	€ 2.527	€ 2.818	€ 5.345	€ 2.005	€ 17.802	€ 36.842
2022	7	€ 0	€ 2.576	€ 2.576	€ 1.679	€ 19.480	€ 39.418
2023	8	€ 0	€ 2.355	€ 2.355	€ 1.534	€ 21.015	€ 41.774
2024	9	€ 1.863	€ 2.153	€ 4.016	€ 1.527	€ 22.542	€ 45.789
2025	10	€ 0	€ 1.968	€ 1.968	€ 1.282	€ 23.824	€ 47.758
2026	11	€ 0	€ 1.799	€ 1.799	€ 1.172	€ 24.997	€ 49.557
2027	12	€ 1.373	€ 1.645	€ 3.018	€ 1.163	€ 26.160	€ 52.575
2028	13	€ 0	€ 1.504	€ 1.504	€ 980	€ 27.140	€ 54.079
2029	14	€ 0	€ 1.375	€ 1.375	€ 896	€ 28.036	€ 55.453
2030	15	€ 1.012	€ 1.257	€ 2.269	€ 886	€ 28.922	€ 57.722
2031	16	€ 0	€ 1.149	€ 1.149	€ 749	€ 29.670	€ 58.871
2032	17	€ 0	€ 1.050	€ 1.050	€ 684	€ 30.355	€ 59.922
2033	18	€ 746	€ 960	€ 1.706	€ 675	€ 31.030	€ 61.628
2034	19	€ 0	€ 878	€ 878	€ 572	€ 31.602	€ 62.506
2035	20	€ 0	€ 802	€ 802	€ 523	€ 32.125	€ 63.308
2036	21	€ 550	€ 734	€ 1.284	€ 515	€ 32.639	€ 64.592
2037	22	€ 0	€ 671	€ 671	€ 437	€ 33.076	€ 65.262
2038	23	€ 0	€ 613	€ 613	€ 399	€ 33.476	€ 65.875
2039	24	€ 405	€ 560	€ 966	€ 392	€ 33.868	€ 66.841
2040	25	€ 0	€ 512	€ 512	€ 334	€ 34.202	€ 67.354
2041	26	€ 0	€ 468	€ 468	€ 305	€ 34.507	€ 67.822
2042	27	€ 299	€ 428	€ 727	€ 299	€ 34.806	€ 68.549
2043	28	€ 0	€ 391	€ 391	€ 255	€ 35.061	€ 68.940
2044	29	€ 0	€ 358	€ 358	€ 233	€ 35.294	<b>€ 69.298</b>

A mudança para lâmpada com potência de 150 W, é necessário ter em conta o investimento inicial de 4.650 €. No entanto durante os 30 anos de investimento existem 10 substituições das lâmpadas e 10 manutenções (nos anos 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 e 27). O custo total do investimento é de 69.298 €, começando a ganhar dinheiro de imediato, relativamente à solução 4.2.1, pois as lâmpadas são mais baratas que as de 250 W e o seu consumo é também inferior.

### 4.2.3 – Solução com luminária Schröder, modelo Piano

Cada ponto de iluminação tem luminária do fabricante Schröder (modelo Piano), com placa de LEDs de 75 W. O tempo de funcionamento anual, como referido no Quadro 4.33 é de 3.648 horas com controlo de ON/OFF realizado por relógio astronómico.

No Quadro 4.41 são expostos os dados relevantes da luminária, bem como os custos associados. Segundo o fabricante cada luminária já com a placa de LEDs incorporada tem um custo que ronda os 756 €. Apenas a placa de LEDs tem um preço unitário de 229 €. As empresas certificadas para executar a substituição com respectiva manutenção praticam um custo de aproximadamente de 35 € por ponto de iluminação <sup>(4)</sup>.

Segundo indicações do fabricante para satisfazer o nível de iluminação é necessário a manutenção de cada ponto de iluminação de 8 em 8 anos. Essa tem um custo unitário que ronda os 15 €.

Quadro 4.41 – Dados da análise económica do sistema alternativo (Piano).

Alternativa	P(W)	Vida útil (h)	Fluxo (lm)	Custo lum (€)	CLEDs (€)	Nº lum	Custo man ponto (€)	Custo subs/man ponto(€)
Piano	75	60000	9197	756 €	229 €	62	15 €	35 €

Nota: Preços com IVA à taxa de 23%.

Recorrendo à expressão (4-6), a vida útil de cada placa de LEDs é:

$$AV_u = \frac{VUL}{TFMA} \Leftrightarrow AV_u = \frac{60000}{3648} \Leftrightarrow AV_u = 16,4 \text{ anos}$$

A placa de LEDs tem uma vida útil de 16 anos e 146 dias. Antes deste período deve ser feita a sua substituição e manutenção para verificação do equipamento bem como a respetiva limpeza.

No Quadro 4.42 é exposto o cálculo mensal da energia consumida em horas de ponta, cheia e vazio, de acordo com a potência e número de luminárias bem como as horas de funcionamento por período, mencionados no Quadro 4.33.

A energia consumida anualmente pode ser calculada através do somatório da energia consumida em horas de ponta, cheia e vazio ou através da expressão (4-7):

$$EC_a = P_t \times TFMA \Leftrightarrow EC_a = (75W \times 62) \times 3648h \Leftrightarrow EC_a = 16963200Wh \Leftrightarrow EC_a = 16,96 \text{ MWh/ano.}$$

<sup>(4)</sup> Informação obtida pela EDP.

O custo anual da energia consumida foi obtido através do valor anterior e dos preços de referência mencionados no Quadro 4.29. Estes serviram igualmente de base para contabilizar o custo da potência contratada anualmente, bem como do imposto especial de consumo da eletricidade. O custo total anual é o somatório dos gastos referidos anteriormente.

Quadro 4.42 – Custo mensal do sistema Schröder (modelo Piano) com LEDs de 75W.

<b>Luminária modelo Piano com placa de LEDs 75W</b>						
<b>Mês</b>	<b>Consumo por mês (kWh)</b>			<b>Custo por mês (kWh)</b>		
	Horas ponta	Horas cheia	Horas vazio	Horas ponta	Horas cheia	Horas vazio
<b>Jan</b>	288	216	1.225	58 €	35 €	116 €
<b>Fev</b>	260	195	1.107	53 €	32 €	105 €
<b>Mar</b>	288	216	1.225	58 €	35 €	116 €
<b>Abr</b>	0	70	1.046	0 €	11 €	99 €
<b>Mai</b>	0	72	1.081	0 €	12 €	102 €
<b>Jun</b>	0	70	1.046	0 €	11 €	99 €
<b>Jul</b>	0	72	1.081	0 €	12 €	102 €
<b>Ago</b>	0	72	1.081	0 €	12 €	102 €
<b>Set</b>	0	70	1.046	0 €	11 €	99 €
<b>Out</b>	288	216	1.225	58 €	35 €	116 €
<b>Nov</b>	279	209	1.186	57 €	34 €	112 €
<b>Dez</b>	288	216	1.225	58 €	35 €	116 €
<b>Total anual</b>	1.693	1.695	13.576	343 €	273 €	1.284 €
	16.963			1.901 €		
	<b>Potência Contratada (€)</b>			89 €		
	<b>Imposto Especial Consumo Eletricidade</b>			17 €		
	<b>IVA 23%</b>			462 €		
	<b>TOTAL ANUAL (€)</b>			<b>2.469 €</b>		

O Quadro 4.43 demonstra a redução do custo de energia conseguida com este tipo de luminária em comparação ao sistema atual.

Quadro 4.43 – Redução de energia conseguida com as luminárias do modelo Piano.

	<b>Atual (HPS 250W)</b>	<b>Piano (LEDs 75W)</b>
<b>Consumo anual (kWh)</b>	56544	16963
<b>Redução consumo (kWh)</b>	39581	
<b>Consumo anual (€)</b>	7.973 €	2.469 €
<b>Poupança conseguida (€)</b>	<b>5.505 €</b>	

Recorrendo as expressões (4-1), (4-2), (4-3), (4-4) e (4-5), no Quadro 4.44 são expostos os cálculos dos custos de investimento (substituição da placa de LEDs), da energia consumida e da manutenção ao longo dos 30 anos do investimento.

Quadro 4.44 – Estudo económico para a solução alternativa: (Schröder - Piano).

Solução alternativa (Schröder - Piano)									
Ano	Cinvest	CkWh	Cman	Cinv+Cman	Ctotais	Benefícios	Saldo	Acumulativo	
2015	0	€ 49.042	€ 2.469	€ 0	€ 49.042	€ 51.511	-€ 38.577	-€ 38.577	€ 51.511
2016	1	€ 0	€ 2.257	€ 0	€ 0	€ 2.257	€ 5.032	-€ 33.545	€ 53.768
2017	2	€ 0	€ 2.063	€ 0	€ 0	€ 2.063	€ 4.601	-€ 28.944	€ 55.831
2018	3	€ 0	€ 1.886	€ 0	€ 0	€ 1.886	€ 7.862	-€ 21.082	€ 57.717
2019	4	€ 0	€ 1.724	€ 0	€ 0	€ 1.724	€ 3.845	-€ 17.238	€ 59.441
2020	5	€ 0	€ 1.576	€ 0	€ 0	€ 1.576	€ 3.515	-€ 13.723	€ 61.017
2021	6	€ 0	€ 1.441	€ 0	€ 0	€ 1.441	€ 5.908	-€ 7.814	€ 62.458
2022	7	€ 0	€ 1.317	€ 0	€ 0	€ 1.317	€ 2.937	-€ 4.877	€ 63.776
2023	8	€ 0	€ 1.204	€ 412	€ 412	€ 1.617	€ 2.273	-€ 2.604	€ 65.392
2024	9	€ 0	€ 1.101	€ 0	€ 0	€ 1.101	€ 4.442	€ 1.838	€ 66.493
2025	10	€ 0	€ 1.006	€ 0	€ 0	€ 1.006	€ 2.244	€ 4.082	€ 67.500
2026	11	€ 0	€ 920	€ 0	€ 0	€ 920	€ 2.052	€ 6.134	€ 68.420
2027	12	€ 0	€ 841	€ 0	€ 0	€ 841	€ 3.340	€ 9.474	€ 69.261
2028	13	€ 0	€ 769	€ 0	€ 0	€ 769	€ 1.715	€ 11.188	€ 70.030
2029	14	€ 0	€ 703	€ 0	€ 0	€ 703	€ 1.567	€ 12.756	€ 70.733
2030	15	€ 0	€ 643	€ 0	€ 0	€ 643	€ 2.513	€ 15.269	€ 71.376
2031	16	€ 3.218	€ 587	€ 0	€ 3.218	€ 3.806	-€ 1.908	€ 13.360	€ 75.181
2032	17	€ 0	€ 537	€ 0	€ 0	€ 537	€ 1.198	€ 14.558	€ 75.719
2033	18	€ 0	€ 491	€ 0	€ 0	€ 491	€ 1.891	€ 16.448	€ 76.210
2034	19	€ 0	€ 449	€ 0	€ 0	€ 449	€ 1.001	€ 17.449	€ 76.658
2035	20	€ 0	€ 410	€ 0	€ 0	€ 410	€ 915	€ 18.364	€ 77.069
2036	21	€ 0	€ 375	€ 0	€ 0	€ 375	€ 1.423	€ 19.787	€ 77.444
2037	22	€ 0	€ 343	€ 0	€ 0	€ 343	€ 765	€ 20.552	€ 77.787
2038	23	€ 0	€ 313	€ 0	€ 0	€ 313	€ 699	€ 21.251	€ 78.100
2039	24	€ 0	€ 287	€ 81	€ 81	€ 368	€ 990	€ 22.241	€ 78.468
2040	25	€ 0	€ 262	€ 0	€ 0	€ 262	€ 584	€ 22.826	€ 78.730
2041	26	€ 0	€ 240	€ 0	€ 0	€ 240	€ 534	€ 23.360	€ 78.969
2042	27	€ 0	€ 219	€ 0	€ 0	€ 219	€ 807	€ 24.167	€ 79.188
2043	28	€ 0	€ 200	€ 0	€ 0	€ 200	€ 446	€ 24.613	€ 79.389
2044	29	€ 0	€ 183	€ 0	€ 0	€ 183	€ 408	€ 25.021	€ 79.571

Para as luminárias modelo Piano, é necessário ter em conta o investimento inicial de 49.042 €. No entanto durante os 30 anos de investimento existe apenas 1 troca da placa de LEDs e de 3 manutenções (nos anos 8, 16 e 24). O custo total do investimento é de 79.571 €, obtendo-se o retorno em **9 anos e 83 dias**.

#### 4.2.4 – Solução com luminária Schröder, modelo Teceo

Cada ponto de iluminação tem luminária do fabricante Schröder (modelo Teceo), com placa de LEDs de 75 W. O tempo de funcionamento anual, como referido no Quadro 4.33 é de 3.648 horas com controlo de ON/OFF realizado por relógio astronómico.

No Quadro 4.45 são expostos os dados relevantes da luminária, bem como os custos associados. Segundo o fabricante cada luminária já com a placa de LEDs incorporada tem um custo que ronda os 664 €. Apenas a placa de LEDs tem um preço unitário de 180 €. As empresas certificadas para executar a substituição com respectiva manutenção praticam um custo de aproximadamente de 35 € por ponto de iluminação <sup>(5)</sup>.

Segundo indicações do fabricante para satisfazer o nível de iluminação é necessário a manutenção de cada ponto de iluminação de 8 em 8 anos. Essa tem um custo unitário que ronda os 15 €.

Quadro 4.45 – Dados da análise económica do sistema alternativo (Teceo).

Alternativa	P(W)	Vida útil (h)	Fluxo (lm)	Custo lum (€)	CLEDs (€)	Nº lum	Custo man ponto (€)	Custo subs/man ponto(€)
Teceo	75	60000	9197	664 €	180 €	62	15 €	35 €

Nota: Preços com IVA à taxa de 23%.

Recorrendo à expressão (4-6), a vida útil de cada placa de LEDs é:

$$AV_u = \frac{VUL}{TFMA} \Leftrightarrow AV_u = \frac{60000}{3648} \Leftrightarrow AV_u = 16,4 \text{ anos}$$

A placa de LEDs tem uma vida útil de 16 anos e 146 dias. Antes deste período deve ser feita a sua substituição e manutenção para verificação do equipamento bem como a respetiva limpeza.

No Quadro 4.46 é exposto o cálculo mensal da energia consumida em horas de ponta, cheia e vazio, de acordo com a potência e número de luminárias bem como as horas de funcionamento por período, mencionados no Quadro 4.33.

A energia consumida anualmente pode ser calculada através do somatório da energia consumida em horas de ponta, cheia e vazio ou através da expressão (4-7):

$$EC_a = P_t \times TFMA \Leftrightarrow EC_a = (75W \times 62) \times 3648h \Leftrightarrow EC_a = 16963200Wh \Leftrightarrow EC_a = 16,96 \text{ MWh/ano.}$$

<sup>(5)</sup> Informação obtida pela EDP.

O custo anual da energia consumida foi obtido através do valor anterior e dos preços de referência mencionados no Quadro 4.29. Estes serviram igualmente de base para contabilizar o custo da potência contratada anualmente, bem como do imposto especial de consumo da eletricidade. O custo total anual é o somatório dos gastos referidos anteriormente.

Quadro 4.46 – Custo mensal do sistema Schröder (modelo Teceo) com LEDs de 75W.

<b>Luminária modelo Teceo com placa de LEDs 75W</b>						
<b>Mês</b>	<b>Consumo por mês (kWh)</b>			<b>Custo por mês (kWh)</b>		
	Horas ponta	Horas cheia	Horas vazio	Horas ponta	Horas cheia	Horas vazio
<b>Jan</b>	288	216	1.225	58 €	35 €	116 €
<b>Fev</b>	260	195	1.107	53 €	32 €	105 €
<b>Mar</b>	288	216	1.225	58 €	35 €	116 €
<b>Abr</b>	0	70	1.046	0 €	11 €	99 €
<b>Mai</b>	0	72	1.081	0 €	12 €	102 €
<b>Jun</b>	0	70	1.046	0 €	11 €	99 €
<b>Jul</b>	0	72	1.081	0 €	12 €	102 €
<b>Ago</b>	0	72	1.081	0 €	12 €	102 €
<b>Set</b>	0	70	1.046	0 €	11 €	99 €
<b>Out</b>	288	216	1.225	58 €	35 €	116 €
<b>Nov</b>	279	209	1.186	57 €	34 €	112 €
<b>Dez</b>	288	216	1.225	58 €	35 €	116 €
<b>Total anual</b>	1.693	1.695	13.576	343 €	273 €	1.284 €
	16.963			1.901 €		
	<b>Potência Contratada (€)</b>			89 €		
	<b>Imposto Especial Consumo Eletricidade</b>			17 €		
	<b>IVA 23%</b>			462 €		
	<b>TOTAL ANUAL (€)</b>			<b>2.469 €</b>		

O Quadro 4.47 demonstra a redução do custo de energia conseguida com este tipo de luminária em comparação ao sistema atual.

Quadro 4.47 – Redução de energia conseguida com as luminárias do modelo Teceo.

	<b>Atual (HPS 250W)</b>	<b>Teceo (LEDs 75W)</b>
<b>Consumo anual (kWh)</b>	56544	16963
<b>Redução consumo (kWh)</b>	39581	
<b>Consumo anual (€)</b>	7.973 €	2.469 €
<b>Poupança conseguida (€)</b>	<b>5.505 €</b>	

Recorrendo as expressões (4-1), (4-2), (4-3), (4-4) e (4-5), no Quadro 4.48 são expostos os cálculos dos custos de investimento (substituição da placa de LEDs), da energia consumida e da manutenção ao longo dos 30 anos do investimento.

Quadro 4.48 – Estudo económico para a solução alternativa: (Schröder - Teceo).

Solução alternativa (Schröder - Teceo)									
Ano		Cinvest	CkWh	Cman	Cinv+Cman	Ctotais	Benefícios	Saldo	Acumulativo
2015	0	€ 43.338	€ 2.469	€ 0	€ 43.338	€ 45.807	-€ 32.873	-€ 32.873	€ 45.807
2016	1	€ 0	€ 2.257	€ 0	€ 0	€ 2.257	€ 5.032	-€ 27.841	€ 48.064
2017	2	€ 0	€ 2.063	€ 0	€ 0	€ 2.063	€ 4.601	-€ 23.240	€ 50.127
2018	3	€ 0	€ 1.886	€ 0	€ 0	€ 1.886	€ 7.862	-€ 15.378	€ 52.013
2019	4	€ 0	€ 1.724	€ 0	€ 0	€ 1.724	€ 3.845	-€ 11.534	€ 53.737
2020	5	€ 0	€ 1.576	€ 0	€ 0	€ 1.576	€ 3.515	-€ 8.019	€ 55.313
2021	6	€ 0	€ 1.441	€ 0	€ 0	€ 1.441	€ 5.908	-€ 2.110	€ 56.754
2022	7	€ 0	€ 1.317	€ 0	€ 0	€ 1.317	€ 2.937	€ 827	€ 58.072
2023	8	€ 0	€ 1.204	€ 412	€ 412	€ 1.617	€ 2.273	€ 3.100	€ 59.688
2024	9	€ 0	€ 1.101	€ 0	€ 0	€ 1.101	€ 4.442	€ 7.542	€ 60.789
2025	10	€ 0	€ 1.006	€ 0	€ 0	€ 1.006	€ 2.244	€ 9.786	€ 61.796
2026	11	€ 0	€ 920	€ 0	€ 0	€ 920	€ 2.052	€ 11.838	€ 62.716
2027	12	€ 0	€ 841	€ 0	€ 0	€ 841	€ 3.340	€ 15.178	€ 63.557
2028	13	€ 0	€ 769	€ 0	€ 0	€ 769	€ 1.715	€ 16.892	€ 64.326
2029	14	€ 0	€ 703	€ 0	€ 0	€ 703	€ 1.567	€ 18.460	€ 65.029
2030	15	€ 0	€ 643	€ 0	€ 0	€ 643	€ 2.513	€ 20.973	€ 65.672
2031	16	€ 2.621	€ 587	€ 0	€ 2.621	€ 3.208	-€ 1.311	€ 19.661	€ 68.880
2032	17	€ 0	€ 537	€ 0	€ 0	€ 537	€ 1.198	€ 20.859	€ 69.417
2033	18	€ 0	€ 491	€ 0	€ 0	€ 491	€ 1.891	€ 22.750	€ 69.908
2034	19	€ 0	€ 449	€ 0	€ 0	€ 449	€ 1.001	€ 23.751	€ 70.357
2035	20	€ 0	€ 410	€ 0	€ 0	€ 410	€ 915	€ 24.665	€ 70.767
2036	21	€ 0	€ 375	€ 0	€ 0	€ 375	€ 1.423	€ 26.089	€ 71.142
2037	22	€ 0	€ 343	€ 0	€ 0	€ 343	€ 765	€ 26.853	€ 71.485
2038	23	€ 0	€ 313	€ 0	€ 0	€ 313	€ 699	€ 27.552	€ 71.799
2039	24	€ 0	€ 287	€ 81	€ 81	€ 368	€ 990	€ 28.543	€ 72.167
2040	25	€ 0	€ 262	€ 0	€ 0	€ 262	€ 584	€ 29.127	€ 72.429
2041	26	€ 0	€ 240	€ 0	€ 0	€ 240	€ 534	€ 29.661	€ 72.668
2042	27	€ 0	€ 219	€ 0	€ 0	€ 219	€ 807	€ 30.468	€ 72.887
2043	28	€ 0	€ 200	€ 0	€ 0	€ 200	€ 446	€ 30.914	€ 73.087
2044	29	€ 0	€ 183	€ 0	€ 0	€ 183	€ 408	€ 31.322	€ 73.270

Para as luminárias modelo Teceo, é necessário ter em conta o investimento inicial de 43.338 €. No entanto durante os 30 anos de investimento existe apenas 1 troca da placa de LEDs e de 3 manutenções (nos anos 8, 16 e 24). O custo total do investimento é de 73.270 €, obtendo-se o retorno em **7 anos e 106 dias**.

### 4.2.5 – Solução com luminária Schröder, modelo Ampera

Cada ponto de iluminação tem luminária do fabricante Schröder (modelo Ampera), com placa de LEDs de 75 W. O tempo de funcionamento anual, como referido no Quadro 4.33 é de 3.648 horas com controlo de ON/OFF realizado por relógio astronómico.

No Quadro 4.49 são expostos os dados relevantes da luminária, bem como os custos associados. Segundo o fabricante cada luminária já com a placa de LEDs incorporada tem um custo que ronda os 554 €. Apenas a placa de LEDs tem um preço unitário de 197 €. As empresas certificadas para executar a substituição com respectiva manutenção praticam um custo de aproximadamente de 35 € por ponto de iluminação <sup>(6)</sup>.

Segundo indicações do fabricante para satisfazer o nível de iluminação é necessário a manutenção de cada ponto de iluminação de 9 em 9 anos. Essa tem um custo unitário que ronda os 15 €.

Quadro 4.49 – Dados da análise económica do sistema alternativo (Ampera).

Alternativa	P(W)	Vida útil (h)	Fluxo (lm)	Custo lum (€)	CLEDs (€)	Nº lum	Custo man ponto (€)	Custo subs/man ponto(€)
Ampera	75	70000	9197	554 €	197 €	62	15 €	35 €

Nota: Preços com IVA à taxa de 23%.

Recorrendo à expressão (4-6), a vida útil de cada placa de LEDs é:

$$AV_u = \frac{VUL}{TFMA} \Leftrightarrow AV_u = \frac{70000}{3648} \Leftrightarrow AV_u = 19,2 \text{ anos}$$

A placa de LEDs tem uma vida útil de 19 anos e 73 dias. Antes deste período deve ser feita a sua substituição e manutenção para verificação do equipamento bem como a respetiva limpeza.

No Quadro 4.50 é exposto o cálculo mensal da energia consumida em horas de ponta, cheia e vazio, de acordo com a potência e número de luminárias bem como as horas de funcionamento por período, mencionados no Quadro 4.33.

A energia consumida anualmente pode ser calculada através do somatório da energia consumida em horas de ponta, cheia e vazio ou através da expressão (4-7):

$$EC_a = P_t \times TFMA \Leftrightarrow EC_a = (75W \times 62) \times 3648h \Leftrightarrow EC_a = 16963200Wh \Leftrightarrow EC_a = 16,96 \text{ MWh/ano.}$$

<sup>(6)</sup> Informação obtida pela EDP.

O custo anual da energia consumida foi obtido através do valor anterior e dos preços de referência mencionados no Quadro 4.29. Estes serviram igualmente de base para contabilizar o custo da potência contratada anualmente, bem como do imposto especial de consumo da eletricidade. O custo total anual é o somatório dos gastos referidos anteriormente.

Quadro 4.50 – Custo mensal do sistema Schröder (modelo Ampera) com LEDs de 75W.

<b>Luminária modelo Ampera com placa de LEDs 75W</b>						
<b>Mês</b>	<b>Consumo por mês (kWh)</b>			<b>Custo por mês (kWh)</b>		
	Horas ponta	Horas cheia	Horas vazio	Horas ponta	Horas cheia	Horas vazio
<b>Jan</b>	288	216	1.225	58 €	35 €	116 €
<b>Fev</b>	260	195	1.107	53 €	32 €	105 €
<b>Mar</b>	288	216	1.225	58 €	35 €	116 €
<b>Abr</b>	0	70	1.046	0 €	11 €	99 €
<b>Mai</b>	0	72	1.081	0 €	12 €	102 €
<b>Jun</b>	0	70	1.046	0 €	11 €	99 €
<b>Jul</b>	0	72	1.081	0 €	12 €	102 €
<b>Ago</b>	0	72	1.081	0 €	12 €	102 €
<b>Set</b>	0	70	1.046	0 €	11 €	99 €
<b>Out</b>	288	216	1.225	58 €	35 €	116 €
<b>Nov</b>	279	209	1.186	57 €	34 €	112 €
<b>Dez</b>	288	216	1.225	58 €	35 €	116 €
<b>Total anual</b>	1.693	1.695	13.576	343 €	273 €	1.284 €
	16.963			1.901 €		
	<b>Potência Contratada (€)</b>			89 €		
	<b>Imposto Especial Consumo Eletricidade</b>			17 €		
	<b>IVA 23%</b>			462 €		
	<b>TOTAL ANUAL (€)</b>			<b>2.469 €</b>		

O Quadro 4.51 demonstra a redução do custo de energia conseguida com este tipo de luminária em comparação ao sistema atual.

Quadro 4.51 – Redução de energia conseguida com as luminárias do modelo Ampera.

	<b>Atual (HPS 250W)</b>	<b>Ampera (LEDs 75W)</b>
<b>Consumo anual (kWh)</b>	56544	16963
<b>Redução consumo (kWh)</b>	39581	
<b>Consumo anual (€)</b>	7.973 €	2.469 €
<b>Poupança conseguida (€)</b>	<b>5.505 €</b>	

Recorrendo as expressões (4-1), (4-2), (4-3), (4-4) e (4-5), no Quadro 4.52 são expostos os cálculos dos custos de investimento (substituição da placa de LEDs), da energia consumida e da manutenção ao longo dos 30 anos do investimento.

Quadro 4.52 – Estudo económico para a solução alternativa: (Schröder - Ampera).

Solução alternativa (Schröder - Ampera)									
Ano	Cinvest	CkWh	Cman	Cinv+Cman	Ctotais	Benefícios	Saldo	Acumulativo	
2015	0	€ 36.518	€ 2.469	€ 0	€ 36.518	€ 38.987	-€ 26.053	-€ 26.053	€ 38.987
2016	1	€ 0	€ 2.257	€ 0	€ 0	€ 2.257	€ 5.032	-€ 21.021	€ 41.244
2017	2	€ 0	€ 2.063	€ 0	€ 0	€ 2.063	€ 4.601	-€ 16.420	€ 43.307
2018	3	€ 0	€ 1.886	€ 0	€ 0	€ 1.886	€ 7.862	-€ 8.558	€ 45.193
2019	4	€ 0	€ 1.724	€ 0	€ 0	€ 1.724	€ 3.845	-€ 4.714	€ 46.917
2020	5	€ 0	€ 1.576	€ 0	€ 0	€ 1.576	€ 3.515	-€ 1.199	€ 48.493
2021	6	€ 0	€ 1.441	€ 0	€ 0	€ 1.441	€ 5.908	€ 4.710	€ 49.934
2022	7	€ 0	€ 1.317	€ 0	€ 0	€ 1.317	€ 2.937	€ 7.647	€ 51.252
2023	8	€ 0	€ 1.204	€ 0	€ 0	€ 1.204	€ 2.685	€ 10.332	€ 52.456
2024	9	€ 0	€ 1.101	€ 373	€ 373	€ 1.473	€ 4.069	€ 14.402	€ 53.930
2025	10	€ 0	€ 1.006	€ 0	€ 0	€ 1.006	€ 2.244	€ 16.646	€ 54.936
2026	11	€ 0	€ 920	€ 0	€ 0	€ 920	€ 2.052	€ 18.698	€ 55.856
2027	12	€ 0	€ 841	€ 0	€ 0	€ 841	€ 3.340	€ 22.038	€ 56.697
2028	13	€ 0	€ 769	€ 0	€ 0	€ 769	€ 1.715	€ 23.752	€ 57.466
2029	14	€ 0	€ 703	€ 0	€ 0	€ 703	€ 1.567	€ 25.320	€ 58.169
2030	15	€ 0	€ 643	€ 0	€ 0	€ 643	€ 2.513	€ 27.832	€ 58.812
2031	16	€ 0	€ 587	€ 0	€ 0	€ 587	€ 1.310	€ 29.142	€ 59.399
2032	17	€ 0	€ 537	€ 0	€ 0	€ 537	€ 1.198	€ 30.340	€ 59.936
2033	18	€ 0	€ 491	€ 0	€ 0	€ 491	€ 1.891	€ 32.231	€ 60.427
2034	19	€ 2.085	€ 449	€ 0	€ 2.085	€ 2.534	-€ 1.084	€ 31.147	€ 62.961
2035	20	€ 0	€ 410	€ 0	€ 0	€ 410	€ 915	€ 32.061	€ 63.371
2036	21	€ 0	€ 375	€ 0	€ 0	€ 375	€ 1.423	€ 33.485	€ 63.746
2037	22	€ 0	€ 343	€ 0	€ 0	€ 343	€ 765	€ 34.249	€ 64.089
2038	23	€ 0	€ 313	€ 0	€ 0	€ 313	€ 699	€ 34.948	€ 64.403
2039	24	€ 0	€ 287	€ 0	€ 0	€ 287	€ 1.071	€ 36.020	€ 64.689
2040	25	€ 0	€ 262	€ 0	€ 0	€ 262	€ 584	€ 36.604	€ 64.951
2041	26	€ 0	€ 240	€ 0	€ 0	€ 240	€ 534	€ 37.138	€ 65.191
2042	27	€ 0	€ 219	€ 60	€ 60	€ 279	€ 747	€ 37.885	€ 65.470
2043	28	€ 0	€ 200	€ 0	€ 0	€ 200	€ 446	€ 38.332	€ 65.670
2044	29	€ 0	€ 183	€ 0	€ 0	€ 183	€ 408	€ 38.740	<b>€ 65.853</b>

Para as luminárias modelo Ampera, é necessário ter em conta o investimento inicial de 36.518 €. No entanto durante os 30 anos de investimento existe apenas 1 troca da placa de LEDs e de 3 manutenções (nos anos 9, 19 e 27). O custo total do investimento é de 65.853 €, obtendo-se o retorno em **5 anos e 272 dias**.

#### 4.2.6 – Solução com luminária Arquiled, modelo Arquicity C10

Cada ponto de iluminação tem luminária do fabricante Arquiled (modelo Arquicity C10), com placa de LEDs de 123 W. O tempo de funcionamento anual, como referido no Quadro 4.33 é de 3.648 horas com controlo de ON/OFF realizado por relógio astronómico.

No Quadro 4.53 são expostos os dados relevantes da luminária, bem como os custos associados. Segundo o fabricante cada luminária já com a placa de LEDs incorporada tem um custo que ronda os 846 €. Apenas a placa de LEDs tem um preço unitário de 185 €. As empresas certificadas para executar a substituição com respectiva manutenção praticam um custo de aproximadamente de 35 € por ponto de iluminação <sup>(7)</sup>.

Segundo indicações do fabricante para satisfazer o nível de iluminação é necessário a manutenção de cada ponto de iluminação de 9 em 9 anos. Essa tem um custo unitário que ronda os 15 €.

Quadro 4.53 – Dados da análise económica do sistema alternativo (Arquicity C10).

Alternativa	P(W)	Vida útil (h)	Fluxo (lm)	Custo lum (€)	CLEDs (€)	Nº lum	Custo man ponto (€)	Custo subs/man ponto(€)
Arquicity C10	123	70000	11700	846 €	185 €	62	15 €	35 €

Nota: Preços com IVA à taxa de 23%.

Recorrendo à expressão (4-6), a vida útil de cada placa de LEDs é:

$$AV_u = \frac{VUL}{TFMA} \Leftrightarrow AV_u = \frac{70000}{3648} \Leftrightarrow AV_u = 19,2 \text{ anos}$$

A placa de LEDs tem uma vida útil de 19 anos e 73 dias. Antes deste período deve ser feita a sua substituição e manutenção para verificação do equipamento bem como a respetiva limpeza.

No Quadro 4.54 é exposto o cálculo mensal da energia consumida em horas de ponta, cheia e vazio, de acordo com a potência e número de luminárias bem como as horas de funcionamento por período, mencionados no Quadro 4.33.

A energia consumida anualmente pode ser calculada através do somatório da energia consumida em horas de ponta, cheia e vazio ou através da expressão (4-7):

$$EC_a = P_t \times TFMA \Leftrightarrow EC_a = (123W \times 62) \times 3648h \Leftrightarrow EC_a = 27819648Wh \Leftrightarrow EC_a = 27,82 \text{ MWh/ano.}$$

<sup>(7)</sup> Informação obtida pela EDP.

O custo anual da energia consumida foi obtido através do valor anterior e dos preços de referência mencionados no Quadro 4.29. Estes serviram igualmente de base para contabilizar o custo da potência contratada anualmente, bem como do imposto especial de consumo da eletricidade. O custo total anual é o somatório dos gastos referidos anteriormente.

Quadro 4.54 – Custo mensal do sistema Arquiled (modelo Arquicity C10 – 123W).

<b>Luminária modelo Arquicity C10 com placa de LEDs 123W</b>						
<b>Mês</b>	<b>Consumo por mês (kWh)</b>			<b>Custo por mês (kWh)</b>		
	Horas ponta	Horas cheia	Horas vazio	Horas ponta	Horas cheia	Horas vazio
<b>Jan</b>	473	355	2.009	96 €	57 €	190 €
<b>Fev</b>	427	320	1.815	87 €	52 €	172 €
<b>Mar</b>	473	355	2.009	96 €	57 €	190 €
<b>Abr</b>	0	114	1.716	0 €	18 €	162 €
<b>Mai</b>	0	118	1.773	0 €	19 €	168 €
<b>Jun</b>	0	114	1.716	0 €	18 €	162 €
<b>Jul</b>	0	118	1.773	0 €	19 €	168 €
<b>Ago</b>	0	118	1.773	0 €	19 €	168 €
<b>Set</b>	0	114	1.716	0 €	18 €	162 €
<b>Out</b>	473	355	2.009	96 €	57 €	190 €
<b>Nov</b>	458	343	1.945	93 €	55 €	184 €
<b>Dez</b>	473	355	2.009	96 €	57 €	190 €
<b>Total anual</b>	2.776	2.780	22.264	563 €	448 €	2.106 €
	27.820			3.118 €		
	<b>Potência Contratada (€)</b>			89 €		
	<b>Imposto Especial Consumo Eletricidade</b>			28 €		
	<b>IVA 23%</b>			744 €		
	<b>TOTAL ANUAL (€)</b>			<b>3.979 €</b>		

O Quadro 4.55 demonstra a redução do custo de energia conseguida com este tipo de luminária em comparação ao sistema atual.

Quadro 4.55 – Redução de energia conseguida com luminárias do modelo Arquicity C10.

	<b>Atual (HPS 250W)</b>	<b>Arquicity C10 (LEDs 123W)</b>
<b>Consumo anual (kWh)</b>	56544	27820
<b>Redução consumo (kWh)</b>	28724	
<b>Consumo anual (€)</b>	7.973 €	3.979 €
<b>Poupança conseguida (€)</b>	<b>3.995 €</b>	

Recorrendo as expressões (4-1), (4-2), (4-3), (4-4) e (4-5), no Quadro 4.56 são expostos os cálculos dos custos de investimento (substituição da placa de LEDs), da energia consumida e da manutenção ao longo dos 30 anos do investimento.

Quadro 4.56 – Estudo económico para a solução alternativa: (Arquiled - Arquicity C10).

Solução alternativa (ARQUILED ARQUICITY C10)									
Ano		Cinvest	CkWh	Cman	Cinv+Cman	Ctotais	Benefícios	Saldo	Acumulativo
2015	0	€ 54.622	€ 3.979	€ 0	€ 54.622	€ 58.601	-€ 45.667	-€ 45.667	€ 58.601
2016	1	€ 0	€ 3.637	€ 0	€ 0	€ 3.637	€ 3.652	-€ 42.015	€ 62.238
2017	2	€ 0	€ 3.325	€ 0	€ 0	€ 3.325	€ 3.339	-€ 38.676	€ 65.563
2018	3	€ 0	€ 3.040	€ 0	€ 0	€ 3.040	€ 6.708	-€ 31.968	€ 68.602
2019	4	€ 0	€ 2.779	€ 0	€ 0	€ 2.779	€ 2.790	-€ 29.178	€ 71.381
2020	5	€ 0	€ 2.540	€ 0	€ 0	€ 2.540	€ 2.551	-€ 26.627	€ 73.922
2021	6	€ 0	€ 2.322	€ 0	€ 0	€ 2.322	€ 5.027	-€ 21.600	€ 76.244
2022	7	€ 0	€ 2.123	€ 0	€ 0	€ 2.123	€ 2.132	-€ 19.468	€ 78.367
2023	8	€ 0	€ 1.941	€ 0	€ 0	€ 1.941	€ 1.949	-€ 17.519	€ 80.308
2024	9	€ 0	€ 1.774	€ 373	€ 373	€ 2.147	€ 3.396	-€ 14.124	€ 82.455
2025	10	€ 0	€ 1.622	€ 0	€ 0	€ 1.622	€ 1.629	-€ 12.495	€ 84.077
2026	11	€ 0	€ 1.483	€ 0	€ 0	€ 1.483	€ 1.489	-€ 11.006	€ 85.560
2027	12	€ 0	€ 1.356	€ 0	€ 0	€ 1.356	€ 2.826	-€ 8.180	€ 86.915
2028	13	€ 0	€ 1.239	€ 0	€ 0	€ 1.239	€ 1.244	-€ 6.936	€ 88.154
2029	14	€ 0	€ 1.133	€ 0	€ 0	€ 1.133	€ 1.138	-€ 5.798	€ 89.287
2030	15	€ 0	€ 1.036	€ 0	€ 0	€ 1.036	€ 2.120	-€ 3.679	€ 90.323
2031	16	€ 0	€ 947	€ 0	€ 0	€ 947	€ 951	-€ 2.728	€ 91.270
2032	17	€ 0	€ 866	€ 0	€ 0	€ 866	€ 869	-€ 1.859	€ 92.135
2033	18	€ 0	€ 791	€ 0	€ 0	€ 791	€ 1.590	-€ 269	€ 92.927
2034	19	€ 1.977	€ 723	€ 0	€ 1.977	€ 2.700	-€ 1.251	-€ 1.519	€ 95.627
2035	20	€ 0	€ 661	€ 0	€ 0	€ 661	€ 664	-€ 855	€ 96.288
2036	21	€ 0	€ 605	€ 0	€ 0	€ 605	€ 1.194	€ 338	€ 96.893
2037	22	€ 0	€ 553	€ 0	€ 0	€ 553	€ 555	€ 893	€ 97.445
2038	23	€ 0	€ 505	€ 0	€ 0	€ 505	€ 507	€ 1.400	€ 97.951
2039	24	€ 0	€ 462	€ 0	€ 0	€ 462	€ 896	€ 2.297	€ 98.412
2040	25	€ 0	€ 422	€ 0	€ 0	€ 422	€ 424	€ 2.721	€ 98.835
2041	26	€ 0	€ 386	€ 0	€ 0	€ 386	€ 388	€ 3.108	€ 99.221
2042	27	€ 0	€ 353	€ 60	€ 60	€ 413	€ 613	€ 3.722	€ 99.633
2043	28	€ 0	€ 323	€ 0	€ 0	€ 323	€ 324	€ 4.045	€ 99.956
2044	29	€ 0	€ 295	€ 0	€ 0	€ 295	€ 296	€ 4.342	€ 100.251

Para as luminárias modelo Arquicity C10, é necessário ter em conta o investimento inicial de 54.622 €. No entanto durante os 30 anos de investimento existe apenas 1 troca da placa de LEDs e de 3 manutenções (nos anos 9, 19 e 27). O custo total do investimento é de 100.251 €, obtendo-se o retorno em **21 anos e 203 dias**.

### 4.2.7 – Solução com luminária Lutche, modelo Almenara Plus

Cada ponto de iluminação tem luminária do fabricante Luche (modelo Almenara Plus), com placa de LEDs de 143 W. O tempo de funcionamento anual, como referido no Quadro 4.33 é de 3.648 horas com controlo de ON/OFF realizado por relógio astronómico.

No Quadro 4.57 são expostos os dados relevantes da luminária, bem como os custos associados. Segundo o fabricante cada luminária já com a placa de LEDs incorporada tem um custo que ronda os 982 €. Apenas a placa de LEDs tem um preço unitário de 197 €. As empresas certificadas para executar a substituição com respectiva manutenção praticam um custo de aproximadamente de 35 € por ponto de iluminação <sup>(8)</sup>.

Segundo indicações do fabricante para satisfazer o nível de iluminação é necessário a manutenção de cada ponto de iluminação de 7 em 7 anos. Essa tem um custo unitário que ronda os 15 €.

Quadro 4.57 – Dados da análise económica do sistema alternativo (Almenara Plus).

Alternativa	P(W)	Vida útil (h)	Fluxo (lm)	Custo lum (€)	CLEDs (€)	Nº lum	Custo man ponto (€)	Custo subs/man ponto(€)
Almenara Plus	143	50000	12314	982 €	197 €	62	15 €	35 €

Nota: Preços com IVA à taxa de 23%.

Recorrendo à expressão (4-6), a vida útil de cada placa de LEDs é:

$$AV_u = \frac{VUL}{TFMA} \Leftrightarrow AV_u = \frac{50000}{3648} \Leftrightarrow AV_u = 13,7 \text{ anos}$$

A placa de LEDs tem uma vida útil de 13 anos e 256 dias. Antes deste período deve ser feita a sua substituição e manutenção para verificação do equipamento bem como a respetiva limpeza.

No Quadro 4.58 é exposto o cálculo mensal da energia consumida em horas de ponta, cheia e vazio, de acordo com a potência e número de luminárias bem como as horas de funcionamento por período, mencionados no Quadro 4.33.

A energia consumida anualmente pode ser calculada através do somatório da energia consumida em horas de ponta, cheia e vazio ou através da expressão (4-7):

$$EC_a = P_t \times TFMA \Leftrightarrow EC_a = (143W \times 62) \times 3648h \Leftrightarrow EC_a = 32343168Wh \Leftrightarrow EC_a = 32,34 \text{ MWh/ano.}$$

<sup>(8)</sup> Informação obtida pela EDP.

O custo anual da energia consumida foi obtido através do valor anterior e dos preços de referência mencionados no Quadro 4.29. Estes serviram igualmente de base para contabilizar o custo da potência contratada anualmente, bem como do imposto especial de consumo da eletricidade. O custo total anual é o somatório dos gastos referidos anteriormente.

Quadro 4.58 – Custo mensal do sistema Luche (modelo Almenara Plus) com LEDs 143W.

<b>Luminária modelo Almenara Plus com placa de LEDs 143W</b>						
<b>Mês</b>	<b>Cálculo por mês (kWh)</b>			<b>Cálculo por mês (kWh)</b>		
	Horas ponta	Horas cheia	Horas vazio	Horas ponta	Horas cheia	Horas vazio
<b>Jan</b>	550	412	2.336	112 €	66 €	221 €
<b>Fev</b>	496	372	2.110	101 €	60 €	200 €
<b>Mar</b>	550	412	2.336	112 €	66 €	221 €
<b>Abr</b>	0	133	1.995	0 €	21 €	189 €
<b>Mai</b>	0	137	2.061	0 €	22 €	195 €
<b>Jun</b>	0	133	1.995	0 €	21 €	189 €
<b>Jul</b>	0	137	2.061	0 €	22 €	195 €
<b>Ago</b>	0	137	2.061	0 €	22 €	195 €
<b>Set</b>	0	133	1.995	0 €	21 €	189 €
<b>Out</b>	550	412	2.336	112 €	66 €	221 €
<b>Nov</b>	532	399	2.261	108 €	64 €	214 €
<b>Dez</b>	550	412	2.336	112 €	66 €	221 €
<b>Total anual</b>	3.227	3.232	25.884	655 €	521 €	2.449 €
	32.343			3.625 €		
	<b>Potência Contratada (€)</b>			89 €		
	<b>Imposto Especial Consumo Eletricidade</b>			32 €		
	<b>IVA 23%</b>			862 €		
	<b>TOTAL ANUAL (€)</b>			<b>4.608 €</b>		

O Quadro 4.59 demonstra a redução do custo de energia conseguida com este tipo de luminária em comparação ao sistema atual.

Quadro 4.59 – Redução de energia conseguida com luminárias do modelo Almenara Plus.

	<b>Atual (HPS 250W)</b>	<b>Almenara Plus (LEDs 143W)</b>
<b>Consumo anual (kWh)</b>	56544	32343
<b>Redução consumo (kWh)</b>	24201	
<b>Consumo anual (€)</b>	7.973 €	4.608 €
<b>Poupança conseguida (€)</b>	<b>3.366 €</b>	

Recorrendo as expressões (4-1), (4-2), (4-3), (4-4) e (4-5), no Quadro 4.60 são expostos os cálculos dos custos de investimento (substituição da placa de LEDs), da energia consumida e da manutenção ao longo dos 30 anos do investimento.

Quadro 4.60 – Estudo económico para a solução alternativa: (Luche - Almenara Plus).

Solução alternativa (Luche - Almenara Plus)									
Ano	Cinvest	CkWh	Cman	Cinv+Cman	Ctotais	Benefícios	Saldo	Acumulativo	
2015	0	€ 63.054	€ 4.608	€ 0	€ 63.054	€ 67.662	-€ 54.728	-€ 54.728	€ 67.662
2016	1	€ 0	€ 4.212	€ 0	€ 0	€ 4.212	€ 3.077	-€ 51.651	€ 71.874
2017	2	€ 0	€ 3.851	€ 0	€ 0	€ 3.851	€ 2.813	-€ 48.838	€ 75.725
2018	3	€ 0	€ 3.520	€ 0	€ 0	€ 3.520	€ 6.228	-€ 42.611	€ 79.245
2019	4	€ 0	€ 3.218	€ 0	€ 0	€ 3.218	€ 2.351	-€ 40.260	€ 82.463
2020	5	€ 0	€ 2.942	€ 0	€ 0	€ 2.942	€ 2.149	-€ 38.111	€ 85.405
2021	6	€ 0	€ 2.690	€ 0	€ 0	€ 2.690	€ 4.660	-€ 33.451	€ 88.095
2022	7	€ 0	€ 2.459	€ 457	€ 457	€ 2.915	€ 1.340	-€ 32.111	€ 91.010
2023	8	€ 0	€ 2.248	€ 0	€ 0	€ 2.248	€ 1.642	-€ 30.469	€ 93.258
2024	9	€ 0	€ 2.055	€ 0	€ 0	€ 2.055	€ 3.488	-€ 26.982	€ 95.313
2025	10	€ 0	€ 1.879	€ 0	€ 0	€ 1.879	€ 1.372	-€ 25.609	€ 97.191
2026	11	€ 0	€ 1.717	€ 0	€ 0	€ 1.717	€ 1.254	-€ 24.355	€ 98.909
2027	12	€ 0	€ 1.570	€ 0	€ 0	€ 1.570	€ 2.611	-€ 21.744	€ 100.479
2028	13	€ 0	€ 1.435	€ 0	€ 0	€ 1.435	€ 1.048	-€ 20.695	€ 101.914
2029	14	€ 3.466	€ 1.312	€ 0	€ 3.466	€ 4.778	-€ 2.507	-€ 23.203	€ 106.692
2030	15	€ 0	€ 1.199	€ 0	€ 0	€ 1.199	€ 1.956	-€ 21.247	€ 107.891
2031	16	€ 0	€ 1.097	€ 0	€ 0	€ 1.097	€ 801	-€ 20.446	€ 108.988
2032	17	€ 0	€ 1.002	€ 0	€ 0	€ 1.002	€ 732	-€ 19.714	€ 109.990
2033	18	€ 0	€ 916	€ 0	€ 0	€ 916	€ 1.465	-€ 18.249	€ 110.906
2034	19	€ 0	€ 838	€ 0	€ 0	€ 838	€ 612	-€ 17.637	€ 111.744
2035	20	€ 0	€ 766	€ 0	€ 0	€ 766	€ 559	-€ 17.077	€ 112.510
2036	21	€ 0	€ 700	€ 0	€ 0	€ 700	€ 1.098	-€ 15.979	€ 113.210
2037	22	€ 0	€ 640	€ 0	€ 0	€ 640	€ 468	-€ 15.512	€ 113.850
2038	23	€ 0	€ 585	€ 90	€ 90	€ 675	€ 338	-€ 15.174	€ 114.525
2039	24	€ 0	€ 535	€ 0	€ 0	€ 535	€ 823	-€ 14.351	€ 115.060
2040	25	€ 0	€ 489	€ 0	€ 0	€ 489	€ 357	-€ 13.994	€ 115.549
2041	26	€ 0	€ 447	€ 0	€ 0	€ 447	€ 327	-€ 13.667	€ 115.996
2042	27	€ 0	€ 409	€ 0	€ 0	€ 409	€ 617	-€ 13.050	€ 116.405
2043	28	€ 0	€ 374	€ 0	€ 0	€ 374	€ 273	-€ 12.777	€ 116.778
2044	29	€ 0	€ 342	€ 0	€ 0	€ 342	€ 249	-€ 12.527	<b>€ 117.120</b>

Para as luminárias modelo Almenara Plus, é necessário ter em conta o investimento inicial de 63.054 €. No entanto durante os 30 anos de investimento existe apenas 1 troca da placa de LEDs e de 3 manutenções (nos anos 7, 14 e 23). O custo total do investimento é de **117.120 €**, e **não se alcança** o retorno do investimento durante os 30 anos.

#### 4.2.8 – Luminária Schröder, modelo Ampera com regulação do fluxo luminoso ou *dimming*

Se for aplicado o sistema de gestão de energia com as luminárias Ampera, exposto no Anexo 2, é possível efetuar uma redução no consumo. Este sistema permite até 5 combinações de intervalo de tempo e níveis luminosos. Garante a adaptação do nível de iluminação adequado para as necessidades do local e dos diferentes períodos noturnos.

O Quadro 4.61 demonstra a distribuição horária das horas de ponta, cheia e vazio, para as horas de funcionamento por luminária, durante o período de Verão e Inverno.

Quadro 4.61 – Horas de funcionamento, no período Verão e Inverno com *dimming*.

Período (h)	Período Verão		Período Inverno	
	Variação (%)	horas	Variação (%)	horas
18:30	0		50	Ponta
19:00	0		70	Ponta
19:30	0		100	Ponta
20:00	0		100	Ponta
20:30	0		100	Cheias
21:00	0		100	Cheias
21:30	50	Cheias	100	Cheias
22:00	70	Vazio	100	Vazio
22:30	100	Vazio	70	Vazio
23:00	100	Vazio	50	Vazio
23:30	70	Vazio	20	Vazio
00:00	50	Vazio	20	Vazio
00:30	20	Vazio	20	Vazio
01:00	20	Vazio	20	Vazio
01:30	20	Vazio	20	Vazio
02:00	20	Vazio	20	Vazio
02:30	20	Vazio	20	Vazio
03:00	20	Vazio	20	Vazio
03:30	20	Vazio	20	Vazio
04:00	50	Vazio	70	Vazio
04:30	70	Vazio	100	Vazio
05:00	100	Vazio	100	Vazio
05:30	0		100	Vazio
06:00	0		50	Vazio
<b>Média</b>	<b>50%</b>		<b>60%</b>	
<b>Horas Func</b>		<b>8 h</b>		<b>12 h</b>

A partir do Quadro 4.61 é possível concluir que no Verão cada luminária está a consumir 50% da sua potência máxima durante as 8 horas de funcionamento e no Inverno a 60% da sua potência nas 12 horas de funcionamento. O que corresponde a uma média global diária de aproximadamente 56% da potência nominal instalada. Assim para uma luminária com placa de LEDs de 75W, passa apenas a consumir uma potência de 42 W ( $0,56 \times 75$ ).

O sistema *dimming* consegue minimizar o consumo nas horas noturnas com pouco ou nenhum movimento no troço viário. Alguns municípios para poupar energia durante estas horas desligam metade ou mesmo a totalidade da iluminação. Com base nos perfis da redução do fluxo luminoso apresentados pelo fabricante, nestes períodos cada luminária passará a consumir 20% da sua potência.

Nas Figuras 4.13 e 4.14 é possível comparar o tempo funcionamento nos períodos de Verão e de Inverno, de cada luminária, com ou sem *dimming*.

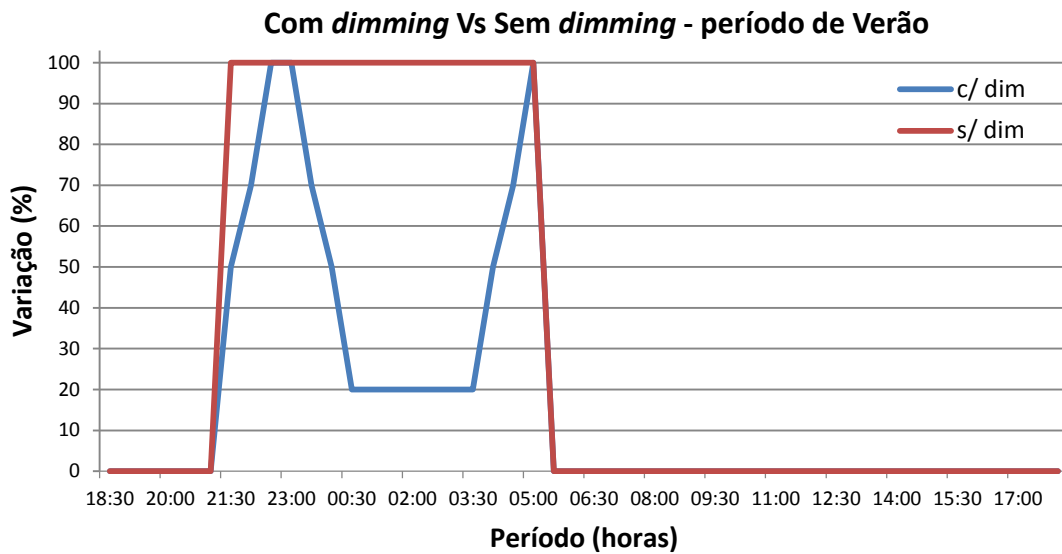


Figura 4.13 – Período de Verão – comparação do funcionamento com e sem *dimming*.

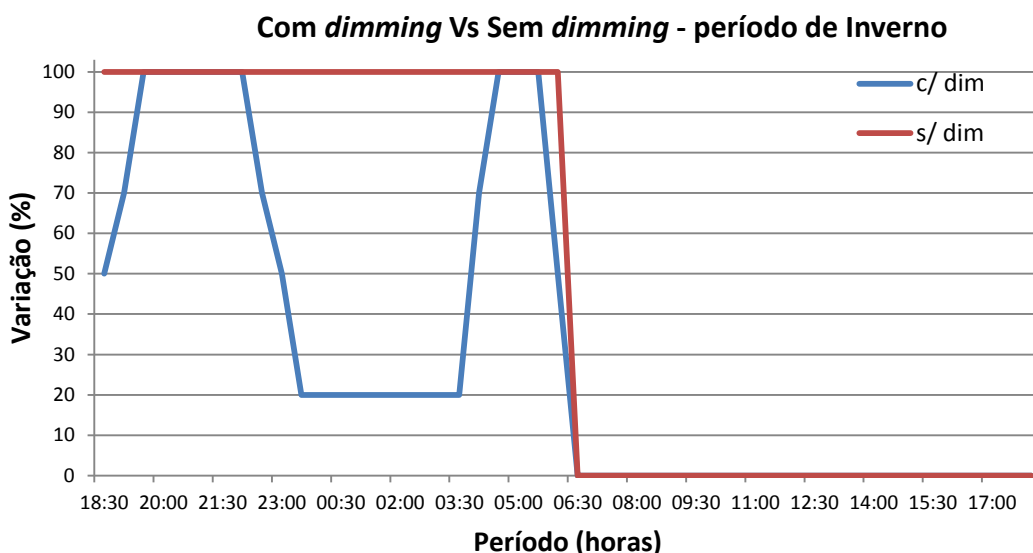


Figura 4.14 – Período de Inverno – comparação do funcionamento com e sem *dimming*.

Com esta solução cada ponto de iluminação tem luminária Schröder, modelo Ampera, com uma potência de 75 W. Aplicando o *dimming* consome apenas 56% da sua potência, ou 42 W efetivos. O tempo de funcionamento anual, como referido no Quadro 4.33 é de 3.648 horas com controlo de Gestão de Energia Ponto a Ponto, *Owlet Nightshift*, exposto no Anexo 2.

No Quadro 4.62 são expostos os dados relevantes da luminária e do sistema *dimming*, bem como os custos associados. Segundo o fabricante cada luminária já com a placa de LEDs incorporada tem um custo que ronda os 554 €. Apenas a placa de LEDs tem um preço unitário de 197 €. As empresas certificadas para executar a substituição com respectiva manutenção praticam um custo de aproximadamente de 35 € por ponto de iluminação <sup>(9)</sup>.

Segundo indicações do fabricante para manter o nível de iluminação é necessário realizar a manutenção de cada ponto de 8 em 8 anos. Essa tem um custo unitário que ronda os 15 €. O custo total do sistema *dimming* ronda os 2.270 € (inclui o controlador central de 1.350 € e os custos dos controladores, de 115 € por cada 8 luminárias).

Quadro 4.62 – Dados da análise económica do sistema alternativo (Ampera *dimming*).

Alternativa	P (W)	Vida útil (h)	Fluxo (lm)	Custo lum (€)	CLEDs (€)	Nº lum	Custo man ponto (€)	Custo subs/man ponto (€)	C <i>dimming</i>
Ampera dim	42	70000	9197	554 €	197 €	62	15 €	35 €	2270 €

Nota: Preços com IVA à taxa de 23%.

Recorrendo à expressão (4-6), a vida útil de cada placa de LEDs é:

$$AV_u = \frac{VUL}{TFMA} \Leftrightarrow AV_u = \frac{70000}{3648} \Leftrightarrow AV_u = 19,2 \text{ anos}$$

A placa de LEDs tem uma vida útil de 19 anos e 73 dias. Antes deste período deve ser feita a sua substituição e manutenção para verificação do equipamento bem como a respetiva limpeza.

No Quadro 4.63 é exposto o cálculo mensal da energia consumida em horas de ponta, cheia e vazio, de acordo com a potência e número de luminárias bem como as horas de funcionamento por período, mencionados no Quadro 4.33.

A energia consumida anualmente pode ser calculada através do somatório da energia consumida em horas de ponta, cheia e vazio ou através da expressão (4-8):

$$EC_a = P_t \times TFMA \Leftrightarrow EC_a = (75W * 0,56 * 62) \times 3648h \Leftrightarrow EC_a = 9499392Wh \Leftrightarrow EC_a = 9,5 \text{ MWh/ano.}$$

<sup>(9)</sup> Informação obtida pela EDP.

O custo anual da energia consumida foi obtido através do valor anterior e dos preços de referência mencionados no Quadro 4.29. Estes serviram igualmente de base para contabilizar o custo da potência contratada anualmente, bem como do imposto especial de consumo da eletricidade. O custo total anual é o somatório dos gastos referidos anteriormente.

Quadro 4.63 – Custo mensal do sistema Schröder (Ampera *dimming*) com LEDs 42 W.

Luminária Ampera <i>dimming</i> com placa de LEDs 42W						
Mês	Consumo por mês (kWh)			Custo por mês (kWh)		
	Horas ponta	Horas cheia	Horas vazio	Horas ponta	Horas cheia	Horas vazio
Jan	161	121	686	33 €	20 €	65 €
Fev	146	109	620	30 €	18 €	59 €
Mar	161	121	686	33 €	20 €	65 €
Abr	0	39	586	0 €	6 €	55 €
Mai	0	40	605	0 €	7 €	57 €
Jun	0	39	586	0 €	6 €	55 €
Jul	0	40	605	0 €	7 €	57 €
Ago	0	40	605	0 €	7 €	57 €
Set	0	39	586	0 €	6 €	55 €
Out	161	121	686	33 €	20 €	65 €
Nov	156	117	664	32 €	19 €	63 €
Dez	161	121	686	33 €	20 €	65 €
Total anual	948	949	7.602	192 €	153 €	719 €
	9.499			1.065 €		
Potência Contratada (€)				89 €		
Imposto Especial Consumo Eletricidade				9 €		
IVA 23%				268 €		
<b>TOTAL ANUAL (€)</b>				<b>1.431 €</b>		

O Quadro 4.64 demonstra a redução do custo de energia conseguida com este tipo de luminária em comparação ao sistema atual.

Quadro 4.64 – Redução de custo anual conseguida com as luminárias do modelo Ampera com *dimming*.

	Atual (HPS 250W)	Ampera <i>dimming</i> (LEDs 75W)
Consumo anual (kWh)	56544	9499
Redução consumo (kWh)	47045	
Consumo anual (€)	7.973 €	1.431 €
Poupança conseguida (€)	6.543 €	

Recorrendo as expressões (4-1), (4-2), (4-3), (4-4) e (4-5), no Quadro 4.65 são expostos os cálculos dos custos de investimento (substituição da placa de LEDs), da energia consumida e da manutenção ao longo dos 30 anos do investimento.

Quadro 4.65 – Estudo económico para a solução (Schröder – Ampera com *dimming*).

Solução alternativa (Schröder - Ampera com dimming)									
Ano	Cinvest	CkWh	Cman	Cinv+Cman	Ctotais	Benefícios	Saldo	Acumulativo	
2015	0	€ 38.788	€ 1.431	€ 0	€ 38.788	€ 40.219	-€ 27.285	-€ 27.285	€ 40.219
2016	1	€ 0	€ 1.308	€ 0	€ 0	€ 1.308	€ 5.981	-€ 21.304	€ 41.527
2017	2	€ 0	€ 1.196	€ 0	€ 0	€ 1.196	€ 5.468	-€ 15.836	€ 42.722
2018	3	€ 0	€ 1.093	€ 0	€ 0	€ 1.093	€ 8.655	-€ 7.181	€ 43.815
2019	4	€ 0	€ 999	€ 0	€ 0	€ 999	€ 4.570	-€ 2.611	€ 44.814
2020	5	€ 0	€ 913	€ 0	€ 0	€ 913	€ 4.178	€ 1.567	€ 45.728
2021	6	€ 0	€ 835	€ 0	€ 0	€ 835	€ 6.514	€ 8.081	€ 46.563
2022	7	€ 0	€ 763	€ 0	€ 0	€ 763	€ 3.491	€ 11.572	€ 47.327
2023	8	€ 0	€ 698	€ 0	€ 0	€ 698	€ 3.192	€ 14.764	€ 48.024
2024	9	€ 0	€ 638	€ 373	€ 373	€ 1.011	€ 4.532	€ 19.296	€ 49.035
2025	10	€ 0	€ 583	€ 0	€ 0	€ 583	€ 2.667	€ 21.964	€ 49.618
2026	11	€ 0	€ 533	€ 0	€ 0	€ 533	€ 2.439	€ 24.402	€ 50.151
2027	12	€ 0	€ 487	€ 0	€ 0	€ 487	€ 3.694	€ 28.096	€ 50.639
2028	13	€ 0	€ 446	€ 0	€ 0	€ 446	€ 2.038	€ 30.134	€ 51.085
2029	14	€ 0	€ 407	€ 0	€ 0	€ 407	€ 1.863	€ 31.997	€ 51.492
2030	15	€ 0	€ 372	€ 0	€ 0	€ 372	€ 2.783	€ 34.780	€ 51.864
2031	16	€ 0	€ 340	€ 0	€ 0	€ 340	€ 1.557	€ 36.337	€ 52.205
2032	17	€ 0	€ 311	€ 0	€ 0	€ 311	€ 1.423	€ 37.760	€ 52.516
2033	18	€ 0	€ 285	€ 0	€ 0	€ 285	€ 2.097	€ 39.857	€ 52.801
2034	19	€ 2.085	€ 260	€ 0	€ 2.085	€ 2.345	-€ 895	€ 38.962	€ 55.146
2035	20	€ 0	€ 238	€ 0	€ 0	€ 238	€ 1.087	€ 40.049	€ 55.383
2036	21	€ 0	€ 217	€ 0	€ 0	€ 217	€ 1.581	€ 41.630	€ 55.601
2037	22	€ 0	€ 199	€ 0	€ 0	€ 199	€ 909	€ 42.539	€ 55.799
2038	23	€ 0	€ 182	€ 0	€ 0	€ 182	€ 831	€ 43.370	€ 55.981
2039	24	€ 0	€ 166	€ 0	€ 0	€ 166	€ 1.192	€ 44.562	€ 56.147
2040	25	€ 0	€ 152	€ 0	€ 0	€ 152	€ 694	€ 45.256	€ 56.299
2041	26	€ 0	€ 139	€ 0	€ 0	€ 139	€ 635	€ 45.891	€ 56.438
2042	27	€ 0	€ 127	€ 60	€ 60	€ 187	€ 839	€ 46.730	€ 56.624
2043	28	€ 0	€ 116	€ 0	€ 0	€ 116	€ 531	€ 47.261	€ 56.740
2044	29	€ 0	€ 106	€ 0	€ 0	€ 106	€ 485	€ 47.746	€ 56.847

Para as luminárias modelo Ampera é necessário ter em conta o investimento inicial na aquisição das luminárias, com respetiva substituição/manutenção e no sistema *dimming*, 38.788 €. No entanto durante os 30 anos de investimento existe apenas 1 troca da placa de LEDs e de 3 manutenções (nos anos 9, 19 e 27). O custo total do investimento é de 56.847 €, obtendo-se o retorno em **5 anos e 87 dias**.

No Quadro 4.66 é feita uma comparação nos períodos de Verão e de Inverno com sistema com e sem *dimming*.

Quadro 4.66 – Comparação do período de funcionamento com e sem *dimming*.

Período (h)	Período Verão				Período Inverno			
	c/ dim (%)	Pot (W)	s/ dim (%)	Pot (W)	c/ dim (%)	Pot (W)	s/ dim (%)	Pot (W)
18:30	0	0	0	0	50	37.5	100	75
19:00	0	0	0	0	70	52.5	100	75
19:30	0	0	0	0	100	75	100	75
20:00	0	0	0	0	100	75	100	75
20:30	0	0	0	0	100	75	100	75
21:00	0	0	0	0	100	75	100	75
21:30	50	37.5	100	75	100	75	100	75
22:00	70	52.5	100	75	100	75	100	75
22:30	100	75	100	75	70	52.5	100	75
23:00	100	75	100	75	50	37.5	100	75
23:30	70	52.5	100	75	20	15	100	75
00:00	50	37.5	100	75	20	15	100	75
00:30	20	15	100	75	20	15	100	75
01:00	20	15	100	75	20	15	100	75
01:30	20	15	100	75	20	15	100	75
02:00	20	15	100	75	20	15	100	75
02:30	20	15	100	75	20	15	100	75
03:00	20	15	100	75	20	15	100	75
03:30	20	15	100	75	20	15	100	75
04:00	50	37.5	100	75	70	52.5	100	75
04:30	70	52.5	100	75	100	75	100	75
05:00	100	75	100	75	100	75	100	75
05:30	0	0	0	0	100	75	100	75
06:00	0	0	0	0	50	37.5	100	75
<b>Média</b>	<b>50 %</b>	<b>37,5 W</b>	<b>100 %</b>	<b>75 W</b>	<b>60 %</b>	<b>45 W</b>	<b>100 %</b>	<b>75 W</b>
<b>Horas Func</b>		<b>8 h</b>		<b>8 h</b>		<b>12 h</b>		<b>12 h</b>

#### 4.2.8 – Comparação de Resultados

O Quadro 4.67 sintetiza as características dos diferentes sistemas de iluminação.

Quadro 4.67 – Características dos diferentes sistemas de iluminação.

Atual	P(W)	Vida útil (h)	Fluxo (lm)	Custo Luminária	Custo lâmpada	Custo <i>dimming</i>
Onyx 2	250	10000	33200	615 €	45 €	-
Remodelação	P(W)	Vida útil (h)	Fluxo (lm)	Custo Luminária	Custo lâmpada	Custo <i>dimming</i>
Onyx 2 - HPS150W	150	10000	17500	615 €	40 €	-
Alternativas	P(W)	Vida útil (h)	Fluxo (lm)	Custo Luminária	Custo placa LEDs	Custo <i>dimming</i>
Piano	75	60000	9197	756 €	229 €	-
Teceo	75	60000	9197	664 €	180 €	-
Ampera	75	70000	9197	554 €	197 €	-
C10	123	70000	11700	846 €	185 €	-
Almenara Plus	143	50000	12314	982 €	197 €	-
Ampera com <i>dimming</i>	42	70000	9197	554 €	197 €	2270 €

Nota: Preços com IVA à taxa de 23%.

No Quadro 4.68 podem comparar-se as diferentes alternativas em estudo.

Como foi referido anteriormente, com o *mix* de geração nacional considerado, o consumo de 1kWh corresponde à emissão de 135 gCO<sub>2</sub>. As tendências apontam para que este valor tenda a diminuir devido à utilização cada vez maior das energias renováveis no futuro.

Quadro 4.68 – Síntese comparativa das diferentes soluções de iluminação.

	Atual	Onyx 2	Piano	Teceo	Ampera	Ampera dim	C10	Alm. Plus
<b>Potência (W)</b>	250	150	75	75	75	42	123	143
<b>Investimento inicial (€)</b>	4.960 €	4.650 €	49.042 €	43.338 €	36.518 €	38.788 €	54.622 €	63.054 €
<b>Investimento 30anos (€)</b>	17.976 €	16.853 €	52.754 €	46.452 €	39.035 €	41.305 €	57.031 €	67.066 €
<b>Consumo anual (kWh)</b>	56544	33926	16963	16963	16963	9499	27820	32343
<b>Consumo anual (€)</b>	7.973 €	4.828 €	2.469 €	2.469 €	2.469 €	1.431 €	3.979 €	4.608 €
<b>Redução consumo anual (kWh)</b>	-	22618	39581	39581	39581	47045	28724	24201
<b>Redução consumo anual (€)</b>	-	3.146 €	5.505 €	5.505 €	5.505 €	6.543 €	3.995 €	3.366 €
<b>Redução consumo anual (%)</b>	-	39 %	69 %	69 %	69 %	82 %	50 %	42 %
<b>VAL (€)</b>	104.592 €	69.298 €	79.571 €	73.270 €	65.853 €	56.847 €	100.251 €	117.120 €
<b>Valor (%) relativamente ao VAL inicial</b>	-	66%	76%	70%	63%	54%	96%	112%
<b>Retorno de investimento (anos)</b>	-	Imediato	9a 83d	7a 106d	5a 272d	5a 87d	21a 203d	Não tem
<b>Emissões anuais de Ton. CO<sub>2</sub></b>	7,63	4,58	2,29	2,29	2,29	1,28	3,76	4,37
<b>Redução de emissões de Ton. CO<sub>2</sub></b>	-	3,05	5,34	5,34	5,34	6,35	3,88	3,27

Através do Quadro 4.68 e da Figura 4.15 pode concluir-se que, o retorno do investimento estudado com a melhor solução ronda os 5 anos. Tal deve-se à maior eficiência energética, à regulação do fluxo luminoso nas horas sem tráfego e à redução nos custos de manutenção.

O investimento inicial da solução ganhadora (Ampera da Schröder, com sistema *dimming*) é de 38.788 €, com apenas uma troca de placa de LEDs, obtendo um retorno de investimento de 5 anos e 87 dias e uma redução anual de 6,35 Ton. nas emissões de CO<sub>2</sub>. O custo do investimento ao fim de 30 anos é de 56.847 €.

No Quadro 4.69 é exposto o resultado global alcançável para cada investimento, bem como o ganho económico ordenado pelo seu grau de mérito. A solução ganhadora é a luminária Schröder, modelo Ampera com *dimming*, com um VAL de 56.847 € e com um ganho económico de 47.746 € (VAL Onyx 2 HPS 250W – VAL Ampera *dimming*) relativamente à situação atual nos 30 anos de duração esperada para o investimento.

Quadro 4.69 – Ganho económico de cada solução de IP.

Alternativas	Retorno do investimento	VAL	Ganho económico (€)
Atual – Onyx 2 HPS 250W	-	104.592 €	- €
Ampera dim	5a 87d	56.847 €	<b>47.746 €</b>
Ampera	5a 272d	65.853 €	38.740 €
Onyx 2 HPS 150W	Imediato	69.298 €	35.294 €
Teceo	7a 106d	73.270 €	31.322 €
Piano	9a 83d	79.571 €	25.021 €
C10	21a 203d	100.251 €	4.342 €
Almenara Plus	Não tem	117.120 €	-12.527 €

Comparando ainda os resultados da luminária Schröder (modelo Ampera com *dimming*) com a Onyx 2 HPS 150W, existe um ganho económico do sistema LED com regulação de fluxo luminoso (ver nota **A** na Figura 4.15) de 12.451 € (VAL Onyx 2 HPS 150W – VAL Ampera *dimming*) nos 30 anos de duração do investimento, obtendo o retorno do investimento ao fim de 11 anos e 258 dias (ver ponto **B** na Figura 4.15).

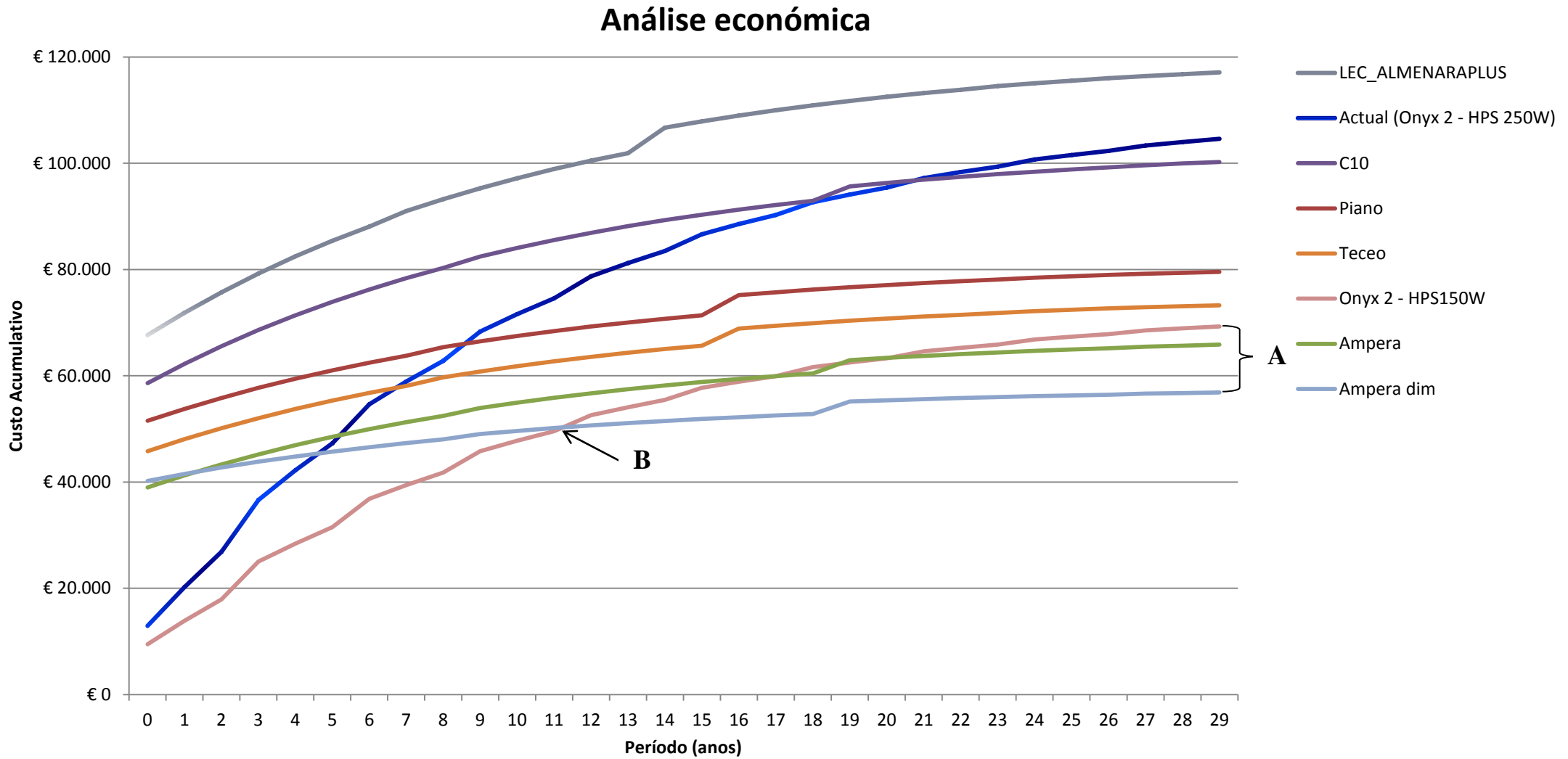


Figura 4.15 – Evolução temporal dos custos para os diferentes sistemas de iluminação em estudo.



## 5. Conclusão

A gestão dos sistemas de IP das cidades é de tal forma relevante nos orçamentos dos municípios que a sua optimização se tornou fundamental.

Uma instalação de IP está sujeita ao cumprimento de normas, nomeadamente a EN 13201, que determina o tipo e a intensidade de iluminação na via consoante a sua utilização.

A manutenção das luminárias é por vezes descuidada, sendo esse facto responsável por desperdício significativo de energia nas luminárias.

Com este trabalho concluímos que a substituição do sistema de IP atual pela melhor alternativa encontrada permite em simultâneo, uma diminuição muito significativa do consumo de energia bem como das emissões de CO<sub>2</sub>, que originam vantagens ao nível económico e ambiental para o município e para a sociedade.

Para os 30 anos de investimento, a situação atual gera um custo de 104.592 €, com um consumo anual de 56.544 kWh e emissões de CO<sub>2</sub> de 7,63 Ton. Com base nestes resultados, foram confrontados os desempenhos económico e ambiental das sete soluções de IP alternativas, assentes na redução da potência das lâmpadas com a tecnologia atualmente instalada e em tecnologia LED. Ordenando-as pelo seu grau de mérito podemos concluir que:

1. A solução vencedora é o sistema com base na luminária Schröder, modelo Ampera com dimming. Esta exige um investimento inicial de 38.788 €, possui um consumo anual de 9.499 kWh (16,8% do consumo da situação atual) e uma redução de 6,35 Ton. no CO<sub>2</sub> emitido. O VAL esperado é de 56.847 €, obtendo-se o retorno do investimento em 5 anos e 87 dias e um ganho económico de 47.746 € no tempo de vida do projeto.
2. Optando pelo sistema com luminária Schröder, modelo Ampera mas sem dimming, é necessário um investimento inicial 36.518 €, com um consumo anual de 16.963 kWh (30% do consumo da situação atual) e uma redução e 5,34 Ton. no CO<sub>2</sub> emitido. O VAL

previsto é de 65.853 €, obtendo-se o retorno de investimento em 5 anos e 272 dias e um ganho económico de 38.740 €.

3. A redução da potência das lâmpadas com a tecnologia atualmente instalada (luminária Onyx 2 da Schröder com lâmpadas de 150 W), tem um investimento inicial de 4.650 €, com um consumo anual de 33.926 kWh (60% do consumo da situação atual) e uma redução de 3,05 Ton. no CO<sub>2</sub> emitido. O VAL previsto é de 69.298 €, alcançando o retorno de investimento de imediato e um ganho económico de 35.294 €.
4. Escolhendo a luminária Teceo da Schröder, existe um investimento inicial 43.338 €, com um consumo anual de 16.963 kWh (30% do consumo da situação atual) e uma redução de 5,34 Ton. no CO<sub>2</sub> emitido. O VAL previsto é de 73.270 €, alcançando o retorno de investimento em 7 anos e 106 dias e um ganho económico de 31.322 €.

A solução assente na redução da potência das lâmpadas com a tecnologia atualmente instalada de 250 para 150W, garante os níveis luminotécnicos impostos pela norma EN 13201. Comparando o VAL da solução ganhadora com esta, constatamos que essa permite um ganho económico de 12.451€ nos 30 anos de duração esperada para o investimento, obtendo o retorno do investimento comparativo aos 11 anos e 258 dias para estas duas alternativas.

Estes resultados levam-nos ainda a sugerir a hipótese de, nesta fase, se realizar apenas a substituição das lâmpadas de 250 W por lâmpadas de 150 W do mesmo tipo. Apesar de esta alternativa apresentar, para o período total do estudo, um custo superior ao da tecnologia LED mais competitiva, ela possui as seguintes vantagens:

- i. Tem o menor investimento inicial;
- ii. Até aos 11 anos e 258 dias é a que exhibe o menor custo de exploração.

No decurso deste período de quase 12 anos, irão ocorrer evoluções nas tecnologias e nos preços da iluminação, que poderão permitir, antes do seu término, a opção por uma alternativa ainda melhor que a agora encontrada.

Em projetos futuros alguns aspetos podem ser melhorados nomeadamente, no acompanhamento da evolução da tecnologia LEDs, da performance da luminária e de novas tecnologias de controlo e supervisão da utilização da rede de IP, como a telegestão associada à utilização de reguladores de fluxo e sensores de movimento.

Perspetivam-se assim evoluções contínuas e crescente consciencialização dos municípios, que passarão a considerar fundamentais os investimentos na modernização dos sistemas de IP, responsáveis por uma parte muito significativa das suas faturas energéticas.

## REFERÊNCIAS

- [1] Amorim, António; “Novas Tecnologias na Iluminação Pública”; [Online]. Disponível em [http://www.arenatejo.pt/workshop\\_iluminacao/pdfs/AREANATEjo\\_WorkshopIluminacaoFev09\\_EDP\\_AntonioAmorim\\_IPublica.pdf](http://www.arenatejo.pt/workshop_iluminacao/pdfs/AREANATEjo_WorkshopIluminacaoFev09_EDP_AntonioAmorim_IPublica.pdf); 2009; [Acedido em 12 de Setembro de 2014].
- [2] ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos; “PPEC 2013 – 2014”; [Online]. Disponível em <http://www.erse.pt/pt/planodepromocaodaeficiencianoconsumoppec/ppec1314/Paginas/default.aspx>; 2014; [Acedido em 22 de Dezembro de 2014].
- [3] ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos; “Plano de Promoção da Eficiência no Consumo, PPEC 2013-2014, Quadros de apoio; [Online]. Disponível em <http://www.erse.pt/pt/planodepromocaodaeficiencianoconsumoppec/ppec1314/Documents/PPEC%202013-2014%20-%20quadros%20de%20apoio.pdf>; [Acedido em 22 de Dezembro de 2014].
- [4] Google Maps; [Online]. Disponível em <https://www.google.pt/maps>. [Acedido em 22 de Dezembro de 2014].
- [5] Bernardo, Luís Miguel; “Histórias da Luz e das Cores”; U. Porto editorial, 2ª Edição, Volume 1; 2010.
- [6] Antunes, Ricardo. “O efeito fotoelétrico”. Revista do departamento de Física da FCUL, Revista Horizon, Edição 0; 2013.
- [7] “Manual de Iluminação Pública, Volume 1 – Conceitos Básicos de Luminotecnia”; ISR – Universidade de Coimbra; 2010.
- [8] “Espectro eletromagnético”; [Online]. Disponível em <http://geoprocessamentoifgoiass.blogspot.pt/>; 2011; [Acedido em 12 de Setembro de 2014].
- [9] GREF – Grupo de Reelaboração do Estudo de Física; “Física 2 - Física Térmica e Óptica, Volume 2”, EdUSP – Editora da Universidade de São Paulo; 2007.
- [10] Secretaria de Estado da Energia e da Inovação do Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento (SEEI/MEID); “Eficiência energética na Iluminação Pública, documento de referência”; [Online]. Disponível em [http://www.adene.pt/sites/default/files/2-eficienciaenergetica\\_iluminacao.pdf](http://www.adene.pt/sites/default/files/2-eficienciaenergetica_iluminacao.pdf); 2011; [Acedido em 12 de Setembro de 2014].
- [11] Osram; “Manual Luminotécnico Prático, Conceitos básicos de Luminotécnica”; [Online]. Disponível em <http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/ManualOsram.pdf>. [Acedido em 22 de Dezembro de 2014].

- [12] Climax Lighting; “Conceitos Luminotécnicos”; [Online]. Disponível em [http://www.climax.pt/pt/info\\_tec\\_eng\\_luz\\_conc.html](http://www.climax.pt/pt/info_tec_eng_luz_conc.html). [Acedido em 23 de Dezembro de 2014].
- [13] Jornal Oficial da União Europeia; “REGULAMENTO (CE) N.º 245/2009 DA COMISSÃO”; [Online]. Disponível em [http://www.valosto.com/tiedostot/LexUriServ\\_245\\_pt.pdf](http://www.valosto.com/tiedostot/LexUriServ_245_pt.pdf); 2009; [Acedido em 23 de Dezembro de 2014].
- [14] Manual OSRAM; “Curso de Iluminação: Conceitos e Projetos”; [Online]. Disponível em [http://www.usp.br/fau/cursos/graduacao/arq\\_urbanismo/disciplinas/aut0262/Af\\_Apostila\\_Conceitos\\_e\\_Projetos.pdf](http://www.usp.br/fau/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0262/Af_Apostila_Conceitos_e_Projetos.pdf). [Acedido em 16 de Fevereiro de 2014].
- [15] “Manual de Iluminação Pública, Volume 3 – Normas e Critérios para novos Projectos”; ISR – Universidade de Coimbra; 2010.
- [16] “Sala de Física – Lâmpada Incandescente”; [Online]. Disponível em <http://www.geocities.ws/saladefisica7/funciona/lampada.html>; 2009; [Acedido em 31 de Agosto de 2014].
- [17] “Manual de Iluminação Pública, Volume 2 – Componentes de iluminação”; ISR – Universidade de Coimbra; 2010.
- [18] Timóteo, Luís; “Lâmpada Incandescente”; [Online]. Disponível em [http://pt.slideshare.net/MarioTimotius/iluminao-2-lampadas-incandescentes?qid=01d665f5-cb1b-4d4c-aae9-4ee3541076c5&v=default&b=&from\\_search=2](http://pt.slideshare.net/MarioTimotius/iluminao-2-lampadas-incandescentes?qid=01d665f5-cb1b-4d4c-aae9-4ee3541076c5&v=default&b=&from_search=2); 2011; [Acedido em 12 de Setembro de 2014].
- [19] “Luminotécnica e lâmpadas elétricas”; Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas – Escola politécnica da universidade de São Paulo, PEA - Eletrotécnica Geral; [Online]. Disponível em [http://moodle.stoa.usp.br/file.php/1490/laboratorio/luminotecnica\\_lampada.pdf](http://moodle.stoa.usp.br/file.php/1490/laboratorio/luminotecnica_lampada.pdf). [Acedido em 31 de Agosto de 2014].
- [20] Philips; “Lâmpadas fluorescentes compactas”. [Online]. Disponível em <http://www.philips.pt/c/lampadas-fluorescentes-compactas>. [Acedido em 14 de Setembro de 2014].
- [21] Timóteo, Luís; “Lâmpada de descarga”; [Online]. Disponível em [http://pt.slideshare.net/MarioTimotius/iluminao3-lampadas-fluorescentes?qid=202f3960-b718-458d-ae2f-9e70acabd0dd&v=default&b=&from\\_search=2](http://pt.slideshare.net/MarioTimotius/iluminao3-lampadas-fluorescentes?qid=202f3960-b718-458d-ae2f-9e70acabd0dd&v=default&b=&from_search=2); 2011; [Acedido em 14 de Setembro de 2014].
- [22] Wikipedia; “Lâmpada de vapor de Sódio”; [Online]. Disponível em [http://pt.wikipedia.org/wiki/L%C3%A2mpada\\_de\\_vapor\\_de\\_s%C3%B3dio#](http://pt.wikipedia.org/wiki/L%C3%A2mpada_de_vapor_de_s%C3%B3dio#). [Acedido em 14 de Setembro de 2014].
- [23] Araújo, Licínio Preza de. “Tipos e características de lâmpadas, Sistemas de iluminação, Apoio à formação em Eletrotécnica e Electrónica”; [Online]. Disponível em <http://www.prof2000.pt/users/lpa>. [Acedido em 14 de Setembro de 2014].

## REFERÊNCIAS

- [24] Osram; “Lâmpadas de descarga de alta pressão - tecnologias inteligentes para iluminação brilhante”; [Online]. Disponível em [http://www.osram.pt/osram\\_pt/noticias-e-conhecimento/lampadas-de-descarga-de-alta-presso/index.jsp](http://www.osram.pt/osram_pt/noticias-e-conhecimento/lampadas-de-descarga-de-alta-presso/index.jsp). [Acedido em 14 de Setembro de 2014].
- [25] Philips. “Tabela Iluminação Profissional”; [Online]. Disponível em [http://www.lighting.philips.pt/pwcli/pt\\_pt/connect/assets/tabela-iluminacao-profissional-2012-alteracoes-junho-22.pdf](http://www.lighting.philips.pt/pwcli/pt_pt/connect/assets/tabela-iluminacao-profissional-2012-alteracoes-junho-22.pdf). [Acedido em 14 de Setembro de 2014].
- [26] ETAP; “Dossier LED – Iluminação com uma nova Fonte de Luz” [Online]. Disponível em <http://www.etaplighing.com>; 2014; [Acedido em 14 de Setembro de 2014].
- [27] Timóteo, Luís; “Lâmpadas de indução”; [Online]. Disponível em <http://pt.slideshare.net/MarioTimotius/Impadas-induo?related=1>; 2012; [Acedido em 14 de Setembro de 2014].
- [28] Luxim; “Light Emitting Plasma”; [Online]. Disponível em <http://www.luxim.com/>. [Acedido em 15 de Setembro de 2014].
- [29] A. Rowehl Jill; “OLEDs: Modifiability and Applications, 3.063 - Polymer Physics”; 2007.
- [30] Timóteo, Luís; “Aplicações OLEDS -Solid State Lighting (SSL)/Displays Aplicações Iluminação”; [Online]. Disponível em <http://pt.slideshare.net/MarioTimotius/iluminacao-6-oledlamps>; 2012; [Acedido em 15 de Setembro de 2014].
- [31] R. W. Erickson; “Fundamentals of Power Electronics”; New York: Chapman and Hall; 1997.
- [32] F&F Portugal; “Controlo de iluminação, Interruptores crepusculares”; [Online]. Disponível em [http://www.fif.aloves.pt/index.php?option=com\\_content&view=section&id=7&Itemid=60](http://www.fif.aloves.pt/index.php?option=com_content&view=section&id=7&Itemid=60). [Acedido em 15 de Setembro de 2014].
- [33] A Electrificadora SA; “Catálogo Orbis”; [Online]. Disponível em <http://www.a-electrificadora.pt>. [Acedido em 15 de Setembro de 2014].
- [34] Lage, Miguel; Freire, Raphael e Teixeira, Vitor; “Gestão da Energia - Capítulo 14 – Gestão da Iluminação Pública usando Reguladores de Fluxo”; FEUP; 2010.
- [35] Afonso, João Luiz e Martins, Júlio S.; “Qualidade da energia eléctrica”; Departamento de Electrónica Industrial - Universidade do Minho; Revista o Electricista, nº 9, pp. 66-71.
- [36] VITO; “Final Report: Public Street Lighting” Preparatory Studies for Eco-design Requirements of EuPs; 2007
- [37] Cleber C. Fonseca, Dennis Brandão; “Sistema de controle e monitoramento de iluminação pública” Laboratório de Automação Industrial, Departamento de Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo; 2012.

- [38] Enlight; “Sistemas Inteligentes – SIGIP”; [Online]. Disponível em <http://www.enlight.pt/intelligent.htm>. [Acedido em 13 de Setembro de 2014].
- [39] i9lux; “Cidades inteligentes e a telegestão da iluminação pública”; [Online]. Disponível em <http://www.i9lux.com/cidades-inteligentes-e-a-telegestao-da-iluminacao-publica/>. [Acedido em 13 de Setembro de 2014].
- [40] Exporlux; “Projectos, Iluminação Pública”; [Online]. Disponível em <http://exporlux.pt>. [Acedido em 16 de Fevereiro de 2014].
- [41] Farinha, Paulo Melich; “A primeira rua LED em Portugal”; [Online]. Disponível em <http://ledluxled.blogspotpt/2010/09/primeira-rua-led-em-portugal.html>; 2010; [Acedido em 16 de Fevereiro de 2014].
- [42] “A primeira aldeia LED de Portugal”; [Online]. Disponível em <http://greensavers.sapo.pt/2013/07/05/a-primeira-aldeia-led-de-portugal-com-video>; 2013; [Acedido em 16 de Fevereiro de 2014].
- [43] Tor Mjøs; “Intelligent street lighting in Oslo, Norway”; [Online]. Disponível em <http://www.e-streetlight.com/Documents/presentation/ECEEE.PDF>. [Acedido em 16 de Fevereiro de 2014].
- [44] European Committee for Standardization, CEN/TR13201-1; “Road lighting - Part 1: Selection of lighting classes”; [Online]. Disponível [http://www.arpa.fvg.it/export/sites/default/istituzionale/servizi/inquinamento\\_luminoso/allegati/cen\\_tr\\_13201-1\\_2004.pdf](http://www.arpa.fvg.it/export/sites/default/istituzionale/servizi/inquinamento_luminoso/allegati/cen_tr_13201-1_2004.pdf); 2004; [Acedido em 16 de Dezembro de 2014].
- [45] European Committee for Standardization, EN 13201-2; “Road lighting – Part 2: Performance requirements”; [Online]. Disponível [https://www.fer.unizg.hr/\\_download/repository/en\\_13201-2\\_.pdf](https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/en_13201-2_.pdf); 2003; [Acedido em 16 de Dezembro de 2014].
- [46] European Committee for Standardization, EN 13201-3; “Road lighting – Part 3: Calculation of performance”; [Online]. Disponível em [https://www.fer.unizg.hr/\\_download/repository/en\\_13201-3.pdf](https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/en_13201-3.pdf); 2003; [Acedido em 16 de Dezembro de 2014].
- [47] European Committee for Standardization, EN 13201-4; “Road lighting – Part 4: Methods of measuring lighting performance”; [Online]. Disponível em [https://www.fer.unizg.hr/\\_download/repository/en\\_13201-4.pdf](https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/en_13201-4.pdf); 2003; [Acedido em 16 de Dezembro de 2014].
- [48] Costa, Paulo Moisés Almeida da; “Avaliação económica de investimentos”; MEE-EAI, ESTGV; 2012.
- [49] Caixa Geral de Depósitos; “Taxas de Juro”; [Online]. Disponível em <https://www.cgd.pt/Pages/Default.aspx>. [Acedido em 9 de Janeiro de 2015].
- [50] PORDATA – Base de Dados Portugal Contemporâneo; [Online]. Disponível em [http://www.pordata.pt/Portugal/Taxa+de+Inflacao+\(Taxa+de+Variacao+++Indice+de+Precos+no+Consumidor\)-138](http://www.pordata.pt/Portugal/Taxa+de+Inflacao+(Taxa+de+Variacao+++Indice+de+Precos+no+Consumidor)-138); [Acedido em 16 de Dezembro de 2014].

## REFERÊNCIAS

- [51] ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos; “Proposta de Tarifas e Preços para a Energia Elétrica em 2013”. [Online]. Disponível em [http://www.erse.pt/pt/imprensa/comunicados/2012/Comunicados/COMUNICADO\\_PROPOSTAS%20TARIFAS%202013.pdf](http://www.erse.pt/pt/imprensa/comunicados/2012/Comunicados/COMUNICADO_PROPOSTAS%20TARIFAS%202013.pdf). [Acedido em 6 de Setembro de 2014].
- [52] EDP – Energias de Portugal; “Origens da Eletricidade”; [Online]. Disponível em <http://www.edpsu.pt/pt/origemdaenergia/Pages/OrigensdaEnergia.aspx>. [Acedido em 11 de Agosto de 2014].
- [53] ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos; [Online]. Disponível em <http://www.erse.pt>. [Acedido em 11 de Agosto de 2014].
- [54] Schréder; “Onyx”; [Online]. Disponível em <http://www.schreder.com/pts-pt/Produtos/Pages/Onyx.aspx>. [Acedido em 6 de Julho de 2014].
- [55] Schréder; “Piano”; [Online]. Disponível em <http://www.schreder.com/pts-pt/Produtos/Pages/Piano-range.aspx>. [Acedido em 6 de Julho de 2014].
- [56] Schréder; “Teceo”; [Online]. Disponível em <http://www.schreder.com/pts-pt/Produtos/Pages/Teceo.aspx>. [Acedido em 6 de Julho de 2014].
- [57] Schréder; “Ampera”; [Online]. Disponível em <http://www.schreder.com/pts-pt/Produtos/Pages/AMPERA.aspx>. [Acedido em 6 de Julho de 2014].
- [58] Led Arquiled; “Arquicity C10”; [Online]. Disponível em [http://www.aas-inovamb.pt/images/stories/site/LED/Fichas\\_Tecnicas/Arquicity\\_C10.pdf](http://www.aas-inovamb.pt/images/stories/site/LED/Fichas_Tecnicas/Arquicity_C10.pdf). [Acedido em 6 de Julho de 2014].
- [59] Água Ar Solo – Sociedade Portuguesa de Inovação Ambiental; [Online]. Disponível em [http://www.aas-inovamb.pt/index.php?option=com\\_content&view=article&id=70&Itemid=69](http://www.aas-inovamb.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=70&Itemid=69). [Acedido em 6 de Julho de 2014].
- [60] LEC - Light Environment Control; “Almenara Plus”; [Online]. Disponível em [http://www.lecsl.com/web/public/documents/CATALEC\\_0713.pdf](http://www.lecsl.com/web/public/documents/CATALEC_0713.pdf). [Acedido em 6 de Julho de 2014].
- [61] Schréder; “Soluções de iluminação LED”; [Online]. Disponível em <http://ecatalogue.schreder.com/pt/?lang=pt>. [Acedido em 6 de Julho de 2014].
- [62] Schréder; “Gestão inteligente para iluminação eficiente – Owlet”; [Online]. Disponível em <http://www.schreder.com/SiteCollectionDocuments/Additional-content/Solucoes-de-controlo-Owlet-Schreder.pdf>. [Acedido em 12 de Setembro de 2014].
- [63] Led Arquiled; “Sistema de Gestão - ARQNET”; [Online]. Disponível em [http://www.aas-inovamb.pt/images/stories/site/LED/Fichas\\_Tecnicas/Arquicity\\_-\\_Comunicacao\\_PLC.pdf](http://www.aas-inovamb.pt/images/stories/site/LED/Fichas_Tecnicas/Arquicity_-_Comunicacao_PLC.pdf). [Acedido em 6 de Julho de 2014].



## **ANEXO 1 – LUMINÁRIAS**



Neste anexo é apresentado um resumo das características das luminárias da Schröder, Arquiled e Lutche.

### 1.1 – Luminária Schröder, modelo Onyx.2



Figura A1.1 – Luminárias Onyx [54].

A luminária Onyx 2, segundo a referência [54] integra um IP 66 Sealsafe® e suporta lâmpadas até 600 W. O elevado grau de proteção do bloco ótico é conseguido com a selagem do refletor ao difusor através de um reservatório de silicone numa ranhura contínua da raquete.

O dispositivo de selagem é um dos princípios básicos do Sistema Sealsafe®. Depois de ligada, a sobrepessão expulsa, o ar para fora do bloco ótico. Quando se desliga, a depressão deixa entrar lentamente o ar exterior, filtrando as impurezas.

Este sistema assegura a manutenção das performances fotométricas ao longo do tempo.

O bloco ótico é composto por um refletor referência R1419 em alumínio, selado a um difusor em vidro curvo temperado.

Refletor	Difusor	Sódio de alta pressão				lódotos metálicos	lódotos metálicos com tubo de descarga cerâmico			
		70 W	100 W	150 W	250 W	250 W	70 W	100 W	150 W	250 W
1419 (°)	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Figura A1.2 – Refletor do tipo R1419 [54].

A distribuição fotométrica caracteriza-se por uma eficiência na ordem dos 81,1% e abertura 0 – 180°: 73°-73°.

A lâmpada tem possibilidade de regulação em profundidade e altura, por forma a adaptar a fotometria ao perfil da estrada a iluminar.

A luminária abre-se sem ferramentas por operação da alavanca de fecho em aço inox fixa sobre o Capô e perfeitamente integrada na estrutura da luminária, as dobradiças provêm da injeção da raquete e do capô.

Quando é aberta, o estribo de suporte em aço galvanizado trava o Capô. Esta operação dá acesso aos acessórios elétricos – fixos em placa de aço galvanizado, amovível apenas com ferramentas – assim como ao obturador porta suporte de lâmpada. Dando por sua vez o acesso à lâmpada por rotação de um quarto de volta do obturador. A alavanca de fecho combinada com um fio de mola em aço inoxidável resulta no "sistema de 3 pontos", o que garante um fecho seguro da luminária.



Figura A1.3 – Constituição da luminária Onyx 2 [54].

### Características:

Quadro A1.1 – Características da luminária Schröder, modelo Onyx [54].

Marca	Schröder
Modelo	Onyx
Tipo	2
Altura de Instalação	8 a 10m
Tensão nominal	230 V – 50 Hz
Gama Lúmen <i>package</i> (fluxo nominal)	17500 até 33200 lm
Potência Consumida	250W
Vida Útil	10000h
Proteção contra descargas atmosféricas	10 kV
Estanquicidade	IP 66 (Segundo IEC - EN 60598)
Resistência ao choque (vidro)	IK 08 (Segundo IEC - EN 62262)
Resistência aerodinâmica (CxS)	0,048 m <sup>2</sup>
Peso (total)	7,8 Kg
Corpo + tampa	Alumínio injetado
Materiais	
Difusor	Vidro curvo
Cor	Bege RAL 1013; Vermelho RAL 3004; Azul RAL 5003; Verde RAL 6005; Cinza RAL 7035; Preto RAL 9005
Dimensões (mm)	
Comprimento	732mm
Largura	332mm
Altura	208mm

## Fotometria

O difusor em vidro curvo permite um excelente controlo do fluxo, reduzindo ao máximo a poluição luminosa, permitindo baixar suficientemente a posição da lâmpada por forma a evitar o efeito de *flash* típico dos vidros planos. Para além do melhoramento do conforto, ele resulta numa distribuição fotométrica ligeiramente mais extensiva, permitindo uma maior distância entre postes. Assim existe várias posições da lâmpada possíveis a fim de adaptar a distribuição fotométrica às exigências do local a iluminar (largura da estrada, altura de implantação).

Na posição 1 – lâmpada em posição recuada para uma largura de rua considerável.

Na posição 2 – lâmpada em posição avançada para uma largura de rua menor.

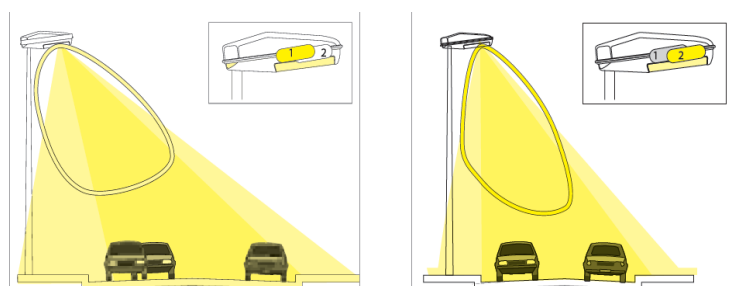


Figura A1.4 – Facilidade de adaptação da distribuição fotométrica [54].

## Distribuição fotométrica

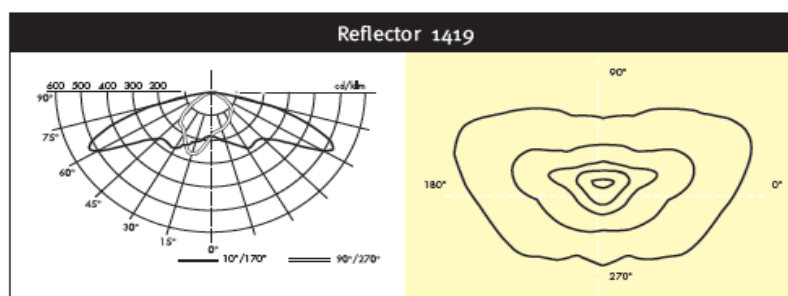


Figura A1.5 – Distribuição fotométrica R1419, Onyx 2 [54].

## 1.2 – Luminária Schröder, modelo Piano

A gama de luminárias Piano, segundo a referência [55] oferecem uma fotometria de alto desempenho especificamente adaptada para aplicações de iluminação urbana. Além disso, o acabamento de alta qualidade e *design* estético desta complementa e realça toda a paisagem.

Esta gama foi desenvolvida para incorporar 3 tamanhos diferentes de luminária, uma consola mural e um braço pedonal para que ruas, passeios e grandes praças possam ser iluminadas utilizando o mesmo *design* de luminária.

Em suma, a família Piano oferece às cidades a ferramenta ideal para melhorar os níveis de iluminação, gerar economias de energia e reduzir a pegada ecológica, equipada com 16 até 104 LEDs.

Cada LED é associado a uma lente específica que gera por si só a distribuição fotométrica da luminária, e cujo resultado é obtido pela adição de distribuições fotométricas.

O conjunto ótico foi estudado de forma a permitir uma correta e eficiente dissipação térmica através do sistema (ThermiX®), que otimiza extração do calor e protege os LEDs e os componentes eletrónicos.

O bloco ótico possui pontos com filtros em Gortex®, para facilitar a sua respiração e evitar as condensações de água, mantendo a estanquicidade.



Figura A1.6 – Bloco ótico, Piano [55].

A fotometria e os acessórios elétricos - FuturProof® - são facilmente removidos permitindo, no próprio local, a sua substituição no fim da sua vida útil para tirar partido de futuros desenvolvimentos tecnológicos. Este procedimento, fácil e rápido, reduz os custos de manutenção.

As luminárias podem ser equipadas com sistema IntelliFlex®, que permite controlar o fluxo luminoso resultando na variação dos níveis de iluminação.



Figura A1.7 – Constituição da luminária Piano [55].

### Variação de intensidade (*dimming*) para iluminação eficiente e confortável

As necessidades de iluminação variam de acordo com a luz natural e a atividade do local.

Iluminar corretamente é também utilizar exclusivamente a quantidade de luz necessária de acordo com a necessidade real num determinado tempo e local. Os sistemas de *dimming* podem gerar substanciais economias energéticas. As Piano podem ser equipadas com diferentes sistemas de variação de intensidade e gestão remota.

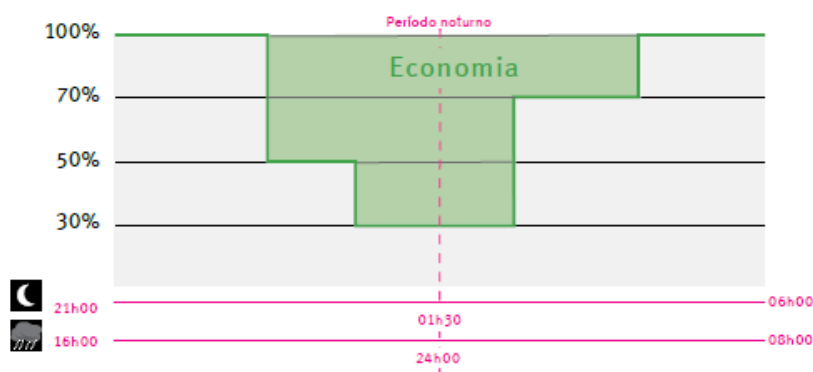


Figura A1.8 – Variação da iluminação, Piano [55].

A Piano pode ser montada através de fixação lateral penetrada ou fixação vertical a diâmetro de 48mm ou 60mm. A fixação vertical permite inclinação de 0° ou 5°.

## Características:

Quadro A1.2 – Características da luminária Schröder, modelo Piano [55].

Marca	Schröder
Modelo	Piano
Altura de Instalação	8 a 12(m)
Tensão nominal	230V - 50Hz
Corrente de alimentação	500(mA)
Gama Lúmen <i>package</i> (fluxo nominal)	9197 até 19600 (lm)
Potencia Consumida	75 até 166 (W)
Vida Útil dos Leds	60000h
Proteção contra descargas atmosféricas	10 kV
Estanquicidade	IP 66 (Segundo IEC - EN 60598)
Resistência ao choque (vidro)	IK 08 (Segundo IEC - EN 62262)
Resistência aerodinâmica (CxS)	0.07m <sup>2</sup>
Temperatura de cor	Branco neutro ou quente
Peso (total)	14.5kg
Corpo + tampa	Alumínio injetado
<b>Materiais</b>	
Difusor	Vidro plano extra claro
Cor	AKZO black 200 areado Qualquer cor RA L ou AKZO sob pedido
FutureProof:	Substituição fácil do motor fotométrico e dos acessórios eletrônicos
<b>Dimensões</b>	
Comprimento	989mm
Largura	295mm
Altura	92mm

## Distribuição fotométrica

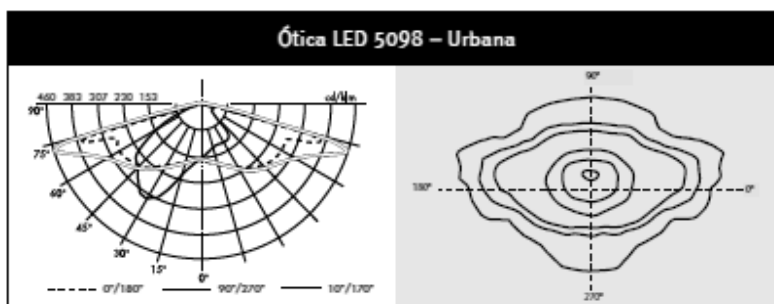


Figura A1.9 – Distribuição fotométrica da luminária Piano [55].

### 1.3 – Luminária Schröder, modelo Teceo

Esta é constituída por corpo único que suporta o bloco ótico e acessórios elétricos.

O Bloco ótico LED é composto por um motor Lensoflex®, que incorpora módulos de 56 a 144 LEDs.

Os LEDs são equipados com lentes secundárias em PolyMetacrilato de Metilo (PMMA), da Plexiglass®, com uma espessura geral de 2mm e um facto de transmitância de 92% segundo a DIN5036. As lentes são quádruplas e montadas em PCB plano metalcore, com espessura média de 1,6mm.

Cada LED é associado a uma lente específica que gera por si só a distribuição fotométrica da luminária, e cujo resultado é obtido pela adição de distribuições fotométricas.



Figura A1.10 – Luminária Teceo [56].

O conjunto ótico foi estudado de forma a permitir uma correta e eficiente dissipação térmica através do sistema (ThermiX®), que otimiza a extração do calor e protege os LEDs e os componentes eletrónicos.

O Bloco ótico possui pontos com filtros em Gortex®, para facilitar a sua respiração e evitar as condensações de água, mantendo a estanquicidade.

Motor LED modular para uma correta distribuição de luz de acordo com o tipo de aplicação. Bloco ótico IP 66, selado com difusor em vidro plano extra claro para otimizar o fluxo luminoso

As luminárias podem ser equipadas com sistema IntelliFlex®, que permite controlar o fluxo luminoso resultando na variação dos níveis de iluminação.

O bloco ótico LensoFlex® permite a alimentação dos LEDs até 700mA, e assegura uma vida útil de 100.000h para uma temperatura ambiente de 35°C. Dependendo do nível pretendido, a luminária pode incorporar um, dois ou mais módulos Lensoflex®.

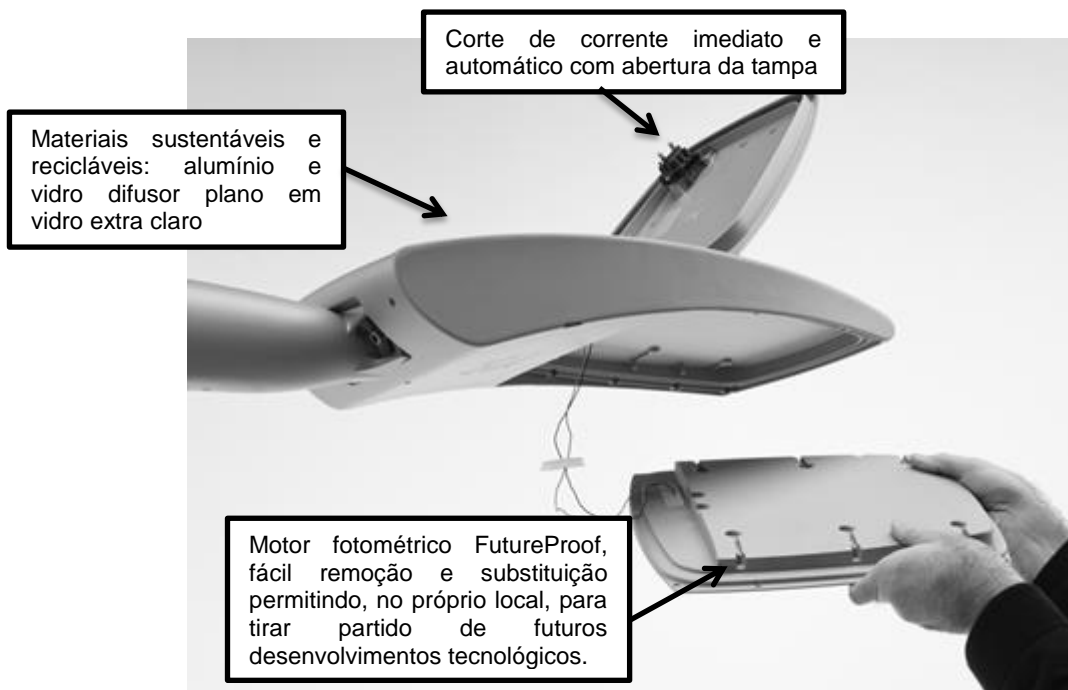


Figura A1.11 – Constituição da luminária Teceo [56].

### Sensor de movimento

Na maioria das vezes, em locais com pouca atividade noturna, a iluminação pode ser reduzida ao mínimo. Usando sensores de movimento, os níveis podem ser aumentados assim que for detetado um peão ou um veículo lento na área.

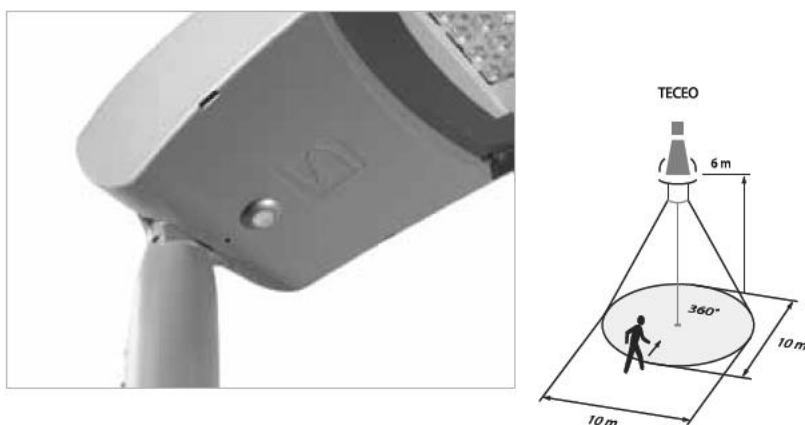


Figura A1.12 – Sensor de movimento Teceo [56].

### Fluxo luminoso mantido ao longo do tempo

Numa solução convencional e de forma a manter o nível mínimo exigido no fim de vida da instalação, o facto de depreciação do fluxo luminoso ao longo do tempo conduz à iluminação excessiva e, por consequência a um elevado consumo energético (gráfico A, Figura A1.13).

Ao funcionar com um fluxo luminoso constante (*Constant Light Output - CLO*) as luminárias Teceo funcionam de maneira diferente. As Teceo controlam com precisão e autonomamente a energia necessária durante o seu ciclo de vida de forma a fornecer o nível luminoso constante exigido - nem mais, nem menos – durante toda a vida útil da instalação (gráfico B, Figura A1.13).

Isto pode gerar economias de energia adicionais de até 10% para uma vida útil de 100.000 horas (L70).

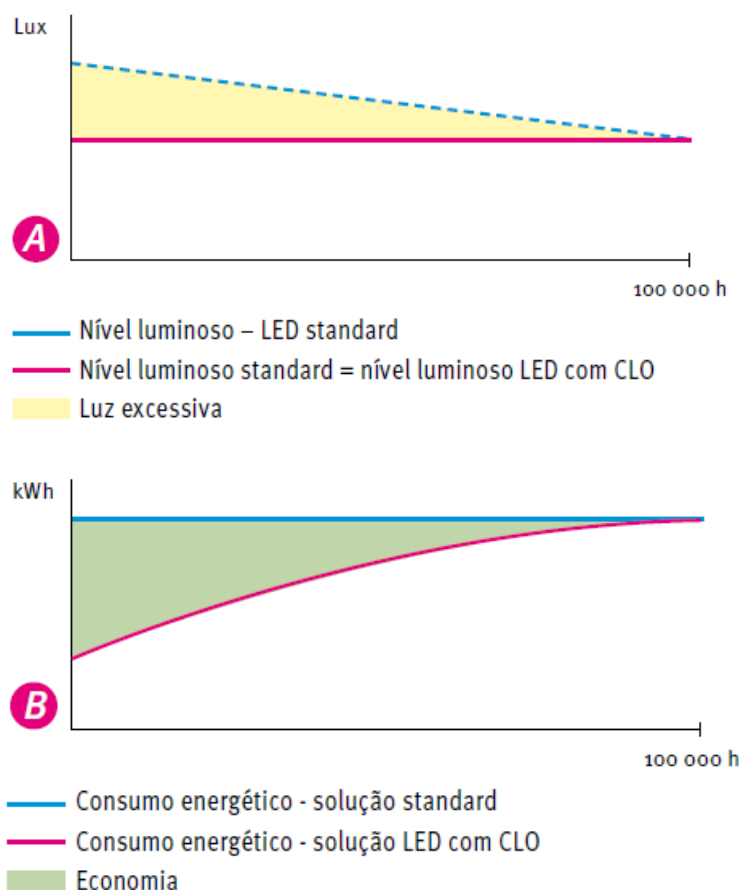


Figura A1.13 – Fluxo luminoso ao longo do tempo [56].

A fixação da luminária é feita através de peça em alumínio injetado por processo semelhante ao do corpo, podendo ser montado de forma a permitir fixação horizontal ou vertical. Permite ainda a inclinação da luminária em relação ao apoio, em intervalos de 5°, até 15° para montagem a braço, e 10° para montagem em coluna.

## Características:

Quadro A1.3 – Características da luminária Schröder, modelo Teceo [56].

Marca	Schröder
Modelo	Teceo
Altura de Instalação	6 a 12m
Tensão nominal	230V -50Hz
Corrente de alimentação	500mA
Gama Lúmen <i>package</i> (fluxo nominal)	9197 até 25000 (lm)
Potencia Consumida	75 até 230 (W)
Vida Útil dos Leds	60000h
Proteção contra descargas atmosféricas	10 kV
Estanquicidade	IP 66 (Segundo IEC - EN 60598)
Resistência ao choque (vidro)	IK 08 (Segundo IEC - EN 62262)
Resistência aerodinâmica (CxS)	0.014m <sup>2</sup>
Temperatura de cor	Branco frio, neutro ou quente
Peso (total)	17,5kg
Corpo + tampa	Alumínio injetado
<b>Materiais</b>	
Difusor	Vidro plano extra claro
Cor	AZKO 150 cinza claro areado Qualquer cor RA L ou AKZO sob pedido
FutureProof:	Substituição fácil do motor fotométrico e dos acessórios eletrônicos
<b>Dimensões</b>	
Comprimento	788mm
Largura	439mm
Altura	119mm

## Distribuição fotométrica

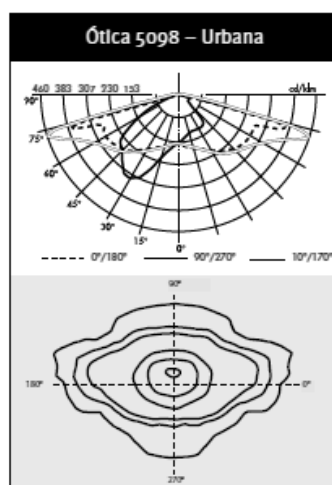


Figura A1.14 – Distribuição fotométrica da luminária Teceo [56].

#### 1.4 – Luminária Schröder, modelo Ampera

Esta luminária para iluminação urbana, é equipada com até 144 LEDs.



Figura A1.15 – Luminária Ampera [57].

O bloco ótico é constituído por difusor em vidro plano extra claro. Os LEDs são equipados com lentes secundárias em PolyMetacrilato de Metilo (PMMA), da Plexiglass® 8N, com uma espessura geral de 2mm e um facto de transmitância de 92% segundo a DIN5036. As lentes são quádruplas e montadas em PCB plano metalcore, com espessura média de 1,6mm. Cada LED É associado a uma lente específica que gera por si só a distribuição fotométrica da luminária, e cujo resultado É obtido pela adição de distribuições fotométricas. O conjunto Ótico foi estudado de forma a permitir uma correta e eficiente dissipação térmica através do sistema (ThermiX®), que otimiza a extração do calor e protege os LEDs e os componentes eletrónicos.

A unidade Ótica tem um grau de proteção IP66, permitindo aumentar a longevidade e manter as características dos LEDs e das lentes secundárias, ao protegê-las da exposição aos agentes atmosféricos. O motor fotométrico e os acessórios elétricos - FutureProof - são facilmente removidos permitindo, no próprio local, a sua substituição no fim da sua vida útil para tirar partido de futuros desenvolvimentos tecnológicos. Este procedimento, fácil e rápido, reduz os custos de manutenção.

As luminárias podem ser equipadas com sistema de controlo OWLET que permite controlar o fluxo luminoso resultando na variação dos níveis de iluminação

A fotometria caracteriza-se por uma distribuição *narrow* com  $I_{max}$  de 754 (cd/1000 lm), abertura no plano 0-180°: 50 - 50 e no plano 90-270°: 13 - x. A luminária será equipada com LEDs em cor branco quente, de forma a favorecer o conforto visual e a restituição cromática do espaço urbano. O fluxo será de 3264 lm, com temperatura de cor de 3000K e Ra=80. Apresenta uma eficiência de 85,4% (LOR).

A Ampera apresenta uma montagem universal lateral ou vertical a diâmetro de 48mm,

60mm ou 76mm. O ângulo de inclinação pode ser ajustado no local. A Ampera é montada em duas partes separadas de forma a facilitar a instalação

### Características:

Quadro A1.4 – Características da luminária Schröder, modelo Ampera [57].

Marca	Schröder
Modelo	Ampera
Altura de Instalação	4 a 12m
Tensão nominal	120-277V – 50-60Hz
Corrente de alimentação	500mA
Gama Lúmen <i>package</i> (fluxo nominal)	9197 até 27100 (lm)
Potencia Consumida	75 até 221 (W)
Vida Útil dos Leds	70000h
Proteção contra descargas atmosféricas	10 kV
Estanquicidade	IP 66 (Segundo IEC - EN 60598)
Resistência ao choque (vidro)	IK 09 (Segundo IEC - EN 62262)
Temperatura de cor	Branco neutro, quente ou frio
Peso (total)	18,1kg
Corpo + tampa	Alumínio injetado
<b>Materiais</b>	
Difusor	Vidro
Cor	AZKO 900 cinzento areado Qualquer cor RA L ou AKZO sob pedido
FutureProof:	Substituição fácil do motor fotométrico e dos acessórios eletrônicos
<b>Dimensões</b>	
Comprimento	900mm
Largura	438mm
Altura	135mm

### Distribuição fotométrica

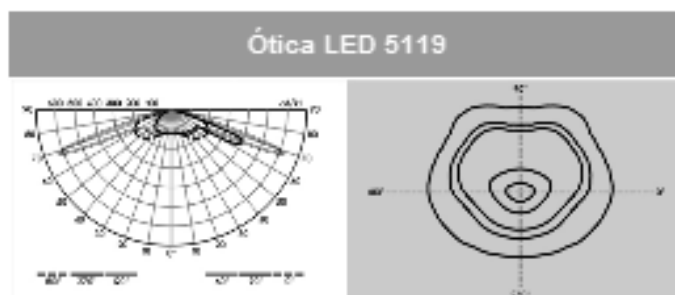


Figura A1.16 – Distribuição fotométrica da luminária Ampera [57].

### 1.5 – Luminária Arquiled, modelo Arquicity C10

Esta luminária apresenta um *design* sofisticado permitindo a obtenção de uma solução economicamente viável.

A luminária possui um corpo compacto, constituído por liga de alumínio injetado, que apresentando uma condutividade térmica superior à das ligas tradicionais.



Figura A1.17 – Luminária Arquicity C10 [58].

O Arquicity está associado a um conjunto de sensores que permitem uma otimização do desempenho da luminária:

**Sun Sensor** - Célula que permite medir a luminosidade ambiente, não sendo necessário haver outro sistema de controlo ou acionamento remoto, pois está preparada para ligar automaticamente.

**Thermal Sensor** - Sensor com o objetivo de proteger a tecnologia, seduzindo a emissão de luz quando atinge temperaturas limite.

**Tractus Sensor** - Módulo que faz a gestão de fluxo luminoso em função da presença a nível rodoviário e da presença humana pedestre.

**G Sensor** - Sensor que permite desligar automaticamente a luminária se esta for derrubada ou sofrer um impacto considerável que acione o sistema.

Quando controlado remotamente, a luminária está preparada para comunicar através de sinais de tom ou usando PLC (*Power Line Carrier*) [59].

## Características:

Quadro A1.5 – Características da luminária Arquiled, modelo Arquicity [58].

Marca	Arquiled
Modelo	Arquicity
Tipo	C10
Altura de Instalação	10m
Tensão nominal	220-240V – 50Hz
Corrente de alimentação	350mA
Gama Lúmen <i>package</i> (fluxo nominal)	11700 (lm)
Iluminância	20 ~ 25 lux
Potencia Consumida	123
Vida Útil dos Leds	70000h
Temperatura de operação	-20 °C a 85°C
Proteção contra descargas atmosféricas	10 kV
Estanquicidade	IP 66 (Segundo IEC - EN 60598)
Resistência ao choque (vidro)	IK 08 (Segundo IEC - EN 62262)
Temperatura de cor	3000k,4000k,5700k
Peso (total)	12,75kg
Corpo	Liga de alumínio com pintura auto lavável
<b>Materiais</b>	
Cor	Cinza RAL 9006 Qualquer outra cor RA L sob pedido
<b>Dimensões</b>	
Comprimento	804mm
Largura	270mm
Altura	64mm

## Distribuição fotométrica

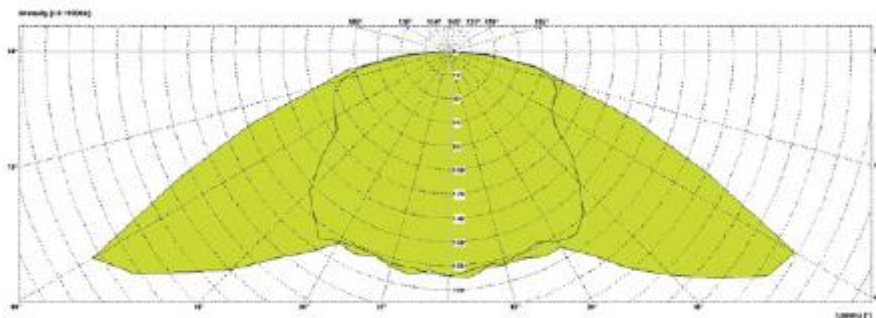


Figura A1.18 – Distribuição fotométrica da luminária Arquicity C10 [58].

### 1.6 – Luminária Luche, modelo Almenara Plus

A luminária Almenara Plus oferece um excelente *design* e robustez, e fornece bons níveis de iluminação, reduzindo o consumo de energia e prolongando a sua vida útil, em comparação com as tecnologias convencionais de descarga.



Figura A1.19 – Luminária Almenara Plus [60].

#### Características:

Quadro A1.6 – Características da luminária LEC, modelo Almenara [60].

Marca	LEC
Modelo	Almenara
Tipo	Plus
Altura de Instalação	10m
Tensão nominal	85-265V – 50-60Hz
Corrente de alimentação	1,75 a 0,627A
Gama Lúmen <i>package</i> (fluxo nominal)	12314 (lm)
Potencia Consumida	143 W
Vida Útil dos Leds	50000h
Temperatura de operação	75,2°C
Proteção contra descargas atmosféricas	10 kV
Estanquicidade	IP 68 (Segundo IEC - EN 60598)
Resistência ao choque (vidro)	IK 10 (Segundo IEC - EN 62262)
Temperatura de cor	Frio, neutro e quente
Peso (total)	15kg
Corpo	Alumínio injetado
<b>Materiais</b>	
Cor	RAL 7040 / 7035
<b>Dimensões</b>	
Comprimento	719mm
Largura	342mm
Altura	253mm

**Distribuição fotométrica**

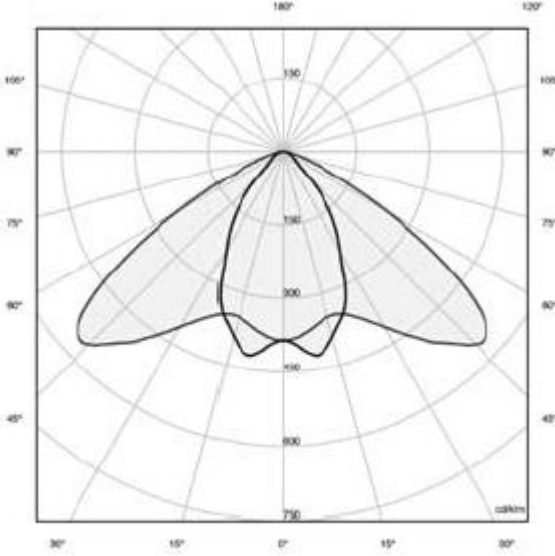


Figura A1.20 – Distribuição fotométrica da luminária Almenara Plus [60].

## **ANEXO 2 – SISTEMAS DE CONTROLO (*DIMMING*)**



Neste anexo é efetuada uma descrição do sistema de controlo das luminárias, com *dimming*, propostas pelos fabricantes da Schröder e Arquiled.

## 2.1 – Sistema Owlet

### Solução de Telegestão

O sistema Owlet Nightshift é segundo a referencia [61] uma solução de Gestão de Energia Ponto a Ponto para aplicação em instalações de iluminação exterior.

Baseado na utilização de um protocolo *wireless* para efetuar a comunicação entre luminárias, esta solução é extremamente versátil ao nível da sua aplicação e implementação.

Este tipo de solução integra funcionalidades que permitem um elevado nível de controlo e gestão das instalações sendo possível monitorizar, controlar e gerir de forma muito eficaz as instalações. O controlo de custos pode ser feito eficazmente dado que são obtidas informações precisas sobre os consumos energéticos.

O sistema Owlet Nightshift contribui para uma eficaz gestão das instalações de IP, assegurando a iluminação adequada aos locais e níveis de utilização, contribuindo para uma redução dos custos associados à manutenção e Gestão da rede de iluminação.

### Arquitetura do Sistema

O Owlet Nightshift utiliza ZigBee (IEEE 802.15.4 *Standard*), um protocolo *standard* de comunicação wireless internacional e aberto que possui funcionalidades técnicas com elevadas mais-valias económicas. Uma das suas características principais é o facto de cada elemento (controlador de luminária) funcionar como transmissor de informação até que se atinja o destino final, numa rede em malha aberta e transparente, sendo que a informação é encriptada para efeitos de segurança.

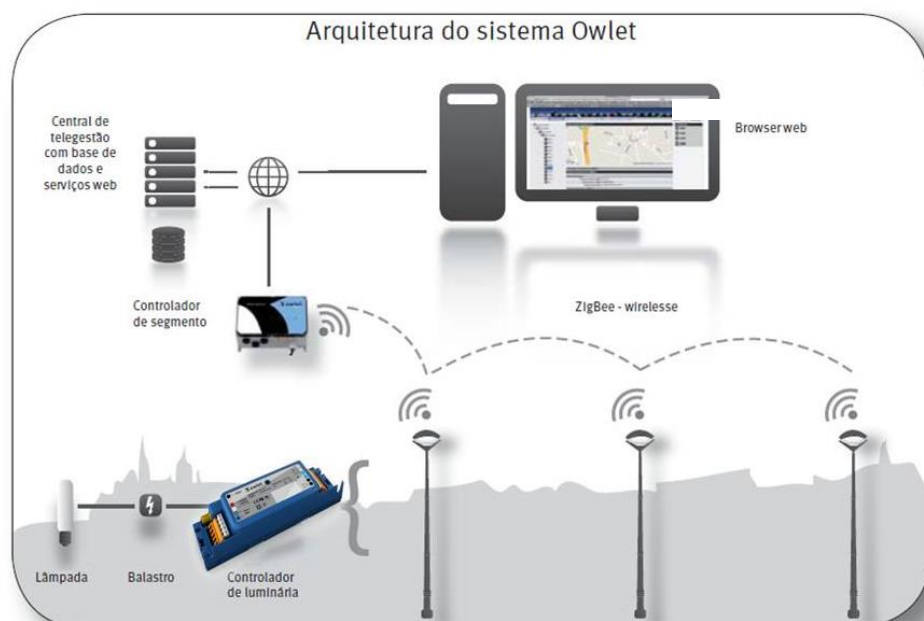


Figura A2.1 – Arquitetura do sistema Owlet [62].

## **Componentes do sistema Owlet**

A solução Owlet, ao nível dos componentes de hardware, é constituída por:

1. Plataforma do controlo de gestão;
2. LuCo-NX (Controlador de Luminária);
3. Balastro Eletrónico;
4. SeCo (Controlador de Segmento).

### **i – Plataforma de Controlo e Gestão**

A plataforma de gestão permite um conjunto de valências ao nível da informação recolhida pelos SeCo (Controladores de Segmento) e no tratamento dos dados obtidos, permitindo gerar uma imagem completa dos consumos, custos e estado das instalações.

Em termos gerais, possibilita:

- A gestão do parque de luminárias abrangido no projeto a partir de qualquer local, bastando para tal possuir um acesso PC remoto com as devidas autorizações de acesso e manipulação.
- Instalar novas luminárias de diferentes fabricantes desde que compatíveis com os protocolos já enunciados anteriormente, num conceito de interoperabilidade de luminárias.
- Possibilidade de otimização dos consumos de energia e níveis de iluminação, mediante as variáveis e condicionantes de cada local, dado que a implementação do sistema de telegestão permite uma total adaptabilidade do parque de luminárias em função das necessidades do momento.
- Possibilidade de melhoria da gestão no âmbito da manutenção do parque de luminárias em função da identificação dos alarmes, erros e falhas através da gestão remota do parque de luminárias, evitando inspeções desnecessárias.
- Possibilidade de registo e armazenamento de dados de forma automática, contribuindo para uma melhor gestão da parametrização e manutenção das instalações.
- Possibilidade de modificar a parametrização em função das necessidades do município, por zonas ou áreas específicas, tais como: avenidas, ruas e becos, por exemplo. Estas alterações poderão advir das informações reportadas dos vários locais por parte das luminárias e de eventuais sensores que disponham.
- Possibilidade de parametrização individualizada ou por grupos conforme necessidades.

## ii – LuCo-NX (Controlador de Luminária)



Figura A2.2 – Controlador de Luminária (LuCo-NX) [62].

A função do LuCo-NX, permite controlar qualquer tipo de balastro eletrónico, bem como *drivers* de LEDs, desde que possuam o protocolo de comando 1-10V. **Controla no máximo 8 *drivers***. Este permite gerir potências até 1000 VA.

Através deste controlador é possível recolher todo um conjunto de informações e parâmetros elétricos como Tensões, Frequência, Correntes, Facto de Potência, Consumos, Estado da lâmpada, etc....

Por algum motivo caso não exista comunicação entre o LuCo-NX e o SeCo, o LuCo-NX entra em modo de funcionamento automático e ligará e desligará a luminária com comando.

## iii – Balastro Eletrónico

Os balastos eletrónicos são equipamentos com eficiência e fator de potência elevados  $>0,95$ .

Permitem efetuar o controlo de fluxo luminoso, gerando desta forma poupança energética face a soluções convencionais.

## iv – SeCo (Controlador de Segmento)



Figura A2.3 – Controlador de Segmento (SeCo) [62].

O SeCo é a unidade central de gestão que permite, controlar e monitorizar LuCos (Controlador de Luminária).

Este possui um grau de proteção, tendo como única restrição estar localizado num ponto com visibilidade a uma das luminárias da instalação para efeitos de comunicação *wireless*.

É o elemento responsável pela recolha de informações do sistema e envio das mesmas para o servidor, estando este processo de comunicação protegido numa rede VPN. Essa comunicação é feita via TCP/IP, ADSL, GPRS ou 3G.

## 2.2 – Sistema de Gestão Arquicity

As luminárias Arquicity segundo a referência [63] estão preparadas para comunicar por PLC através do protocolo de comunicação que foi desenvolvido para comunicação através da rede de energia da IP.

Este protocolo tem a capacidade de gestão da rede, proporcionando a cada dispositivo a interação com o meio.

O funcionamento da comunicação PLC do Arquicity baseia-se numa interatividade *master-slave*, que permite comunicar bidireccionalmente e parametrizar um conjunto de ações, que serão despoletadas autonomamente, dando resposta a determinados eventos. O controlo e monitorização do mesmo podem ser realizados *online*, através de uma plataforma web.

O master é instalado no Posto de Transformação e os *slaves* estão presentes em cada luminária integrante da rede. Cada luminária possui sistema operativo, que tem a capacidade de executar aplicações transmitidas do sistema principal para a luminária.

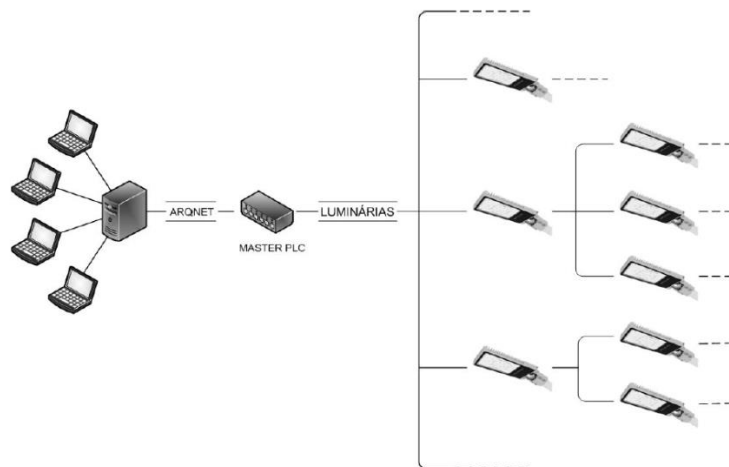


Figura A2.4 – Esquema representativo do sistema de gestão ARQNET [63].

No entanto, existe o limite de 1785 *slaves* ligados por cada *master PLC*.

Qualquer que seja a disposição das luminárias a distância máxima do *master* ao último *slave* é de 600 metros.

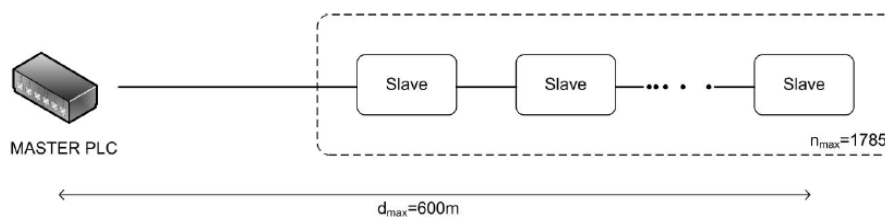


Figura A2.5 – Limites do sistema de gestão [63].