

David Bruno Caldeira Farinha

**DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROJETO
LUMINOTÉCNICO DE UM SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA**



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Instituto Superior de Engenharia

2021/2022

David Bruno Caldeira Farinha

**DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROJETO
LUMINOTÉCNICO DE UM SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA**

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Especialização em Sistemas de Energia e Controlo

Trabalho efetuado sob a orientação de:

Doutor João Manuel Martins Gomes



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Instituto Superior de Engenharia

2021/2022

DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROJETO LUMINOTÉCNICO DE UM SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Declaração de autoria de trabalho

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

David Bruno Caldeira Farinha

Copyright © 2022. Todos os direitos reservados em nome de David Bruno Caldeira Farinha. A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

RESUMO

A Iluminação Pública (IP) está diretamente ligada ao conforto das pessoas e à segurança nas vias públicas. Os principais objetivos são a visibilidade do trajeto a percorrer, a prevenção de criminalidade e a iluminação de monumentos, permitindo o seu embelezamento e destaque noturno.

A finalidade deste projeto é o estudo, desenvolvimento e análise da viabilidade técnico económica de três sistemas de iluminação pública. O primeiro passa pelo recurso à iluminação LED, solução implementada hoje em praticamente todas as ruas do país. A segunda passa por uma solução mais virada para um sistema autónomo, híbrido, capaz de funcionar durante muito tempo desligado da rede, permitindo a poupança do consumo de energia elétrica. O terceiro e último é um sistema completamente independente, capaz de funcionar sem nenhuma energia recebida da rede elétrica, apostando no solar fotovoltaico como fonte de energia primária.

Em Portugal, a IP é responsável por 3% do consumo energético. No entanto, tem-se verificado nos últimos anos uma tendência de aumento da rede de IP (cerca de 4 a 5% por ano), o que implica um conjunto de medidas direcionadas ao aumento da eficiência energética no parque de IP. Este elevado consumo de energia, na iluminação pública, faz com que esta seja uma parte bastante significativa das despesas dos produtores. Por outro lado, também tem havido uma preocupação em reduzir as emissões de dióxido de carbono. Deste modo, nos últimos anos tem-se procurado implementar medidas que levem a uma maior eficiência energética, sendo isto possível com a utilização de novas tecnologias de iluminação, como luminárias LED e/ou sistemas de controlo, gestão de IP e geração de energia através de fontes solares fotovoltaicas.

Os resultados obtidos no estudo das soluções propostas mostram que o melhor cenário é o convencional recurso à iluminação LED. Este sistema apresenta um custo de implementação e manutenção mais reduzido que os restantes.

Os dois sistemas de armazenamento de energia apresentam custos de implementação mais elevados. A vida útil da bateria é um dos custos mais consideráveis do sistema. Tratando-se de sistemas para servir o bem-estar da população, não apresentam retorno de investimento. O estudo comparativo dos investimentos a 14 anos demonstram que a diferença da solução convencional LED para as restantes ascende os 30000€.

ABSTRACT

Street lighting is directly linked to people's comfort and safety on public roads. The main objectives are the visibility of the route, crime prevention and monuments lighting, allowing to show his embellishment and highlighted at night.

The purpose of this project is the study, development and analysis of technical and economic feasibility of three Street lighting systems. First is a LED solution, a solution that is implemented today in practically every street in the country. The second involves a solution more focused on autonomous and hybrid system capable of operating for a long time disconnected from the grid, Allowing savings in electricity consumption. The third and last is a completely independent system, capable of operating without any energy received from the electricity grid, betting on Photovoltaics supply as primary energy.

In Portugal, street lighting is responsible for 3% of energy consumption. However, in recent years there has been an increasing trend in the street lighting network (about 4 to 5% per year), which implies a set of measures aimed at increasing energy efficiency in the street lighting network. The high levels of energy consumption in Street lighting makes it a very significant part of producers' expenses. On the other hand, there has also been a concern of reduce CO2 emissions. Thus, in recent years, efforts have been made to implement measures that lead to higher energy efficiency, which is possible with the use of new lighting technologies, such as LED luminaires and/or control systems, IP management and energy generation through photovoltaic solar sources.

The results obtained in the proposed solutions study reveal that the best scenario is the conventional use of LED lighting. This system has a lower implementation and maintenance cost compared with the others.

The two energy storage systems have higher implementation costs. Battery life is one of the most significant system costs. In the case of systems to serve the well-being of the population, they do not present a return on investment. The comparative study of investments over 14 years reveals that the difference between the conventional LED solution and the others amounts to €30,000.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, um especial agradecimento ao meu professor e orientador João Gomes, por me ter orientado e ajudado no desenvolvimento deste trabalho. Obrigado, pelos ensinamentos, disponibilidade e toda a paciência demonstrada para que a conclusão deste trabalho se realizasse.

À minha família que está sempre ao meu lado em todos os desafios, apoiando-me e dando-me força para continuar este trabalho quando a vontade e motivação se desvanecem.

Aos meus colegas e amigos do Mestrado, que me ajudaram nesta jornada da minha vida, muito obrigado pela partilha de conhecimento e boa disposição.

Muito obrigado a todos, porque sem vocês não tinha sido possível concluir esta dissertação.

Índice

1. Introdução	1
2. Caracterização dos consumos em iluminação pública.....	5
2.1. Consumo energético de iluminação em vias portuguesas	6
2.2. Consumo energético de iluminação pública em Portugal por regiões.....	8
2.3. Dependência energética de Portugal.....	9
2.4. Síntese.....	10
3. Tópicos sobre iluminação	13
3.1. Conceitos de iluminação pública	13
3.1.1. Luminotecnia	13
3.1.2. Parâmetros de uma instalação de iluminação pública	16
3.2. Tipos de lâmpadas	20
3.2.1. Lâmpada de vapor de mercúrio	20
3.2.2. Lâmpada de vapor sódio de baixa pressão	21
3.2.3. Lâmpada de vapor sódio de alta pressão	21
3.2.4. Lâmpada de iodetos metálicos.....	22
3.2.5. Lâmpada de LED.....	22
3.2.6. Ganhos no consumo de energia nos diversos tipos de lâmpadas	23
3.3. Tipos de luminárias	24
3.3.1. Componentes que constituem uma luminária.....	25
3.4. Componentes auxiliares.....	27
3.4.1. Balastros	27
3.4.2. Arrancadores.....	28
3.4.3. Condensadores.....	28
3.5. Sistemas de controlo e gestão IP	28

3.5.1. Interruptores crepusculares.....	29
3.5.2. Relógios astronómicos.....	29
3.5.3. Reguladores de fluxo	30
3.5.4. Sistemas de telegestão	31
3.5.5. Soluções stand-alone	32
3.5.6. Rede autónoma	33
3.5.7. Rede interativa.....	33
3.5.8. Interação de novas tecnologias nos sistemas IP	34
3.6. Síntese.....	35
4. Iluminação Pública – Legislação aplicável	37
4.1. Norma europeia para a iluminação pública – EN 13201	37
4.1.1. EN 13201-1: Escolha das classes de iluminação.....	37
4.1.2. EN 13201-2: Parâmetros fotométricos recomendados	39
4.1.3. EN 13201-3: Cálculo dos parâmetros fotométricos	40
4.1.4. EN 13201-4: Métodos de medição das performances fotométricas	41
4.1.5. EN 13201-5: Indicadores de desempenho energético	41
4.2. Síntese.....	42
5. Sistemas fotovoltaicos	43
5.1. Células fotovoltaicas.....	43
5.2. Componentes do sistema fotovoltaico	44
6. Implementação dos sistemas de iluminação pública	51
6.1. Solução 1 – sistema usual.....	52
6.1.1. Luminária.....	52
6.1.2. Estudo luminotécnico	53
6.1.3. Análise de consumos – Solução 1	57
6.2. Solução 2 – sistema com integração de painel fotovoltaico	60
6.2.1. Luminária.....	61

6.2.2. Estudo luminotécnico	62
6.2.3. Análise de consumos – Solução 2	66
6.3. Solução 3 – sistema com integração de painel fotovoltaico e baterias de apoio	75
6.3.1. Luminária.....	75
6.3.2. Estudo luminotécnico	76
6.3.3. Análise de consumos – Solução 3	79
6.3.4. Equipamentos a instalar.....	79
6.4. Síntese.....	87
7. Análise económica.....	89
7.1. Valor atual líquido (VAL)	89
7.2. Taxa interna de rentabilidade (TIR)	90
7.3. Prazo de recuperação de investimento (PRI).....	91
7.4. Estudo Económico	92
7.4.1. Estudo económico – Solução 1	92
7.4.2. Estudo económico – Solução 2.....	94
7.4.3. Estudo económico – Solução 3.....	95
7.5. Síntese.....	96
8. Conclusões.....	97
Referências Bibliográficas.....	99
Anexo A – Tabelas referentes à EN 13201	103
Anexo B – Termos e referências dos equipamentos.....	111
Anexo C – Radiação Solar e perfis de consumo	121
Anexo D – Orçamento	125

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Consumo energético em Portugal em 2020	6
Figura 2.2: Consumo energético em Portugal em 2020.....	6
Figura 2.3: Evolução do consumo energético na iluminação pública em Portugal entre 2000 e 2020.....	7
Figura 2.4: Consumo na iluminação pública em Portugal por regiões em 2020.....	7
Figura 3.1: Paralelismo dos conceitos associados a Radiometria e Fotometria.....	12
Figura 3.2: Luminância.....	12
Figura 3.3: Iluminância.....	13
Figura 3.4: Fluxo luminoso.....	13
Figura 3.5: Fluxos de saída da luminária.....	14
Figura 3.6: Aparência do mesmo local com fontes luminosas de temperaturas de cor diferentes.....	15
Figura 3.7: Classificação energética das instalações IP (2016).....	16
Figura 3.8: Fator de manutenção de uma instalação.....	17
Figura 3.9: Fator de sobrevivência da lâmpada num intervalo de tempo.....	17
Figura 3.10: Fator de manutenção da luminária.....	18
Figura 3.11: Exemplo de lâmpada HPM.....	19
Figura 3.12: Exemplo de lâmpada LVPS.....	19
Figura 3.13: Exemplo de lâmpada de vapor de sódio alta pressão.....	20
Figura 3.14: Exemplo de lâmpada de iodetos metálicos.....	20
Figura 3.15: Exemplo de lâmpada LED.....	21
Figura 3.16: Exemplo de luminárias funcionais em IP.....	22
Figura 3.17: Exemplo de luminárias decorativas em IP.....	23
Figura 3.18: Exemplo de luminária e seus componentes	24
Figura 3.19: Exemplo de um refrator.....	24
Figura 3.20: Balastro magnético para lâmpadas de vapor de mercúrio.....	25
Figura 3.21: Balastro eletrónico.....	25
Figura 3.22: Arrancador para lâmpadas de descarga.....	26
Figura 3.23: Condensador para lâmpadas de descarga.....	26
Figura 3.24: Interruptor crepuscular.....	27
Figura 3.25: Relógio astronómico.....	28

Figura 3.26: Exemplo de perfil de regulação de fluxo.....	30
Figura 3.27: Exemplo de funcionamento de um sistema de telegestão com sensores de movimento e direção.....	30
Figura 3.28: Exemplo de funcionamento de iluminação por sensores.....	31
Figura 3.29: Exemplo de funcionamento wireless entre luminárias	31
Figura 3.30: Estrutura do sistema inteligente de controlo IP da Solidmation	32
Figura 5.1: Célula de silício monocristalino e policristalino	42
Figura 5.2: Sistema autónomo para cargas AC e DC.....	43
Figura 5.3: Curvas características I-V e P-V de uma célula de silício cristalino, nas condições STC.....	44
Figura 5.4 (a): Características de um inversor central de elevada potência.....	46
Figura 5.4 (b): Características de um inversor central de baixa potência.....	46
Figura 6.1: Identificação do local de estudo (antes da remodelação).....	49
Figura 6.2: Luminária Siteco Modelo 40 micro.....	50
Figura 6.3: Esquema de controlo do módulo Osram OT4DIM.....	51
Figura 6.4: Horários dos ciclos de consumo de energia elétrica.....	56
Figura 6.5: Luminária SunStay da Philips.....	59
Figura 6.6: Regulação standart do controlador PIR da luminária SunStay.....	60
Figura 6.7: Representação das zonas de luminárias em zonas de cálculo.....	64
Figura 6.8: Produção da bateria estimada para um sistema fotovoltaico off-grid – Zona 1. (Gráfico retirado do relatório PVGIS do Apêndice A).....	66
Figura 6.9: Performance da bateria estimada para um sistema fotovoltaico off-grid – Zona 1. (Gráfico retirado do relatório PVGIS do Apêndice A).....	67
Figura 6.10: Probabilidade do estado da bateria no final do dia para um sistema fotovoltaico off-grid – Zona 1 (Gráfico retirado do relatório PVGIS do Apêndice A).....	67
Figura 6.11: Produção da bateria estimada para um sistema fotovoltaico off-grid – Zona 2 (Gráfico retirado do relatório PVGIS do Apêndice A).....	68
Figura 6.12: Performance da bateria estimada para um sistema fotovoltaico off-grid – Zona 2 (Gráfico retirado do relatório PVGIS do Apêndice A).....	68
Figura 6.13: Probabilidade do estado da bateria no final do dia para um sistema fotovoltaico off-grid – Zona 2 (Gráfico retirado do relatório PVGIS do Apêndice A).....	69
Figura 6.14: Produção da bateria estimada para um sistema fotovoltaico off-grid – Zona 3 (Gráfico retirado do relatório PVGIS do Apêndice A).....	70

Figura 6.15: Performance da bateria estimada para um sistema fotovoltaico off-grid – Zona 3 (Gráfico retirado do relatório PVGIS do Apêndice A).....	70
Figura 6.16: Probabilidade do estado da bateria no final do dia para um sistema fotovoltaico off-grid – Zona 3 (Gráfico retirado do relatório PVGIS do Apêndice A).....	71
Figura 6.17: Luminária Philips ClearWay Gen 2 BGP307-6900lm, 40.5W.....	73
Figura 6.18: Capacidade disponível versus Tempo de carregamento a 2.30 Vpc, Corrente de carregamento a 1.5.I1. DOD = Depth of Discharge.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: poupança energética com regulação de fluxo por tipo de lâmpada.....	21
Tabela 3.2: Comparação das características dos sistemas de controlo.....	34
Tabela 6.1: Resultados de cálculo DialuxEvo® – Solução 1.....	53
Tabela 6.2: Estimativa de consumos de energia do sistema sem função dimming.....	56
Tabela 6.3: Análise de custos associados à IP sem controlo dimming.....	57
Tabela 6.4: Análise de custos associados à IP com controlo dimming.....	58
Tabela 6.5: Resultados de cálculo DialuxEvo® – Solução 2.....	62
Tabela 6.6: Previsão de consumo para sistema de luminária fotovoltaica.....	72
Tabela 6.7: Resultados de cálculo DialuxEvo® – Solução 3.....	75
Tabela 6.8: Consumo médio do sistema por período de funcionamento.....	77
Tabela 6.9: Irradiação solar mensal para a cidade de Loulé. (Tabela retirada dos valores do relatório PVGIS do Apêndice B).....	78
Tabela 6.10: Características do PV proposto (valores retirados do Anexo B).....	79
Tabela 6.11: Parâmetros para dimensionamento do sistema fotovoltaico.....	80
Tabela 6.12: Parâmetros do inversor do sistema fotovoltaico.....	85
Tabela 7.1: Estudo económico para a solução LED (Solução 1).....	90
Tabela 7.2: Estudo económico para a solução LED com fotovoltaico (Solução 2).....	91
Tabela 7.3: Estudo económico para a solução LED com fotovoltaico e baterias (Solução 3).....	92
Tabela A1: Classificação das vias e seleção da categoria de iluminação.....	100
Tabela A2: Comparação de categorias de iluminação.....	100
Tabela A3: Categorias de iluminação adicional.....	101
Tabela A4: Influência dos parâmetros (se relevante) a considerar para referências das categorias de iluminação mencionadas na tabela A1, para definir a categoria de iluminação no projeto.....	101
Tabela A5: Categorias de iluminação da Classe MEW: Vias para veículos motorizados onde o cálculo de iluminância é aplicável. Tabela válida em condições atmosféricas secas.....	102
Tabela A6: Categorias de iluminação da Classe MEW: Vias para veículos motorizados onde o cálculo de iluminância é aplicável. Tabela válida em condições atmosféricas.....	102
Tabela A7: Seleção das classes de iluminação.....	103

Tabela A8: Relação entre as classes da estrada adjacente e a área de conflito.....	105
Tabela A9: Categorias de iluminação CE: vias para veículos motorizados onde o cálculo de luminância não é aplicável.....	105
Tabela A10: Categorias de iluminação S: ciclovias e vias.....	106
Tabela A11: Categorias de iluminação A: ciclovias e vias para pedestres.....	106
Tabela A12: Categorias de iluminação ES: iluminação hemisférica.....	106
Tabela A13: Categorias de iluminação EV: identificação de superfícies verticais.....	107
Tabela A14: Variação da categoria de iluminação relacionada com a influência dos parâmetros.....	107

LISTA DE ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

- AC – Corrente Alternada (*Alternating Current*)
- BTN – Baixa Tensão Normal
- CFL – Lâmpada Florescente Compacta (*Compact Fluorescent Lamp*)
- CLO – Constant Light Output
- DALI - Digital Addressable Lighting Interface
- DC – Corrente Contínua (*Direct Current*)
- DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia
- DLOR – Fluxo Luminoso Descendente (*Downward Light Output Ratio*)
- DOD – Profundidade de Descarga (*Depth of Discharge*)
- EDP – Energias de Portugal
- EU – União Europeia
- ERSE – Entidade Reguladora de Serviços Energéticos
- FV – Fotovoltaico
- GEE – Gases Efeito de Estufa
- GPS – Sistema de Posicionamento Global (*Global Position System*)
- HID – Descarga de Alta Intensidade (*High Intensity Discharge*)
- HPS – Lâmpada de Vapor de Sódio Alta Pressão (*High Pressure Sodium*)
- IP – Iluminação Pública
- IV – Infravermelho
- LED – Light Emitting Diode
- LOR – Rácio de Saída de Fluxo Luminoso (*Light Output Ratio*)
- LVPS – Lâmpada de Vapor de Sódio de Baixa Pressão
- MPP – Ponto Ótimo de Funcionamento à Máxima Potência (*Best Efficiency Point*)
- Off-Grid – Sistema Desligado da Rede de Energia Elétrica
- PAM – Pedido de Aprovação de Material
- PIR – Sensor de Movimento
- PNEC – Plano Nacional Integral de Energia e Clima
- PT – Posto de transformação
- REN – Redes Energéticas Nacionais
- SSL – Ligações seguras
- STC – Condições Normais de Ensaio (*Standard Test Conditions*)

ULOR – Fluxo Luminoso Ascendente (*Upward Light Output Ratio*)

UV – Radiação ultravioleta

VPO – Potência virtual de saída (*Virtual Power Output*)

1. INTRODUÇÃO

Este relatório enquadra-se no âmbito da obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, curso lecionado na Universidade do Algarve. Reflete o trabalho desenvolvido durante o período de estágio que decorreu no Grupo Rolear, em Faro. O Grupo Rolear S.A. foi constituído em 1973 e surgiu no mercado com uma oferta de soluções completas e personalizadas nas áreas de comercialização, assistência técnica, material elétrico e eletromecânico. Atualmente a Rolear incorpora a empresa Rolear Mais, especializada em distribuição de material elétrico e eletromecânico, a Rolegás, que garante a distribuição e infraestruturas de gás propano e a Rolear.On, empresa responsável por efetuar montagens, manutenção industrial e de equipamentos, a qual atualmente incorporo. Como funcionário da empresa, as funções profissionais incluem essencialmente planeamento de obras de eletricidade e telecomunicações, desde a análise dos projetos e preparação da sua construção, análise e aquisição de todo o equipamento necessário à obra, realização de PAMs (Pedido de Aprovação de Material) e auto de medições para faturação.

A iluminação pública está inserida em praticamente todos os trabalhos de infraestruturas elétricas que são desenvolvidos na empresa e, como tal, fazia todo o sentido complementar o trabalho desenvolvido a nível profissional com a elaboração deste relatório.

A energia elétrica é um bem de consumo cuja importância vem crescendo no decorrer das últimas décadas de maneira acelerada, devido ao seu papel como insumo básico nos processos de produção industrial assim como no setor de prestações de serviços e comércio em geral, além do conforto que proporciona nas casas das pessoas.

O ritmo atual das atividades humanas tem-se traduzido em danos quase irreparáveis no ambiente, causando alterações climáticas que culminaram no recente aquecimento global. O consumo de energia, principalmente baseado em combustíveis fósseis, associado a estas atividades está na origem de 80% das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) na União Europeia (UE). A UE, no âmbito de uma redução drástica das emissões de GEE, aumentou a sua intervenção ao nível global da sustentabilidade energética, incluindo a adoção de tecnologias mais eficientes em sistemas de iluminação pública, nos seus programas de redução de emissões de dióxido de carbono.

Atualmente, a iluminação pública é responsável por 2,3% do consumo global de eletricidade, até 80% da utilização de eletricidade e 60% dos custos de energia por parte dos

municípios [1]. Note-se que atualmente 3,19% da geração global de eletricidade é utilizada para iluminação [2]. O papel estratégico do sector de iluminação pública como impulsionador do desenvolvimento económico, tecnológico e social das cidades justifica o compromisso cada vez maior das autoridades municipais com a eficiência energética e os sistemas de iluminação pública alimentados por fontes de energia renovável [3].

Nesse sentido, a UE disponibiliza vários instrumentos políticos. Um dos mais importantes é o “Covenant of Majors” que agrupa autoridades locais e regionais europeias, comprometendo-se voluntariamente estes grupos com a melhoria da eficiência energética e a utilização de fontes de energia renováveis nos seus territórios [2].

Os sistemas iluminação pública habitualmente usam lâmpadas convencionais de descarga. Com o advento das lâmpadas LED (*Light Emitting Diode*) ultra brilhantes de baixa potência, os sistemas de iluminação pública mudaram radicalmente. As lâmpadas LED apresentam melhor rendimento e menor consumo de energia (30 a 60%) do que as lâmpadas convencionais de vapor de sódio de alta pressão [3]. As vantagens das lâmpadas LED são o baixo consumo de energia e baixa geração de calor, segurança ambiental, capacidade de controlo do fluxo luminoso, estabilidade mecânica e de temperatura, resistência a flutuações de tensão, longa vida útil, boa restituição cromática e nenhuma cintilação [4].

Os novos sistemas de iluminação pública podem ainda proporcionar novos serviços, em que cada luminária tem uma identificação única e se encontra integrada numa rede inteligente para fazer a gestão da iluminação (variação do fluxo luminoso, deteção de avarias, manutenção preditiva, e controlo biodinâmico da temperatura de cor) [1-5]. Vai ser possível também implementar redes de comunicação de alta velocidade sem fio, que vão servir de suporte a sistemas de localização com desempenho mais preciso que o GPS (*Global Position System*) e que vão viabilizar numerosos serviços nas cidades do futuro, tais como redes distribuídas para monitorização da qualidade do ambiente e do tráfego [4].

No desenvolvimento do Plano Nacional Integral de Energia e Clima 2021-2030 (PNEC 2030), Portugal visa promover a eficiência energética na Iluminação Pública (IP), promovendo o investimento numa IP eficiente e de nova geração, permitindo a introdução de novas funcionalidades e aplicações para gestão e controlo de consumo, e potenciando as Cidades Inteligentes. O plano de requalificação energética da IP terá como objetivo criar condições para melhoria da qualidade de iluminação de vias e espaços públicos, mas também reduzir o consumo de energia, enquanto é promovido o cadastro das infraestruturas existentes e a requalificação em conformidade com as necessidades de cada caso [6].

Em Portugal, a IP é responsável por 3% do consumo energético. No entanto, tem-se verificado nos últimos anos uma tendência de aumento da rede de IP (cerca de 4 a 5% por ano), o que implica um conjunto de medidas direcionadas ao aumento da eficiência energética no parque de IP [7].

A escolha deste tema deve-se ao facto de, enquanto estagiário na Rolar.ON, concretamente na área das infraestruturas elétricas, aprofundar conhecimentos e ganhar experiência em toda a sua envolvimento na área de iluminação pública e obter conhecimento de sistemas renováveis dedicados ao fotovoltaico que podem ser uma fonte alternativa de energia para alimentar os circuitos de iluminação pública.

Neste sentido, este trabalho apresenta os seguintes objetivos:

Identificar e aplicar a legislação adequada à implementação de sistemas de iluminação pública;

- Identificar soluções (técnicas, equipamentos, outras) de iluminação pública;
- Identificar sistemas de controlo, gestão e de alimentação que permitem contribuir para a melhoria da eficiência energética de um sistema de iluminação pública;
- Elaborar o projeto luminotécnico de um sistema de iluminação pública real, aplicando adequadamente a respetiva legislação e identificando os equipamentos a instalar e soluções a implementar que contribuam para o seu desempenho eficiente;
- Simular o sistema de iluminação pública atualmente projetado;
- Efetuar a análise económica da solução atualmente proposta;
- Comparar a solução atual com as soluções propostas neste trabalho.

Relativamente à estrutura deste trabalho, este encontra-se dividido em sete capítulos.

O primeiro capítulo corresponde à introdução. O segundo relata os consumos de energia elétrica na iluminação pública e os planos traçados para Portugal atingir uma economia neutra em carbono até 2050. No terceiro serão abordados os tipos de lâmpadas que constituem o sistema de iluminação pública português bem como os seus métodos de gestão e controlo. O quarto aborda a legislação aplicável à iluminação pública. No quinto capítulo são abordados todos os componentes constituintes de um sistema fotovoltaico e como podem ser dimensionados. O capítulo 6 analisa um troço de iluminação pública associado a um edifício industrial que será posteriormente remodelado. Este capítulo apresenta três soluções diferentes para o mesmo troço, comparando diferentes tecnologias de forma a identificar a que torna mais

eficiente o trecho em estudo. Por último, no capítulo sete, é apresentado um estudo comparativo de viabilidade técnica e económica das três soluções propostas.

2. CARACTERIZAÇÃO DOS CONSUMOS EM ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Portugal assumiu o compromisso de transitar para uma economia neutra em carbono até 2050 naquele que é o contributo nacional, no quadro europeu, para o esforço de combate às alterações climáticas assumido no acordo de Paris.

O plano Nacional de Energia e Clima 2030 (PNEC), é o primeiro de um novo ciclo de políticas integradas de energia e clima. É por isso um instrumento pioneiro e inovador que traduz uma abordagem convergente e articulada para concretizar a visão que Portugal defende: promover a descarbonização da economia e a transição energética, visando a neutralidade carbónica em 2050, enquanto oportunidade para o país, assente num modelo democrático e justo de coesão territorial que potencie a geração de riqueza e o uso eficiente de recursos.

As metas e os objetivos para o setor de energia em Portugal são [8]:

- Atingir uma incorporação de 47% fontes renováveis no consumo final de energia e de 80% de renováveis na produção de eletricidade;
- Reduzir para 65% a dependência energética do exterior e reduzir em 35% o consumo de energia primária.

Trata-se de um compromisso ambicioso na descarbonização da economia visto o país importar todo o petróleo, gás e carvão que consome.

Para dar cumprimento à visão estratégica do país e garantir a execução dos objetivos definidos para o horizonte 2030, Portugal definiu oito principais objetivos numa lógica de energia e clima [8]:

- 1) Descarbonizar a economia nacional, assegurando uma trajetória de redução de emissões nacionais com efeito de estufa em todos os setores de atividade, designadamente energia e indústria, mobilidade e transportes, agricultura e florestas, resíduos e águas residuais e promover a integração dos objetivos de mitigação nas políticas sectoriais;
- 2) Dar prioridade à eficiência energética, reduzindo o consumo de energia primária nos vários setores num contexto de sustentabilidade e custo eficaz, apostando na eficiência energética e no uso eficientes de recursos, privilegiando a reabilitação e a renovação do edificado, e promover edifícios de emissões zero;

- 3) Reforçar a aposta nas energias renováveis e reduzir a dependência energética do país, reforçando a diversificação de fontes de energia através de uma utilização crescente e sustentável de recursos endógenos (recursos naturais e matérias primas) e promover o aumento da eletrificação da economia;
- 4) Garantir a segurança de abastecimento, assegurando a manutenção de um sistema resiliente e flexível, com diversificação das fontes e origens de energia, reforçando, modernizando e otimizando as infraestruturas energéticas, promovendo a reconfiguração e a digitalização do mercado de energia;
- 5) Promover a mobilidade sustentável, descarbonizando o setor dos transportes, com um melhor funcionamento do transporte coletivo, promovendo a mobilidade elétrica e ativar o uso de combustíveis alternativos limpos.
- 6) Promover uma agricultura sustentável e potenciar o sequestro de carbono, reduzindo a intensidade carbónica das práticas agrícolas e promover uma gestão agroflorestal eficaz, contribuindo para aumentar a capacidade de sumidouro natural (ponto em que um curso de água penetra no solo).
- 7) Desenvolver uma indústria inovadora e competitiva, promovendo a modernização industrial apostando na inovação, na descarbonização e na circularidade e assim contribuir para o aumento da competitividade da economia.
- 8) Garantir uma transição justa, democrática e coesa, reforçando o papel do cidadão como agente ativo na descarbonização e na transição energética, combatendo a pobreza energética e criar instrumentos para a proteção dos cidadãos vulneráveis.

2.1. CONSUMO ENERGÉTICO DE ILUMINAÇÃO EM VIAS PORTUGUESAS

O setor de iluminação pública constitui um dos setores onde o consumo de energia elétrica é considerável. Torna-se assim necessário efetuar uma avaliação das soluções existentes no que diz respeito ao consumo energético de sistemas de iluminação pública, tendo em conta objetivos de eficiência energética.

No ano de 2020, o total de energia elétrica consumida em Portugal foi de 53.054 GWh [9], repartindo-se conforme os gráficos representados nas figuras 2.1 e 2.2.

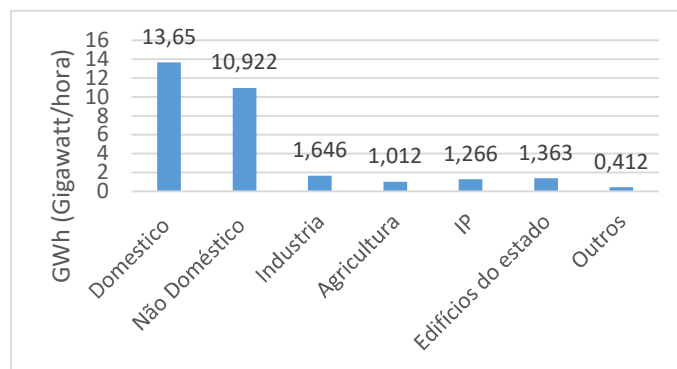


Figura 2.1: Consumo energético em Portugal em 2020 [9]

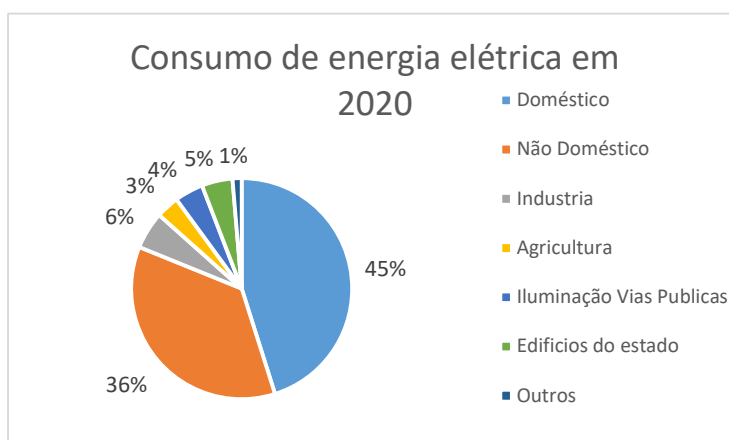


Figura 2.2: Consumo energético em Portugal em 2020 [9]

Pela análise da figura 2.2, podemos verificar que 4% da energia total consumida em Portugal no ano de 2020 refere-se à iluminação pública, o que corresponde a cerca de 1.27 GWh.

Efetuada uma breve análise aos restantes consumos, podemos verificar que a maior percentagem de energia consumida se refere ao consumo doméstico e não doméstico, correspondendo a 45% e 36%, respetivamente.

O gráfico representado na figura 2.3 ilustra o consumo energético relativo à iluminação pública entre 2000 e 2020.

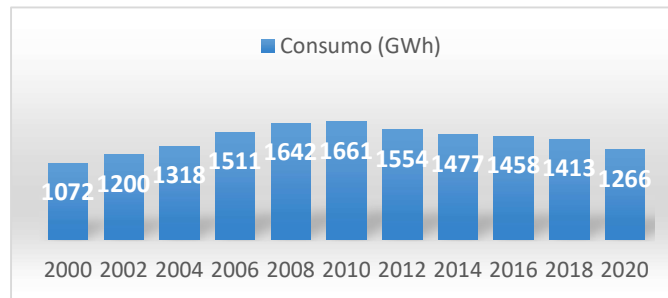


Figura 2.3: Evolução do consumo energético na iluminação pública em Portugal entre 2000 e 2020 [9]

Pela análise do gráfico da figura 2.3, constata-se que entre o ano de 2000 e 2010 houve um aumento do consumo de energia elétrica por parte da iluminação pública. Este aumento é justificado pela introdução de novas infraestruturas que vão sendo implementadas ao longo dos anos, para satisfazer as necessidades de iluminação que a construção acarreta. As construções de novas vias contribuem para o aumento de consumo de energia elétrica na iluminação pública, que em nada contemplavam a eficiência energética e energias renováveis.

A partir do ano de 2010 começa-se a registar uma diminuição no consumo de energia elétrica por parte da iluminação pública, isto devido ao aumento tecnológico e ao começo da substituição e introdução das luminárias LED. Com esta tecnologia, é possível registar um aumento do fluxo luminoso a partir de aparelhos de iluminação com consumos de energia inferiores.

2.2. CONSUMO ENERGÉTICO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA EM PORTUGAL POR REGIÕES

O gráfico da figura 2.4 representa o consumo de energia elétrica por parte da iluminação pública no ano de 2020 por as diferentes regiões de Portugal.

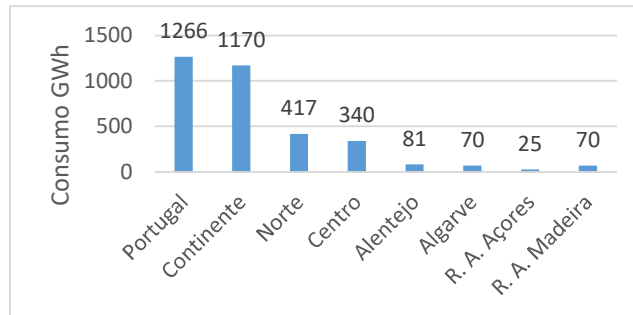


Figura 2.4: Consumo de iluminação pública em Portugal por regiões em 2020 [9]

Pela análise da figura anterior, é possível constatar que Portugal Continental é onde se regista o maior consumo de energia elétrica por parte da iluminação pública, traduzido em 1266 GWh, com a região Norte e Centro como as maiores consumidoras, seguindo-se o Alentejo e o Algarve.

As diferenças constatadas dizem respeito, naturalmente, às necessidades de iluminação das vias. Na região do Norte e Centro é onde se encontram as cidades com mais fluxo populacional e com mais vias de acesso às diversas cidades que constituem a região. Outro aspeto importante prende-se com a iluminação das vias não principais, como é o caso das estradas municipais, que são em número considerável, dado a existência de uma população difusa no Norte do país.

2.3. DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA DE PORTUGAL

Um dos principais objetivos da política energética nacional é a redução da dependência energética do exterior, estando estabelecido no PNEC 2030 o valor de 65% em 2030. Nos últimos vinte anos, Portugal tem apresentado uma dependência energética entre 70% e 90%, consequência da inexistência de produção nacional de fontes de energia fósseis, como o petróleo ou gás natural, que têm um peso muito significativo no consumo total de energia primária. A aposta nas energias renováveis e na eficiência energética, tem permitido a Portugal baixar a sua dependência energética para níveis inferiores a 80%. Com a contabilização do contributo da produção de energia renovável pelas bombas de calor a partir de 2014, a dependência energética recuou cerca de 2% [10].

Segundo dados divulgados pela Redes Energéticas Nacionais (REN), a produção de energia renovável abasteceu 59% do consumo de eletricidade em Portugal em 2021. Do total de 4514

GWh de eletricidade consumida no País no ano passado, 26% correspondem a energia eólica, 27% a hidroelétrica. 7% a biomassa e 3,5% a fotovoltaica.

No caso da energia solar fotovoltaica, ainda que tenha continuado a ser menos significativa no conjunto das renováveis, teve um crescimento de 37% face ao ano de 2020. A produção não renovável abasteceu 31% do consumo, repartida por gás natural com 29% e carvão, com a última central encerrada no final de novembro (Pego, em Abrantes), a representar menos de 2%. Os restantes 10% correspondem a energia importada [11].

2.4. SÍNTESE

Atualmente, a necessidade de diminuir o consumo energético e investir em formas alternativas de geração de energia, principalmente de forma renovável, tem-se tornado mais evidente.

A utilização racional de energia começa com a consciencialização dos cidadãos para a importância e impacto das suas atitudes. Com o aumento da energia elétrica de ano para ano, a utilização de equipamentos mais eficientes torna-se fulcral. A iluminação elétrica, pode ser um bom exemplo de como reduzir drasticamente o consumo de energia elétrica.

No que diz respeito à iluminação pública, em 2021 o preço aplicado à iluminação pública rondou os 0,013 €/kWh. Este preço tem tendência para a aumentar, logo torna-se essencial apostar em fontes de energia elétrica renováveis, por exemplo a partir de energia solar.

Em relação aos consumos de energia para iluminação pública em Portugal, a zona do grande Porto e de Lisboa representam a maior fatia de consumo, seguindo-se o Alentejo e o Algarve. Em relação a Portugal insular, a região Autónoma da Madeira é a maior consumidora, seguindo-se a Região Autónoma dos Açores.

Relativamente ao consumo de energia, Portugal está menos dependente do exterior. Em 2009 apresentava uma dependência energética de 81.2% e em 2019 esse valor situou-se nos 74,2% sendo um dos principais objetivos da política energética nacional a redução dessa dependência para 65% em 2030, conforme estabelecido no Plano Nacional Energia Clima (PNEC). Na União Europeia, Portugal foi o 8º país com a maior dependência energética e 16 pontos percentuais acima da média da União Europeia que foi de 57,8% [10].

Em 2020, o saldo importador de produtos energéticos foi de 2 914 milhões de euros o que, face a 2019, representou uma redução de 38,6% em euros e de 37,4% em dólares.

Globalmente, em 2020, tanto as importações como as exportações reduziram significativamente, face a 2019, quer em quantidade quer em valor [10].

3. TÓPICOS SOBRE ILUMINAÇÃO

No sentido de ser possível proporcionar uma iluminação adequada aos requisitos de um local específico, é necessário ter em conta alguns fatores que conjugados tornam o sistema mais eficiente.

Para perceber os diversos fenómenos que ocorrem na iluminação em geral e na IP em particular é necessário em primeiro lugar descrever diversos conceitos que permitem qualificar e quantificar a física responsável pelos acontecimentos que são observados. Com esse intuito seguem as descrições das manifestações e grandezas mais relevantes para o estudo em causa.

Neste capítulo serão ainda apresentados os tipos de lâmpadas que constituem o sistema de IP português bem como os seus métodos de gestão e controlo.

3.1. CONCEITOS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

3.1.1. LUMINOTECNIA

A luminotecnica estuda a aplicação da iluminação artificial em espaços interiores e espaços exteriores. Esta possui várias técnicas que permitem encontrar as medidas das grandezas luminosas. Estão divididas em dois grandes campos, a fotometria e a radiometria. A radiometria preocupa-se com toda a radiação do espectro eletromagnético emitido por uma fonte, a fotometria apenas se debruça sobre a radiação visível (luz).

A figura 3.1 ilustra os fenómenos que correspondem à IP, ou seja, existe uma fonte que irradia luz que incide sobre uma superfície. A luminária projeta luz que atinge a estrada, que é então refletida para o olho e permite a identificação de objetos presentes na via.

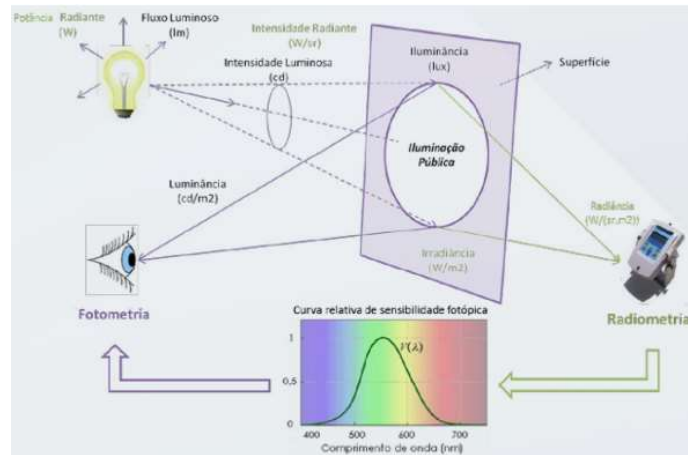


Figura 3.1: Paralelismo dos conceitos associados à Radiometria e à Fotometria [12]

Abaixo estão descritos os diversos conceitos ilustrados na figura anterior:

- Lâmpada: Unidade constituída por uma ou mais fontes de luz. Pode ter diversos equipamentos adicionais como arrancadores, componentes de distribuição, filtragem ou de transformação.
- Radiância: Potência radiante por unidade de ângulo sólido por unidade de área.
- Irradiância: Potência radiante por unidade de área.
- Luminância: Medida da intensidade da luz refletida numa determinada direção, que descreve a quantidade de luz que atravessa ou é emitida de uma superfície, segundo um ângulo sólido (ver figura 3.2). A unidade é o cd/m^2 .

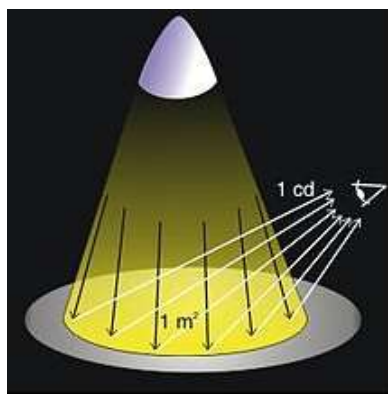


Figura 3.2: Luminância [12]

- Iluminância: Quantidade de fluxo luminoso recebido pela área incidente. É obtida pelo quociente entre o fluxo luminoso incidente e a área de superfície (ver figura 3.3). A unidade é o lux (lx).

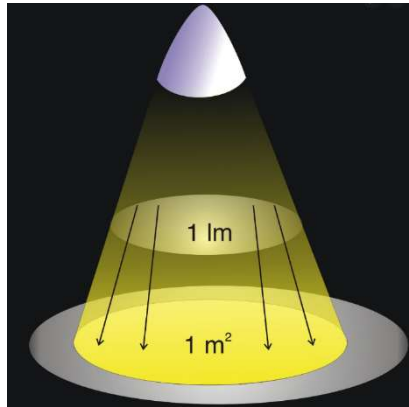


Figura 3.3: Iluminância [14]

- Intensidade luminosa de uma fonte de luz: Medida da percepção da potência emitida por uma fonte luminosa em uma dada direção. A unidade é a candela (cd).
- Fluxo luminoso: Quantidade de luz emitida em todas as direções por uma fonte de luz (ver figura 3.4). A unidade é o lúmen (lm).

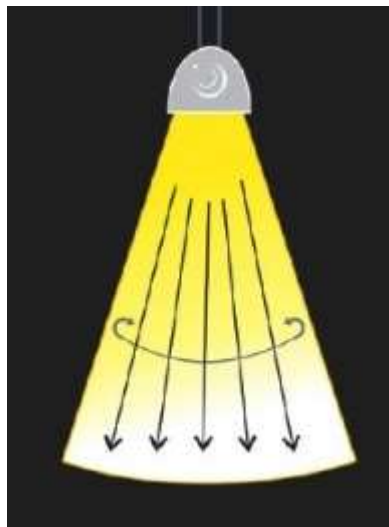


Figura 3.4: Fluxo luminoso [15]

O rácio de saída do fluxo luminoso (LOR) é definido por outros dois termos. Fluxo Luminoso Ascendente (ULOR) que se refere ao rácio de fluxos emitidos para cima pela luminária e o Fluxo Luminoso Descendente (DLOR) que é o rácio de fluxos luminosos emitidos para baixo. Analisando a figura 3.5, é possível identificar estes dois termos e as suas direções de divergência a partir da origem da luz.

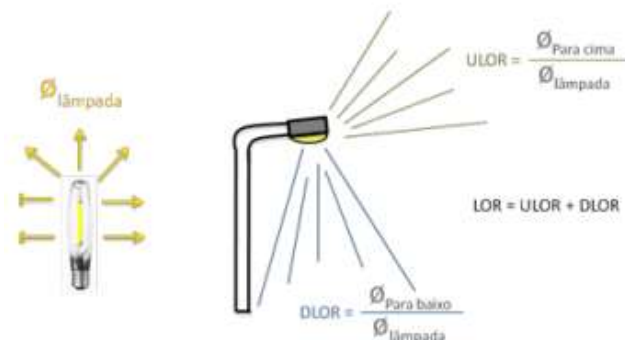


Figura 3.5: Fluxos de saída da luminária [13]

3.1.2. PARÂMETROS DE UMA INSTALAÇÃO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

As novas tecnologias de iluminação pública permitem proporcionar condições de conforto visual, segurança de pessoas e de bens, reduzidas necessidades de manutenção, de forma crescente e sustentável. A revolução concretizou-se com a utilização da iluminação de estado sólido (LED), que apresenta um enorme potencial para reduzir drasticamente os consumos.

Estas tecnologias permitem o controlo de fluxo luminoso em função das necessidades em cada momento, assim como o direcionamento do fluxo, minimizando o desperdício e poluição sonora. Outro aspeto relevante tem a ver com a resposta fisiológica à luz, para proporcionar bem-estar e minimizar os impactos da luz artificial na saúde humana. Existem soluções eficientes de tecnologia LED com uma temperatura de cor, que permite assegurar não só uma boa restituição cromática, mas também evitar efeitos negativos na saúde.

Os parâmetros a ter em conta a quando da escolha de luminárias para os diferentes locais são os seguintes: temperatura de cor, índice de restituição de cor, tempo de vida, índice de eficiência energética, fator de utilização, brilho encadeante, uniformidade, fator de manutenção de uma instalação, fator de sobrevivência da lâmpada e fator de manutenção da luminária.

A temperatura de cor é uma das características da luz visível, determinada pela comparação da sua saturação cromática com a de um corpo negro. Ou seja, é a temperatura a que um corpo negro irradia a mesma da fonte luminosa. A unidade é o Kelvin (K).

Elevadas temperaturas de cor correspondem a cores frias, logo, quanto mais elevada for, mais fria será a cor. Na iluminação de espaços públicos podem-se considerar três gamas de luz branca. A figura 3.6 mostra as diferentes cores no mesmo espaço público, observando-se a influência que cada cor representa no espaço público.



Figura 3.6: Aparência do mesmo local com fontes luminosas de temperaturas de cor diferentes [15]

Na figura 3.6, é possível observar no primeiro segmento da imagem a temperatura quente (3000 K), seguida da neutra (4000 K) e posteriormente da fria (5500 K). É possível constatar que quanto mais fria a cor, mais elevada é a temperatura e, quanto mais quente é a cor, menor é a temperatura. A luz branca por sua vez, representa um espectro mais alargado em relação a uma luz mais monocromática alaranjada. Todos estes aspetos de cor potencializam a sensação de conforto, reconhecimento e segurança dos utilizadores da via.

O índice de restituição de cor indica a capacidade de uma fonte luminosa restituir fielmente as cores de um objeto ou de uma superfície iluminada. Este número está compreendido entre 0 e 100%.

O tempo de vida é indicado pelo índice de mortalidade, que representa o número de horas após as quais 50% de um certo número de lâmpadas acesas deixa de emitir fluxo luminoso e, pelo tempo no qual o fluxo luminoso inicial das lâmpadas testadas foi reduzido em cerca de 30%.

O índice de eficiência energética é definido pela relação entre o produto da superfície iluminada pela iluminação média em serviço da instalação e a potência total instalada. A figura 3.7 representa o guia para a determinação da eficiência energética na IP.



Figura 3.7: Classificação energética das instalações IP (2016) [15]

A figura anterior demonstra como era feita a determinação da classe energética para o ano de 2016 sendo a mesma revista periodicamente para acompanhar as evoluções tecnológicas e as melhores práticas.

O fator de utilização representa o rácio do fluxo luminoso recebido pela superfície que se pretende iluminar com a soma dos fluxos individuais de cada lâmpada da instalação. Este valor depende do rácio de saída do fluxo luminoso, da distribuição de fluxo luminoso da luminária, da reflexão em objetos vizinhos e do espaçamento e altura dos postes vizinhos.

O brilho encadeante é um parâmetro que é mensurável de forma objetiva. Este conceito está diretamente relacionado com a segurança rodoviária visto que provoca desconforto, distração ou mesmo redução na capacidade de observar e interpretar informação crucial.

A uniformidade refere-se a um dos objetivos principais na iluminação de espaços. Providencia a boa iluminação de espaços, de modo a que os obstáculos sejam facilmente detetados. Assim, é necessário que não existam espaços escuros entre as zonas iluminadas, ou seja, que haja uniformidade.

O fator de manutenção de uma instalação é o rácio de iluminância num determinado momento com a iluminância inicial. O valor poderá afetar significativamente a potência da lâmpada a instalar bem como o número de luminárias necessárias para alcançar os valores de iluminância especificados. A figura 3.8 mostra como com o passar do tempo, a iluminância inicialmente projetada para o troço de iluminação diminui com o passar do tempo.

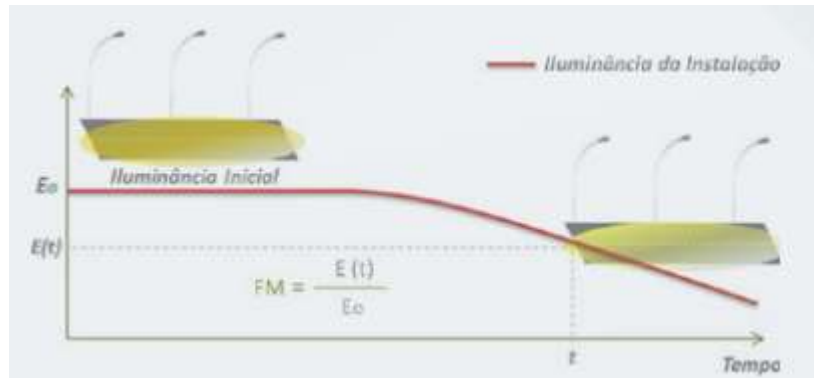


Figura 3.8: Fator de manutenção de uma instalação [15]

O fator de sobrevivência da lâmpada é calculado a partir da fração de lâmpadas que se encontravam em funcionamento no momento inicial e as que continuam a funcionar depois de umas determinadas condições ou momentos de tempo (ver figura 3.9).

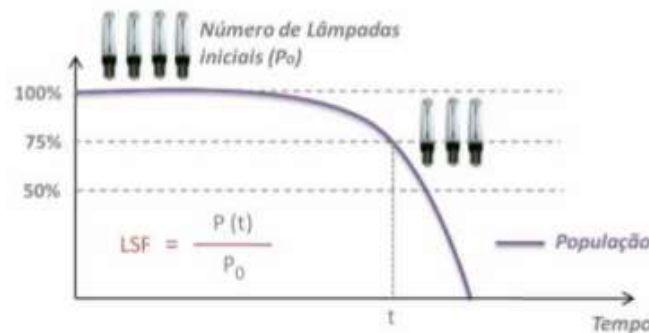


Figura 3.9: Fator de sobrevivência da lâmpada num intervalo de tempo [16]

O fator de manutenção da luminária representa o rácio do fluxo luminoso de saída (LOR) da luminária num dado momento de funcionamento com o seu valor inicial. A figura 3.10 mostra a redução do LOR consoante o tempo de funcionamento da luminária.

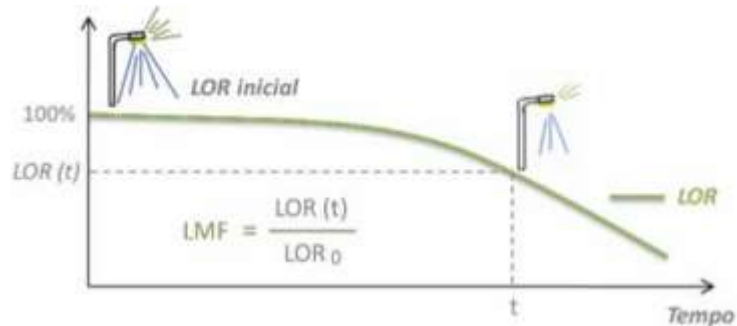


Figura 3.10: Fator de manutenção da luminária [16]

3.2. TIPOS DE LÂMPADAS

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

3.2.1. LÂMPADA DE VAPOR DE MERCÚRIO

As lâmpadas de vapor de mercúrio (HPM), conforme representado na figura 3.11, tem como princípio de funcionamento a descarga entre dois elétrodos, localizados no interior de um tubo no qual existe uma mistura de mercúrio, sob alta pressão e argón. Durante o processo de aquecimento, o mercúrio vaporiza-se gradualmente, sendo emitida uma fonte de luz de fraca intensidade.

Neste tipo de lâmpadas apenas 15% da energia é convertida em radiação visível, sendo os restantes 85% transformados em perdas por convecção e condução e em radiação UV [17].



Figura 3.11: Exemplo de lâmpada HPM [17]

3.2.2. LÂMPADA DE VAPOR SÓDIO DE BAIXA PRESSÃO

As lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão (LPS), figura 3.12, têm como princípio de funcionamento a descarga num tubo de vidro especial em forma de U, contendo uma atmosfera composta de néon e argon, além do sódio, onde se forma o arco elétrico, com um eletrodo em cada extremidade, desenhado para refletir a radiação infravermelha (IV), cujo objetivo é garantir uma temperatura suficientemente elevada para que seja possível a vaporização do sódio, permitindo assim a emissão de luz visível.



Figura 3.12: Exemplo de lâmpada LPS [17]

3.2.3. LÂMPADA DE VAPOR SÓDIO DE ALTA PRESSÃO

Neste tipo de lâmpada, figura 3.13, uma pequena quantidade de sódio misturada com mercúrio é colocada numa cápsula de vidro contendo xénon no seu interior. Durante o processo de aquecimento da lâmpada, o sódio e mercúrio vaporizam-se gradualmente, fazendo com que a lâmpada emita uma luz ténue e, à medida que a pressão vai aumentando, a intensidade de luz vai igualmente aumentando, até estabilizar. Quanto maior for a potência da

lâmpada, maior será a temperatura no seu interior e quanto maior for a temperatura, maior será a pressão do vapor e menor a resistência elétrica da lâmpada [17].

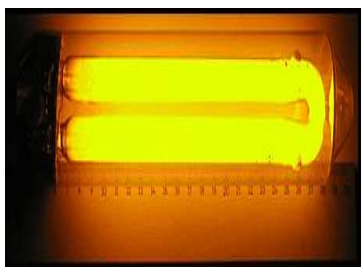


Figura 3.13: Exemplo de lâmpada de vapor de sódio alta pressão (HPS) [17]

3.2.4. LÂMPADA DE IODETOS METÁLICOS

Este tipo de lâmpada, figura 3.14 tem, essencialmente, a mesma constituição que as lâmpadas de vapor de mercúrio, diferindo na mistura de substâncias contida no tubo de descarga. Nas lâmpadas de iodetos metálicos são adicionadas ao mercúrio misturas com emissores iônicos ou com emissores moleculares, obtendo-se uma emissão de luz com um espectro de riscas ou contínuo, respetivamente [17].



Figura 3.14: Exemplo de lâmpada de iodetos metálicos (MH) [17]

3.2.5. LÂMPADA DE LED

A lâmpada de LED, figura 3.15, é baseada no díodo semicondutor, que, quando polarizado, faz com que os eletrões se recombinem no interior do dispositivo, libertando energia na forma de fotões. A luz é emitida numa banda espectral relativamente estreita e é produzida pelas interações energéticas dos eletrões. Os leds já são usados há muito tempo e com sucesso nos mais diversos equipamentos eletrónicos. Mais recentemente começaram a ser usados na sinalização viária e agora está-se a evoluir para a sua aplicação na iluminação pública.

Os LED de cor branca tem vindo a evoluir rapidamente, quer em potência, quer em restituição cromática, de tal forma que, hoje em dia, já conseguem ser uma alternativa à iluminação convencional em todas as suas vertentes.

No entanto uma das grandes limitações deste tipo de tecnologia é a temperatura de funcionamento e o calor que é gerado quando em funcionamento, obrigando os fabricantes a ter especial atenção aos dissipadores que associam às luminárias. Um outro problema é o diminuto ângulo de abertura do feixe, problema que é ultrapassado através de refletores.



Figura 3.15: Exemplo de lâmpada LED [17]

3.2.6. GANHOS NO CONSUMO DE ENERGIA NOS DIVERSOS TIPOS DE LÂMPADAS

Na tabela 3.1 estão referenciadas as poupanças típicas atingidas, de acordo com cada tipo de lâmpada. Convém realçar que estas poupanças são ao nível das lâmpadas, tendo-se uma poupança geral inferior devido às perdas nos balastos, e ao aumento de tensão necessário durante a regulação de forma a compensar as quedas de tensão na linha, no caso dos armários reguladores de fluxo à cabeceira dos PT (Postos de Transformação), de forma a garantir que todas as lâmpadas no fim da linha acendem [18]. São também apresentados os valores para as lâmpadas fluorescentes compactas (CFL), apesar de estas serem pouco utilizadas na IP em Portugal.

Tabela 3.1: poupança energética com regulação de fluxo por tipo de lâmpada [18]

Tipo de Lâmpada	Tensão mínima	Poupança energética
HPM	200 V	26% - 30%
LPS	190 V	35%
HPS	183 V	45% - 50%
MH	183 V	40%
LED	12 V	80%

3.3. TIPOS DE LUMINÁRIAS

Uma luminária tem por função assegurar a distribuição de fluxo luminoso desejada em associação com a obtenção do melhor rendimento possível, bem como modificar a luz emitida pelas lâmpadas, para uma otimização da sua utilização. É necessário, igualmente, evitar o encandeamento por parte dos utilizadores, garantindo a sua segurança e a dos próprios componentes, bem como proporcionar a proteção das lâmpadas face às condições climatéricas variáveis, do sistema ótico e dos componentes elétricos.

Os fatores que determinam a escolha de uma armadura devem satisfazer algumas considerações de ordem técnica, económica e estética: no plano económico, há que ser tomado em consideração o custo da instalação, a facilidade de limpeza, o custo das armaduras e a facilidade de substituição das lâmpadas e da aparelhagem auxiliar. No que respeita ao plano técnico, os fatores a tomar em conta são a natureza do dispositivo ótico, o dispositivo de fixação, peso e dimensões da armadura, a resistência às condições atmosféricas, o rendimento luminoso, a natureza e potência das lâmpadas, a escolha de armaduras fechadas ou não, a resistência ao aquecimento, sujidade, corrosão e vibrações.

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

Ao nível das luminárias pode-se distinguir luminárias funcionais (figura 3.16) e decorativas (figura 3.17), sendo que as decorativas não seguem as mesmas regras das funcionais, tanto ao nível da eficiência luminosa como eficiência energética. Neste trabalho ter-se-á sempre em foco a iluminação pública funcional.

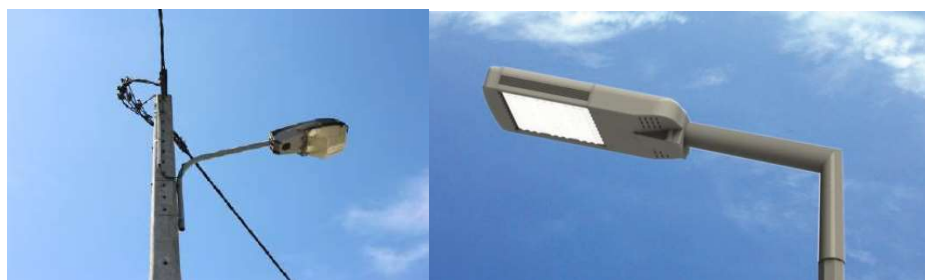


Figura 3.16: Exemplo de luminárias funcionais em IP



Figura 3.17: Exemplo de luminárias decorativas em IP

3.3.1. COMPONENTES QUE CONSTITUEM UMA LUMINÁRIA

A otimização da utilização de um determinado tipo de lâmpada é complementada mediante a sua conjugação com uma luminária adequada e que potencie a sua utilização. De seguida, apresenta-se uma descrição sumária dos principais componentes que constituem uma luminária:

- Suporte das lâmpadas: mesmo quando a luminária é sujeita a vibrações, este componente deve assegurar que o posicionamento da lâmpada permaneça inalterável e destina-se também a garantir o contacto elétrico adequado com a aparelhagem auxiliar.
- Corpo da luminária: tem como função proporcionar o suporte mecânico a todos os componentes. Deve apresentar uma boa resistência mecânica a choques e vibrações no sentido de garantir as condições de fixação e normal funcionamento das lâmpadas e aparelhagem auxiliar.
- Órgão de fixação da luminária: tem como função fixar a luminária ao poste, podendo ou não ser parte integrante da própria luminária, assegurando a não existência de oscilações após o seu correto posicionamento.

O sistema ótico é constituído pelos refletores, refratores e difusores. Os refletores (figura 3.18) consistem em componentes óticos cuja função é permitir a distribuição do fluxo luminoso, proporcionando um melhor aproveitamento da luz, uma vez que a porção de luz emitida para cima é reenviada para baixo.

Os refratores (figura 3.19) são tipicamente constituídos por vidro ou materiais plásticos e destinam-se a alterar a distribuição do fluxo luminoso, mediante refração. Os materiais que os

constituem devem proporcionar resistência a choques mecânicos, bem como às agressões provocadas pelas diferentes condições climáticas, permitindo a conservação de uma boa aparência com o decorrer do tempo.

Os difusores (figura 3.18) é um componente que evita que a luz seja enviada diretamente da lâmpada para os objetos ou pessoas. Assim, o seu propósito é diminuir a luminância das lâmpadas, no sentido de proporcionar um melhor conforto visual e são normalmente construídos em vidro ou plástico. Atualmente, assiste-se a um aperfeiçoamento das características deste componente [19].

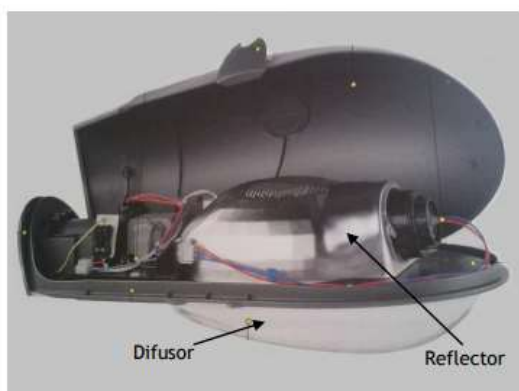


Figura 3.18: Exemplo de luminária e seus componentes [19]



Figura 3.19: Exemplo de um refrator [19]

O exemplo apresentado na figura 3.19, apesar de não ser aplicável à iluminação pública, ilustra o conceito de refrator. Neste caso, trata-se de um refrator parabólico, visível no centro da luminária, cujo objetivo é distribuir o fluxo luminoso emitido pela lâmpada na direção desejada.

O design das luminárias modernas permite aumentar a eficiência energética e, em simultâneo, obter uma melhoria das condições visuais. A forma e a qualidade do difusor vão afetar o rendimento global da luminária. A utilização de uma superfície refletora de alumínio possibilita o aumento da reflexão para 95%, ao contrário dos 70% obtidos por intermédio de mera tinta branca. Muitas luminárias possuem sistemas de reflexão corretamente desenhados, no sentido de direcionar a luz para os locais pretendidos, obtendo-se, portanto, um determinado efeito com menos luminárias ou lâmpadas. O intuito de direcionar o fluxo luminoso é indispensável para evitar o encandeamento.

3.4. COMPONENTES AUXILIARES

3.4.1. BALASTROS

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

Os balastros eletromagnéticos (figura 3.20) são tipicamente constituídos por uma bobina enrolada num núcleo ferromagnético, sendo, portanto, um circuito indutivo.

Os balastros eletrônicos (figura 3.21) são geralmente mais eficientes que os anteriores e permitem acumular também as funções de arrancador e regulador no fluxo no mesmo dispositivo, dispensando normalmente o uso de condensadores de compensação de fator de potência. São constituídos basicamente por uma fonte comutada. Quando a frequência de comutação é elevada consegue-se anular o efeito estroboscópico e ainda aumentar a eficiência da lâmpada, o que constitui também uma vantagem face aos balastros eletromagnéticos.

Há dois tipos de balastros eletrônicos: o convencional e o regulável. Os reguláveis permitem proporcionar *dimming* às lâmpadas de alta intensidade de descarga, sendo possível serem usados como reguladores de fluxo luminoso [18].



Figura 3.20: Balastro magnético para lâmpadas de vapor de mercúrio [17]



Figura 3.21: Balastro eletrônico [17]

3.4.2. ARRANCADORES

O arrancador (figura 3.21) é um dispositivo que visa promover o arranque em lâmpadas de descarga. Para tal o arrancador gera impulsos de tensão de valor superior ao valor de tensão de alimentação da lâmpada após o seu arranque. Os impulsos de tensão de valor elevado facilitam o início da descarga no gás [19].



Figura 3.22: Arrancador para lâmpadas de descarga [19]

3.4.3. CONDENSADORES

Os condensadores (figura 3.22) são utilizados nas lâmpadas de descarga porque, ao utilizarem arrancadores e balastro eletromagnético, tendem a ter um fator de potência fortemente indutivo, pelo que é comum utilizarem este dispositivo para corrigirem o fator de potência [19].



Figura 3.23: Condensador para lâmpadas de descarga [19]

3.5. SISTEMAS DE CONTROLO E GESTÃO IP

Os números de circuitos de IP têm continuado a crescer, tal como o preço da energia, o que tem levado a elevadas faturas de energia para as autarquias. Com a crise económica, o sobre-endividamento de uma grande parte dos municípios e a maior sensibilidade das populações para uma maior eficiência energética, começaram a surgir novos intervenientes, novas tecnologias e variadas soluções, todas prometendo poupança de energia e, conseqüentemente redução de custos. Umam passam por tirar o que existe e colocar novos

equipamentos enquanto outras passam por aproveitar o que existe, substituindo um ou mais componentes para uma maior poupança de energia.

3.5.1. INTERRUPTORES CREPUSCULARES

Os interruptores crepusculares (figura 3.24) utilizam sensores de luz ambiente, também conhecidos como sensores crepusculares, que permitem o controlo da IP. A célula fotoelétrica existente no interruptor crepuscular reage à mudança de luminosidade, ligando ou desligando a iluminação conforme o nível de luminosidade estipulado, permitindo, desta forma, gerir racionalmente o funcionamento dos circuitos de IP. A colocação da fotocélula poderá ser no Posto de Transformação (PT), enviando o sinal a um conjunto de circuitos de luminárias, ou então poderá ser parte integrante de cada ponto de iluminação individual [19].



Figura 3.24: Interruptor crepuscular [19]

3.5.2. RELÓGIOS ASTRONÓMICOS

Os relógios astronómicos (figura 3.25) são equipamentos que efetuam o cálculo diário, com base em fórmulas astronómicas, do número de horas de sol, da hora a que o sol nasce e se põe, para determinada latitude de qualquer lugar da Terra. A instalação de relógios astronómicos permite aos equipamentos de iluminação pública serem ligados ao pôr-do-sol e desligados com o nascer do sol. Estes equipamentos permitem ser programados de forma a ligarem ou desligarem após o pôr-do-sol ou antes do nascer do sol, respetivamente.



Figura 3.25: Relógio astronómico [19]

3.5.3. REGULADORES DE FLUXO

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

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

Os reguladores de fluxo, para além de variarem a intensidade luminosa, têm também a função de estabilização da tensão que, para além de aumentar o tempo de vida da lâmpada, reduzem os custos de manutenção, assegurando economias diretas no consumo de 5% a 7%, ao fazer a regulação da tensão que excede o seu valor nominal [19].

3.5.4. SISTEMAS DE TELEGESTÃO

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

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

Existem vários sistemas de telegestão desenvolvidos e vendidos por diversas empresas. Por exemplo, a Schröder disponibiliza o sistema de telegestão OWLET cujas vantagens incluem a sua natureza *open-source*, transmissão bidirecional e o uso do protocolo ZigBee. Este sistema oferece três fatores de poupança de energia [19]:

- Fluxo Luminoso Constante (Constant Lumen Output - CLO) que controla com maior precisão o fluxo luminoso ao longo da vida útil da luminária e fornece-lhe apenas a energia necessária (economia de 8-10%);
- Potência Virtual de Saída (Virtual Power Output - VPO) que permite variar a intensidade luminosa de uma luminária para que esta corresponda às necessidades, sem haver necessidade de ter um sobredimensionamento de iluminação devido às potências das lâmpadas serem definidas pelos fabricantes (economia de até 25%);
- Saída Seletiva e Dinâmica do Lúmen (Selective Dynamic Lumen Output) que permite ajustar a intensidade luminosa (Figura 3.26) em função da densidade de tráfego, fazendo regulação de fluxo, sendo uma forma muito eficaz de poupança de energia e

manter segurança (economia de até 40%).

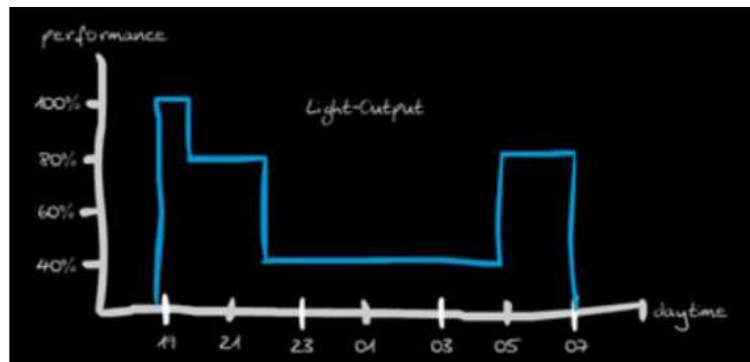


Figura 3.26: Exemplo de perfil de regulação de fluxo [19]

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

Os sistemas de telegestão, atualmente, podem-se dividir em três tipos, nomeadamente, *Stand-Alone*, Rede Autónoma e Rede interativa.



Figura 3.27: Exemplo de funcionamento de um sistema de telegestão com sensores de movimento e direção [19]

3.5.5. SOLUÇÕES STAND-ALONE

Neste tipo de solução cada luminária comporta-se de forma independente, graças à sua própria unidade de controlo. São soluções recomendadas para áreas de atividade não linear, como áreas pedonais e parques. O funcionamento da luminária pode ser desencadeado com recurso aos sensores descritos anteriormente. Um exemplo de funcionamento pode ver-se na figura 3.28, onde a luminária sobre o peão está a 100% da sua capacidade de iluminação, estando as restantes luminárias, sem ninguém, só a 50% [19].

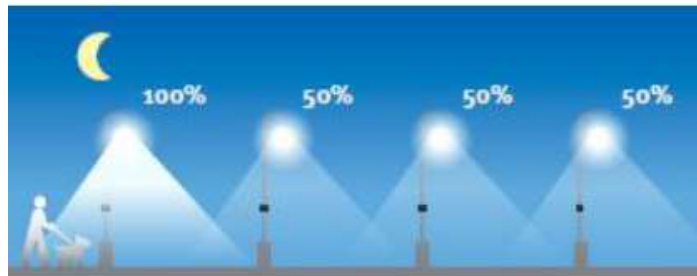


Figura 3.28: Exemplo de funcionamento de iluminação por sensores [19]

3.5.6. REDE AUTÓNOMA

Oferece mais flexibilidade que a solução *stand-alone* e um leque mais amplo de possibilidades em termos de interação. As luminárias comunicam entre si através de uma rede wireless (figura 3.29), disponibilizando assim perfis dinâmicos de *dimming*. O cenário de *dimming* autónomo pode ser reforçado com recurso a detetores de movimento. Para comandar a instalação, os sensores podem ser centralizados ou descentralizados. Para garantir a segurança e conforto dos utilizadores, logo que o movimento é detetado, o cenário de deteção impõe-se sobre o cenário de *dimming*. Este tipo de redes é perfeitamente adequado para praças, parques de estacionamento, parques urbanos, armazéns, campos desportivos, estradas, ruas, etc. [19].



Figura 3.29: Exemplo de funcionamento wireless entre luminárias [19]

3.5.7. REDE INTERATIVA

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

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

Os controladores de segmento e o centro de controlo estão conectados com ligações seguras (SSL) baseadas na Internet, dependendo da cobertura de rede de cada região, ou pela fibra ótica nas regiões que não tem infraestrutura de comunicações [19].

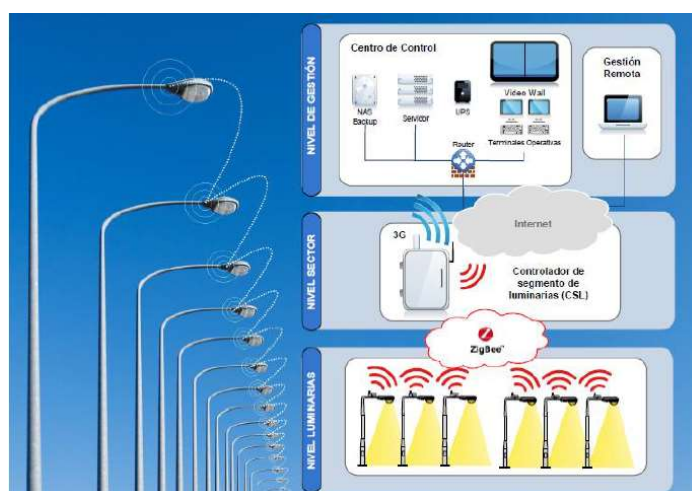


Figura 3.30: Estrutura do sistema inteligente de controlo IP da Solidmation [19]

3.5.8. INTERAÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS NOS SISTEMAS IP

Atualmente os sistemas de IP podem integrar tecnologias bastante diferentes das utilizadas até há poucos anos. Um dos exemplos é o uso de painéis solares nas luminárias. Isto permitirá integrar a energia renovável na própria rede, usando essa energia diretamente nas luminárias. Permite também a possibilidade de ter IP em locais remotos ou de difícil acesso, onde não exista a possibilidade de ter alimentação da rede de transmissão/distribuição. Estes tipos de candeeiros solares apresentam grandes vantagens, pois ao serem alimentados diretamente a partir do sol (usando baterias recarregáveis) são autónomos, de fácil instalação e baixo custo, devido a apenas necessitarem de uma fixação ao solo, e, principalmente, permitem uma grande poupança na construção de ligações à rede elétrica. O seu maior problema consiste no facto de, no caso de o céu estar nublado durante vários dias seguidos, os candeeiros solares não funcionarem a 100% [18].

3.6. SÍNTESE

Existem vários tipos de lâmpadas e luminárias aplicáveis a instalações de iluminação pública.

No que refere às lâmpadas, existem as de descarga (mercúrio de alta pressão, sódio de baixa e alta pressão e iodetos metálicos) e, mais recentemente, implementada em massa no nosso país, a tecnologia LED. As características principais que cada lâmpada apresenta são, de modo geral:

- Fluxo luminoso;
- Potência;
- Fator de sobrevivência da lâmpada;
- Fator de manutenção da luminosidade da lâmpada;
- Eficácia luminosa;
- IRC.

A eficiência energética na iluminação pública está a ser cada vez mais considerada como fundamental, para ser possível atingir-se os objetivos impostos a nível europeu. Há muitos aspetos que podem ser melhorados e há resultados importantes que podem advir. Existem já instalações que visam a melhorar a eficiência energética, associadas a uma redução de consumos, contribuindo para a obtenção de uma poupança energética significativa em iluminação pública.

O controlo otimizado e a regulação de fluxo luminoso são cada vez mais utilizadas na rede de IP. Resumidamente pode-se comparar as características dos vários sistemas de controlo na tabela 3.2.

Tabela 3.2: Comparação das características dos sistemas de controlo [20]

Características	Sensor crepuscular	Relógio Astronómico	Regulador de Fluxo	Sistema de Telegestão
Função on-off	Sim	Sim	Sim	Sim
Possibilidade de <i>dimming</i>	Não	Não	Sim	Sim
Calendarização ou programação	Não	Sim	Sim	Sim
Aumento do tempo de vida das lâmpadas	Não	Não	Sim	Sim
Deteção de falhas	Não	Não	Não	Sim
Cálculo de poupança de energia e CO2	Não	Não	Não	Sim
Armazenamento da informação	Não	Não	Não	Sim
Comunicação com o gestor da rede IP	Não	Não	Não	Sim
Poupança	Baixa	Baixa	Boa	Muito Boa
Custo	Reduzido	Reduzido	Razoável	Alto

Como é possível observar a partida da tabela 3.2, a telegestão associada a uma instalação de IP possibilita a motorização em tempo real das características de cada lâmpada, o que possibilita saber quando uma lâmpada está na eminência de falhar, sendo possível substituí-la mesmo antes da falha ocorrer.

Como complemento à telegestão, a utilização de sensores de movimento permite adequar as necessidades de iluminação em tempo real tendo em consideração o real fluxo de tráfego num dado momento. Como desvantagens, há a possibilidade de o sensor detetar movimento na estrada que não seja proveniente de tráfego – um animal, por exemplo.

4. ILUMINAÇÃO PÚBLICA – LEGISLAÇÃO APLICÁVEL

Aquando da realização de um projeto de iluminação pública, para além de ser impreterível o cumprimento dos requisitos que permitirão obter-se os resultados esperados em termos de iluminação para um determinado local, é igualmente necessário e incontornável o cumprimento da legislação aplicável. Para o efeito, existe a norma EN 13201, cujas organizações nacionais de normalização dos seguintes países são obrigadas a aplicar: Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Eslováquia, Espanha, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Luxemburgo, Malta, Noruega, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suécia e Suíça.

4.1. NORMA EUROPEIA PARA A ILUMINAÇÃO PÚBLICA – EN 13201

A EN 13201, aplicável à iluminação pública, está dividida em cinco partes, que visam o seguinte [21]:

- EN 13201-1: Escolha das classes de iluminação;
- EN 13201-2: Parâmetros fotométricos recomendados;
- EN 13201-3: Cálculo dos parâmetros fotométricos;
- EN 13201-4: Métodos de medida das performances fotométricas;
- EN 13201-5: Indicadores de desempenho energético.

4.1.1. EN 13201-1: ESCOLHA DAS CLASSES DE ILUMINAÇÃO

As escolhas das classes de iluminação têm de corresponder a alguns requisitos fotométricos, visando as necessidades dos utentes da via num certo tipo de áreas rodoviárias, sobre condições ambientais específicas. Existem basicamente três conjuntos diferentes de classes de iluminação. As classes de iluminação existentes são:

- Classe de iluminação M para tráfego motorizado;
- Classe de iluminação C para áreas de conflito;
- Classe de iluminação P para áreas pedestres de tráfego de baixa velocidade.

A classe de iluminação M destina-se a condutores de veículos motorizados em vias de tráfego (às vezes também em estradas residenciais) em velocidades de condução baixas e muito altas [21]. A aplicação dessa classe depende da:

- Velocidade (natureza da via): muito alta, alta, moderada ou reduzida;
- Volume de tráfego: alto, médio ou baixo;
- Composição do tráfego (ciclistas, peões, estacionamento, veículos): motorizado ou misto com elevada percentagem de não motorizado;
- Densidade da interseção: alta ou moderada;
- Existência de veículos estacionados: sim ou não;
- Luminosidade ambiente: alta, média ou baixa;
- Orientação visual, controlo de tráfego: muito difícil, difícil ou fácil.

As áreas de conflito ocorrem quando vias de circulação se interseccionam ou desembocam em áreas frequentadas por peões, ciclistas ou outros utilizadores da via. Exemplo de áreas de conflitos são as rotundas, cruzamentos, estradas de ligação com largura e número de faixas reduzidas, etc.

A classe de iluminação C também se destina a condutores de veículos motorizados em vias de tráfego, mas para a utilização em áreas de conflito. A sua existência resulta num maior potencial para a colisão entre veículos, entre veículos e peões, ciclistas e outros utentes da estrada, bem como entre veículos e objetos fixos [21]. Para esta classe, os parâmetros são:

- Velocidade (natureza da via): muito alta, alta, moderada ou reduzida;
- Volume de tráfego: alto, médio ou baixo;
- Composição do tráfego (ciclistas, peões, estacionamento, veículos): motorizado ou misto com elevada percentagem de não motorizado;
- Existência de veículos estacionados: sim ou não;
- Luminosidade ambiente: alta, média ou baixa;
- Orientação visual, controlo de tráfego: muito difícil, difícil ou fácil.

Como as classes de iluminação C são destinadas aos mesmos utentes da estrada que a classe M, os mesmos parâmetros são utilizados, exceto a densidade da interseção. Como resulta num maior potencial para colisão, a iluminação destas zonas deverá revelar em especial a posição dos passeios, as marcas e sinalizações da estrada, movimentação de veículos nas proximidades de zonas de pedestres e obstáculos.

A classe de iluminação P destina-se predominantemente a peões e ciclistas para uso em passeios e ciclovias, mas também para motoristas de veículos motorizados de baixa velocidade, em vias de emergência ou estacionamento, para outras áreas de estradas situadas separadamente, ao longo da faixa de rodagem ou numa estrada residencial [21].

Como tal, a iluminação nestas zonas deverá dar especial atenção a marcas de sinalização, posição dos passeios, movimentação de veículos, objetos nas vias e nos passeios e a outros utilizadores. Como tal, para esta classe os parâmetros são:

- Velocidade (natureza da via): muito reduzida (velocidade de andar) ou reduzida;
- Volume de tráfego: alto, normal ou sossegado;
- Composição do tráfego: peões, ciclistas e tráfego motorizado; peões e tráfego motorizado; apenas peões e ciclistas; apenas peões; apenas ciclistas;
- Existência de veículos estacionados: sim ou não;
- Luminosidade ambiente: alta, média ou baixa;
- Reconhecimento facial: necessário, não necessário.

Para efetuar a correspondência entre classes de iluminação e critérios de iluminação a ter em consideração, existem tabelas para o efeito. As tabelas referentes à forma de cálculo para obtenção do nível de luminância média recomendada para os diversos tipos de via, encontra-se no Anexo A.

4.1.2. EN 13201-2: PARÂMETROS FOTOMÉTRICOS RECOMENDADOS

A norma EN 13201-2 contém os requisitos de performance nas classes definidas (ME1 ... ME6, MEW1 ... MEW6, CE0 ... CE5, S1 ... S6, ES1 ... ES6, A1 ... A6). Para consulta detalhada, recomenda-se a leitura do Anexo A, para melhor compreensão da atribuição de uma determinada classe a um determinado tipo de via.

Esta parte da presente Norma define, tomando em consideração requisitos fotométricos, as classes de iluminação para iluminação de vias, tendo em conta as necessidades visuais dos utilizadores, bem como considerando aspetos ambientais da iluminação de vias.

Uma classe de iluminação é definida por um conjunto de requisitos fotométricos cujo objetivo é proporcionar aos utilizadores de um determinado tipo de via as necessidades visuais adequadas, quer para a via em si quer para o ambiente envolvente.

As classes ME são aplicáveis a vias onde se verifique a circulação de veículos motorizados, onde seja praticável velocidade média a alta.

As classes CE têm o mesmo propósito das classes ME, mas para uso em áreas conflituosas, como ruas de comércio, intersecção de vias de alguma complexidade, rotundas e áreas de congestionamento de trânsito (filas). Estas classes têm igualmente aplicação para percursos mistos, i.e., onde a via em causa permita a circulação simultânea de peões e veículos motorizados.

As classes S e A são aplicáveis a percursos de peões e ciclovias (isolados, portanto, da via destinada à circulação normal de veículos), faixas de circulação de veículos de emergência e outras vias que se encontrem separadas da via normal de circulação, bem como áreas de estacionamento, ruas vedadas à circulação de veículos (apenas percursos a pé), etc.

As classes ES são classes adicionais e específicas para situações onde se verifique a necessidade de identificação de pessoas e objetos e em áreas de circulação com risco de crime agravado.

As classes EV são classes adicionais e específicas para situações onde seja necessário visualizar superfícies verticais, tais como zonas de portagem, por exemplo.

Os requisitos das classes de iluminação refletem a categoria do utilizador ou o tipo de via. Assim, as classes ME baseiam-se na luminância da superfície da via, enquanto as classes CE, S e A baseiam-se na iluminação da área da via. As classes S e A refletem diferentes prioridades para a iluminação da via. As classes ES baseiam-se em iluminância semicilíndrica, enquanto as classes EV baseiam-se na iluminação do plano vertical.

O intuito em iluminar zonas de atravessamento de peões é atrair a atenção dos condutores de veículos motorizados para a presença destes e iluminar tanto os peões que estão a atravessar bem como os que se encontram na berma a aguardar que possa ser feito o atravessamento.

4.1.3. EN 13201-3: CÁLCULO DOS PARÂMETROS FOTOMÉTRICOS

Os métodos de cálculo descritos nesta parte permitem a obtenção das características de qualidade de iluminação mediante procedimentos padronizados, no sentido de obter, a partir de diferentes fontes, uma base uniforme.

Nesta secção, são definidas e descritas as convenções e procedimentos matemáticos a ser adotados no cálculo dos parâmetros fotométricos de instalações de iluminação pública, tendo em consideração a norma EN 13201-2.

4.1.4. EN 13201-4: MÉTODOS DE MEDIÇÃO DAS PERFORMANCES FOTOMÉTRICAS

Esta parte especifica os procedimentos a ter em consideração para se efetuar medições fotométricas e outras relacionadas, na iluminação pública.

Os procedimentos adotados devem ser levados a cabo apenas com o propósito de medição. Quando as medições são requeridas para intuito de comparação com valores previamente calculados, deve ser tido um maior rigor na medição para assegurar que possa ser feita uma comparação válida. Quando as medições têm o propósito de monitorização do estado da instalação, é possível que o leque de medições a efetuar não seja tão abrangente, e compreenda localizações mais espaçadas. O essencial neste caso é que as medições sejam levadas a cabo da mesma forma que a monitorização. Noutros casos, o controlo *in loco* é suficiente.

4.1.5. EN 13201-5: INDICADORES DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

Esta parte da Norma Europeia define como são calculados os indicadores de desempenho energético para a iluminação pública garantido a sua eficiência energética e desempenho em aplicações de manutenção e desenvolvimento.

O índice de desempenho Densidade de Potência (DP) caracteriza a relação entre a potência total do sistema de iluminação e o produto da área total (soma de todas as subáreas) de cálculo pela iluminância média em serviço calculada.

A Densidade de Energia (DE) caracteriza o consumo total de energia durante um ano, noite e dia, da instalação de iluminação, incluindo todos os seus componentes, em proporção da área total a iluminar pela instalação de iluminação.

O fator de iluminação da instalação (q_{inst}) é o fator que contabiliza a relação entre a luminância média mantida da superfície da via calculada sobre a iluminância horizontal média mantida calculada na superfície e a média do índice de reflexão adotado no cálculo da luminância.

O rendimento da instalação (η_{inst}) é a relação entre o fluxo luminoso recebido por uma área e a soma dos fluxos individuais emitido pelas luminárias com influência nessa área.

4.2. SÍNTESE

Um projeto de iluminação pública tem de estar enquadrado com as características e local a iluminar e tem de obedecer à legislação aplicável. A otimização de um projeto atinge-se quando se consegue conciliar estes dois pontos.

A EN 13201-1 que estabelece os parâmetros das vias consoante a respetiva qualificação, em que entra a escolha das classes de iluminação, parâmetros fotométricos, cálculo dos parâmetros fotométricos e métodos de medição das performances fotométricas, recorre a tabelas, as quais, consoante os respetivos parâmetros da via em estudo, atribuirá uma classificação à mesma.

A EN 13201-2 concentra-se nos parâmetros fotométricos recomendados, tendo em conta as classes de iluminação.

Os cálculos dos parâmetros fotométricos são abordados na EN 13201-3 e dizem respeito à qualidade de iluminação da via em questão, tendo por base a EN 13201-2.

A quarta parte, a EN 13201-4 diz respeito ao modo de efetuar as medições fotométricas na iluminação pública.

A quinta e última parte, EN 13201-5, foi incluída na revisão da Norma 13201, ocorrida em dezembro de 2015, com o objetivo de incorporar os indicadores de desempenho energético para instalações de iluminação pública.

Em janeiro de 2011, foi editado o Documento de Referência para a Eficiência Energética na IP [16], que estabelece os critérios a ter em conta num projeto de iluminação pública. Foram introduzidas algumas definições para otimização das instalações/lâmpadas e foram apresentadas a classificação das instalações de IP que vai de A a G, sendo a A a mais eficiente energeticamente e a G a menos eficiente energeticamente.

5. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Motivado pela necessidade de contribuir para resolver os crescentes problemas ambientais e procurando formas alternativas de geração de energia, tem vindo a verificar-se um aumento pelo interesse dos sistemas fotovoltaicos (FV), o qual tem proporcionado uma redução dos custos das células fotovoltaicas. De uma forma resumida, os sistemas fotovoltaicos são constituídos pelos painéis FV, reguladores de carga, baterias e inversores.

Neste capítulo serão descritos os vários componentes de um sistema FV e como eles podem ser dimensionados.

5.1. CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

O sistema fotovoltaico tem como principal função transformar a energia solar em energia elétrica, sendo a célula solar o seu componente fundamental. As células solares podem-se reunir, dando origem a matrizes e painéis fotovoltaicos. Contudo, um sistema fotovoltaico pode-se apresentar com diversas tecnologias que serão abordadas seguidamente.

As células fotovoltaicas foram evoluindo ao longo do tempo, e com o avanço das tecnologias surgiram novos tipos. Serão mostradas as três gerações e as tecnologias presentes em cada uma delas.

5.1.1. CÉLULAS DE PRIMEIRA GERAÇÃO

As células de primeira geração utilizam tecnologia de silício cristalino (C-Si), tanto na sua forma cristalina simples, monocristalinos (mc-Si) como forma multicristalina e policristalinos (pc-Si) [22].

No silício monocristalino (figura 5.1), a estrutura molecular é uniforme uma vez que a estrutura é toda composta pelo mesmo material. Este tipo de uniformidade é ideal para o transporte eficiente dos eletrões pelo material.

O silício policristalino (figura 5.1), por sua vez, utiliza processos de fabricação mais simples e baratos do que as técnicas de fabricação do silício monocristalino. Entretanto, a qualidade do material é mais baixa, uma vez que o nível de impureza é maior.

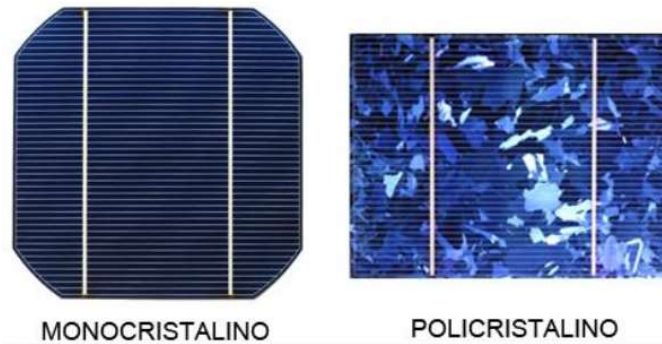


Figura 5.1: Célula de silício monocristalino e policristalino [23]

5.1.2. CÉLULAS DE SEGUNDA GERAÇÃO

Estas células são baseadas em tecnologias fotovoltaicas de “filme fino”; não são fabricadas com células individuais, mas na forma de faixas contínuas que são depositadas sobre um substrato apropriado. As camadas são feitas de silício amorfo (a-Si) com fina espessura e não precisam de interconexões internas [23].

As células de silício amorfo são as que apresentam o custo mais reduzido, mas em contrapartida o seu rendimento elétrico é também mais reduzido (aproximadamente 8% a 13% em laboratório). Têm películas muito finas, o que permite serem utilizadas como material de construção, tirando ainda o proveito energético [22].

5.1.3. CÉLULAS DE TERCEIRA GERAÇÃO

As células de terceira geração compõem tecnologias ainda em desenvolvimento, ainda não disponíveis no mercado. Exemplos destas células são as células de concentração (CPV), células orgânicas, sensibilizadas corantes e nanocristalinas [22].

5.2. COMPONENTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Os componentes que fazem parte da constituição dos sistemas fotovoltaicos são os painéis fotovoltaicos, reguladores de carga, baterias e inversores. A captação da radiação solar é feita pelos painéis FV, que ao receber essa radiação produzem uma tensão aos seus terminais. A corrente gerada pelos painéis é contínua (DC), de amplitude variável pois depende da radiação solar incidente. Essa energia passa pelos reguladores de carga, que têm a função de medir a

tensão na bateria e, por conseguinte, assegurar a sua proteção contra a ocorrência de sobrecargas.

No caso de existirem equipamentos que funcionem com corrente alterna (AC), e pelo facto dos painéis FV produzirem corrente DC, então é necessária a utilização de inversores para transformar a corrente DC em corrente AC.

As baterias funcionam como armazenamento da energia produzida pelos módulos FV e para assegurar as necessidades das cargas.

A figura 5.2 ilustra o esquemático de uma instalação autónoma com o funcionamento de cargas AC e DC.

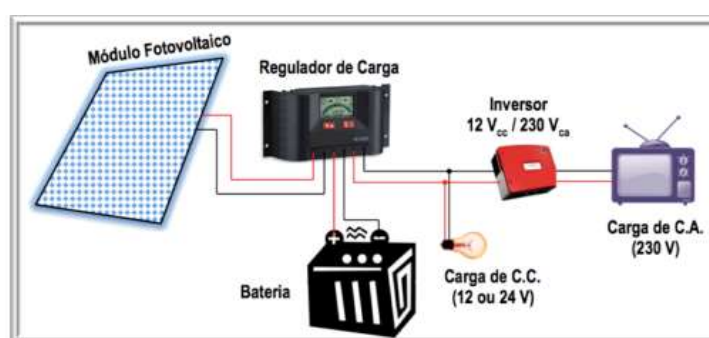


Figura 5.2: Sistema autónomo para cargas AC e DC [24]

5.2.1. PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

O painel FV é composto por um conjunto de 36, 48 ou 72 células solares ligadas em série e em paralelo. Por norma os painéis FV são projetados para esforços mecânicos e para situações climáticas adversas (vento, humidade, granizo e neve). A base do painel FV tem como função oferecer estabilidade à estrutura, ou seja, assegura a rigidez e a estanquidade do conjunto dos elementos necessários para a montagem do painel na estrutura de suporte [25].

Os módulos FV raramente operam nas condições de referência (STC). As condições STC, também designadas por condições de referência, são as condições normalizadas para a realização das medições dos parâmetros característicos da célula. As condições STC têm como objetivo comparar células diferentes, ou mesmo entre módulos FV e obter os parâmetros elétricos das diferentes células existentes, podendo determinar a curva características da célula.

As condições de referência estão normalizadas segundo a norma IEC 60904 / DIN EN 60904, onde se refere que a temperatura da célula nos testes deve ser de 298,16 K (25°C), com

uma tolerância de $\pm 2^{\circ}\text{C}$, a irradiância normal sobre a superfície da célula deve apresentar um valor de 1000 W/m^2 [26].

Por norma, as curvas características I-V e P-V de uma célula de silício cristalino nas condições STC são semelhantes às apresentadas na figura 5.3.

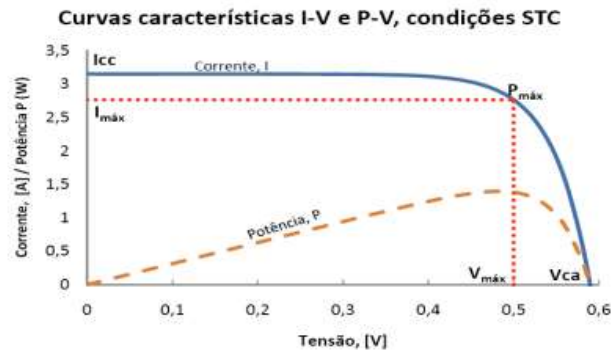


Figura 5.3: Curvas características I-V e P-V de uma célula de silício cristalino, nas condições STC [26]

A curva característica I-V demonstrada na figura 5.3 fica definida através de três pontos: a potência máxima, a corrente de curto-circuito e a tensão do circuito aberto. Para a potência máxima temos a respetiva corrente e tensão máxima fornecida pela célula FV, em que, normalmente, esta potência é dada nas unidades de Watt pico (Wp).

A potência de pico do painel fotovoltaico para um sistema autónomo pode ser calculada utilizando a seguinte expressão:

$$P_{pp} = \eta \times \frac{E}{S_p} \quad (5.1)$$

Em que:

P_{pp} é a potência de pico do painel em Wp;

E é a energia consumida diariamente em Wh;

S_p é o número de horas de sol verificadas no pior mês tendo em conta o ângulo de orientação e inclinação do painel;

η é o rendimento total do sistema expresso em valor percentual descrito na equação (5.2):

$$\eta = \eta_{PV} \times \eta_{PV-Bat} \times \eta_{cc} \times \eta_{dist} \times \eta_{inv} \quad (5.2)$$

Onde:

η é o rendimento total do sistema;

η_{PV} é rendimento do painel tendo em conta que não está a funcionar no ponto de potência máxima;

η_{PV-} representa as perdas devido à queda de tensão nos cabos que ligam o painel à bateria;

η_{cc} é o rendimento do controlador de carga;

η_{dist} representa as perdas nos cabos de distribuição;

η_{inv} é o rendimento do inversor.

A corrente de curto-circuito é aproximadamente 5 a 15% do valor da corrente atingida na potência máxima, a qual representa a corrente máxima que a célula pode entregar, sob condições de radiação e temperatura específicas, correspondendo a uma tensão nula. A tensão de circuito aberto representa a tensão máxima fornecida pela célula FV, para condições de temperatura e radiação específicas, que corresponde a uma ausência de corrente, ou seja, no caso de não existir uma carga acoplada à célula FV. A curva característica P-V apresenta uma evolução positiva com o aumento da tensão, atingindo um máximo que corresponde ao ponto da curva característica I-V no qual o produto $I \times V$ é máximo.

O número de painéis necessários para alimentar um sistema fotovoltaico pode ser dado a partir da expressão:

$$N^{\circ} \text{ de paineis} = \frac{\text{Pot. necessária para carregar as baterias} \times x(\%)}{\text{Potência máxima do painel } (P_{m\acute{a}x})} \quad (5.3)$$

Na expressão (5.3), x representa o coeficiente aplicado para perdas do painel fotovoltaico em funcionamento fora da STC.

5.2.2. REGULADORES DE CARGA

Os reguladores de carga efetuam o controlo do estado de carga da bateria através da análise da tensão da bateria. Além disso, o regulador tem a função de interromper o fornecimento de energia às cargas externas sempre que é atingida a profundidade de descarga máxima da bateria. Por outro lado, se a tensão do gerador fotovoltaico baixar, por exemplo

devido à diminuição da intensidade da luz solar, os reguladores poderão não conseguir realizar de forma adequada o aproveitamento de energia produzida pelo gerador FV. Com efeito, devido à diminuição da tensão do gerador FV, o desvio que ocorre relativamente ao ponto ótimo de funcionamento à máxima potência (MPP) ficará fora do alcance do regulador.

5.2.3. INVERSOR DC/AC

O inversor, como o nome indica, inverte a corrente DC gerada pelo painel fotovoltaico em corrente AC usada pela maioria dos equipamentos domésticos.

Com a utilização de modernos dispositivos eletrónicos, a conversão num sinal de corrente alternada padrão envolve perdas relativamente pequenas. Deste modo, o rendimento do conjunto regulador de carga mais inversor é aproximadamente igual a 90% [24].

A figura 5.4 (a) e 5.4 (b) referem-se, respetivamente, a dois exemplos de inversores de corrente DC/AC de elevada e baixa potência onde são também apresentados alguns parâmetros característicos importantes.

TIPO	SE 100Ni
Fabricante	SILIKEN Electronics
Potência nominal DC	100 kW
Tensão máxima	450 – 750 V
Dimensão	800 × 800 × 1800 mm
Peso	500 kg



(a)

Figura 5.4 (a): Características de um inversor central de elevada potência [24]

TIPO	Sunny Boy SWR 2000
Fabricante	SMA
Potência nominal DC	1.9 kW
Tensão máxima	125 – 500 V
Dimensão	295 × 434 × 214 mm
Peso	25 kg



(b)

Figura 5.4 (b): Características de um inversor central de baixa potência [24]

5.2.4. BATERIAS

No âmbito da utilização de sistemas fotovoltaicos autónomos para a alimentação de instalações, é normalmente comum acontecer que a produção e o consumo de energia não coincidem tanto ao longo do dia, quanto ao longo do ano.

Neste cenário, o armazenamento de energia elétrica assume um vetor absolutamente incontornável. Neste contexto, as baterias representam uma via pela qual é possível efetuar o armazenamento de energia, já que são capazes de transformar diretamente a energia elétrica

em energia potencial química e posteriormente converter, diretamente, a energia potencial química em energia elétrica.

A escolha apropriada da bateria, assim como a sua capacidade, constitui uma tarefa essencial que visa não só assegurar o apropriado funcionamento do sistema solar fotovoltaico autónomo, mas também garantir que a bateria tenha um longo tempo de vida útil.

As baterias podem ser classificadas em duas categorias diferentes: as primárias e as secundárias.

As baterias primárias são aquelas que não podem ser recarregadas, ou seja, uma vez esgotados os reagentes que produzem energia elétrica, devem ser descartadas. Pelo contrário, as secundárias podem ser recarregadas através da aplicação de uma corrente elétrica aos seus terminais. Entre os vários tipos de baterias recarregáveis, descrevem-se as duas tecnologias mais utilizadas pelos sistemas fotovoltaicos: as baterias de chumbo – ácido, lítio e de níquel – cádmio.

5.2.4.1. Baterias de Chumbo – Ácido

São constituídas por uma solução aquosa de ácido sulfúrico. As baterias com tensão nominal igual a 12V são constituídas por um conjunto de 6 células eletroquímicas (tensão ao terminal de cada célula igual a 1,75V) associadas em série (de modo a se obter nos terminais da bateria valores de tensão igual a 10,5V), isoladas entre si e banhadas pela solução de ácido sulfúrico [24].

No mercado existe este tipo de baterias com tensões nominais de 12, 24 e 48V. No entanto, a tensão aos terminais da bateria depende do estado de carga, baixando durante o processo de descarga e subindo durante o processo de carregamento.

5.2.4.2. Baterias de Níquel – Cadmio

Este tipo de baterias foi muito utilizado em aparelhos domésticos tais como, por exemplo, os telemóveis, as máquinas de filmar, os computadores, entre outros.

Quando comparadas com as baterias de chumbo – ácido, as de níquel - cádmio têm como principal vantagem o facto de serem menos afetadas por sobrecargas e também poderem ser totalmente descarregadas. Contudo, a maior desvantagem deste tipo de baterias consiste na redução da capacidade de recarga ao longo da sua vida útil, sendo afetadas pelo designado “efeito de memória”, obrigando por isso à utilização de carregadores com controlo de carga dispendiosos. Outro grande inconveniente das baterias de NiCd é a sua elevada toxicidade. Na

verdade, sendo o cádmio um metal muito tóxico, o seu uso tem vindo a ser muito limitado por razões de natureza ambiental.

No dimensionamento de um sistema fotovoltaico autónomo, o tipo de bateria escolhida tem grande influência no número de baterias que o sistema irá necessitar. As baterias podem ser montadas em série e/ou paralelo.

A ligação em paralelo de baterias aumenta a corrente do circuito, mas a tensão permanecerá a mesma. Para a ligação em série, a tensão aumenta e a corrente mantém-se a mesma.

O cálculo do número de baterias em paralelo a instalar num sistema fotovoltaico é dado pela expressão:

$$N^{\circ} \text{ baterias em paralelo} = \frac{C}{\text{Capacidade da bateria}} \quad (5.4)$$

A expressão 5.4 é utilizada para casos em que a capacidade do banco de baterias (C) for maior que a capacidade de uma única bateria.

Se a tensão do sistema for maior que a tensão da bateria selecionada, deve-se calcular o número de bateria a colocar em série pela expressão (5.5):

$$N^{\circ} \text{ baterias em série} = \frac{V_{(dc)}}{\text{Tensão nominal da bateria}} \quad (5.5)$$

Em situações reais, a eficiência de uma bateria nunca atinge 100%, (por exemplo em baterias de Pb-ácido, os valores correntes são de 60% a 65%) e a profundidade máxima de segurança para a bateria não se danificar é normalmente de 60%.

Neste sentido, o cálculo da capacidade de uma bateria real é dado pela expressão:

$$\text{Capacidade da bateria (Ah)} = \frac{W_d \times N_D}{V_{dc} \times DOD(\%)} \quad (5.6)$$

Em que:

W_d é a energia média diária que o sistema consome [Wh];

N_D representa os dias em que a bateria substitui o gerador fotovoltaico;

V_{dc} é a tensão do sistema fotovoltaico.

6. IMPLEMENTAÇÃO DOS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Neste capítulo é feita uma análise de um trecho IP que alimentará um edifício industrial que futuramente irá ser remodelado. Este edifício devido, às dimensões que irá ter futuramente, foi caracterizado pela Câmara Municipal como obra de impacto relevante ou semelhante a um loteamento.

Na figura 6.1 é possível observar o edifício antes da sua remodelação arquitetônica.

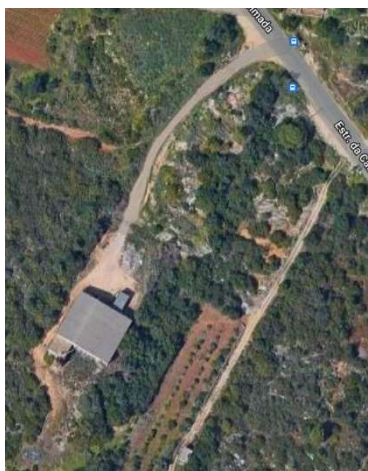


Figura 6.1: Identificação do local de estudo (antes da remodelação)

Neste estudo, apenas vamos considerar os equipamentos que fazem parte da iluminação interior do lote. O lote foi inicialmente projetado com iluminação LED. O propósito deste trabalho passa por comparar a solução proposta por outra que possa ser mais eficiente. Para tal, serão analisados três casos: um sistema de iluminação IP usual utilizando soluções LED, outro com solução LED com integração de painel FV na própria luminária e, por fim, um sistema FV que incorpora baterias de apoio.

Segundo o Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública (DREEIP), e de acordo com a tabela A7 do Anexo A, este trecho de via foi classificado como subclasse ME 4.

Por fim, será realizada uma análise de consumos consoante a utilização da solução como ON/OFF ou *dimming*.

6.1. SOLUÇÃO 1 – SISTEMA USUAL

Nesta solução inicial, será estudado o sistema de iluminação pública usual nos dias de hoje: a solução LED.

O primeiro passo para o dimensionamento de uma rede IP passa por saber que tipos de luminárias e colunas se pretende utilizar. Depois, terá de ser realizado o estudo luminotécnico num software específico. Para realizar este cálculo, será utilizado o software Dialux. Depois destes passos caracterizados, pode dizer-se que o sistema se encontra definido.

6.1.1. LUMINÁRIA

Para este estudo, será utilizada a luminária LED Siteco 40 micro (figura 6.2) de 56 W. A sua ficha de características poderá ser observada no Anexo B.



Figura 6.2: Luminária Siteco Modelo 40 micro

Esta luminária permite o controlo de intensidade luminosa a partir do perfil de escurecimento AstroDIM. Este perfil vem incluído na luminária, mas necessita de ser programado. Permite baixar o fluxo luminoso em 50% entre as 22h30 e as 4h30 da manhã seguinte.

O modo de funcionamento por redução de fase (sistema ON/OFF e DALI) do controlador é o seguinte:

- Na posição 1 (figura 6.3), o controlador não está ativo (0 V), como tal, a luminária funciona em modo de funcionamento ON/OFF;
- Na posição 2 (figura 6.3), o controlador é alterado para 230 V e a luminária terá *dimming* de 50%;
- Na posição 3 (figura 6.3), o controlador esta a 230 V e depois de 20 minutos a luminária muda permanentemente a lógica de controlo, sendo:

- Tensão da rede e controlador a 230 V → Fluxo a 100%;
- Tensão da rede a 230V e controlador a 0 V → Fluxo a 50%.
- A partir do segundo dia de regulação (posição 4), a regulação de fase está definida consoante o modo de funcionamento escolhido.

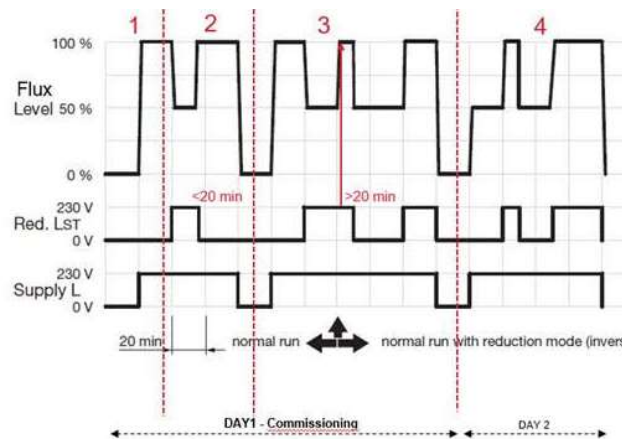


Figura 6.3: Esquema de controlo do módulo Osram OT4DIM

6.1.2. ESTUDO LUMINOTÉCNICO

Para a realização do cálculo luminotécnico foi feito um projeto 3D do edifício e de todo o arruamento exterior no programa DialuxEvo[®], que é um software para cálculo luminotécnico e que permite utilizar luminárias de diversas marcas, dando uma maior liberdade de escolha.

Posto isto, procedeu-se à simulação da iluminação a implementar, conseguindo assim a obtenção de resultados gráficos de forma a visualizar se se conseguia obter os níveis mínimos de iluminação para o local.

A partir deste cálculo foi possível obter a distância aproximada de 18 m por coluna de 8 metros.

Os níveis requeridos pela Classe M4 para os campos de avaliação são os seguintes:



- Densidade de luminância (L) superior a 0,75 cd.m²;
- Uniformidade geral de luminância (U_0) superior a 0,40;
- Uniformidade longitudinal (U_l) superior a 0,60;
- Brilho de desconforto (TI) inferior a 15%;
- Luz ao redor (EIR) mínimo 0,30;

Na tabela 6.1 estão representados quatro campos de avaliação de estudo. Isto permite uma demonstração mais detalhada dos níveis de luminância obtidos nos diferentes pontos da via em estudo. O trecho encontra-se dividido em:

- Área de circulação de entrada;
- Área de estacionamento;
- Área de circulação ao longo do edifício;
- Área de descarga nas traseiras do edifício.

Tabela 6.1: Resultados de cálculo DialuxEvo® – Solução 1

	Análise por zona	Dados obtidos pela simulação no DIALux																																															
Área de circulação de entrada		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Tamanho</th> <th>Calculado</th> <th>Nominal</th> <th>Check</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">Roadway 2 (M4)</td> <td>L_m</td> <td>1.55 cd/m²</td> <td>≥ 0.75 cd/m²</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>U_s</td> <td>0.85</td> <td>≥ 0.40</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>U_l</td> <td>0.86</td> <td>≥ 0.60</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>TI</td> <td>8 %</td> <td>≤ 15 %</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>R_{el}</td> <td>0.81</td> <td>≥ 0.30</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">Roadway 1 (M4)</td> <td>L_m</td> <td>1.55 cd/m²</td> <td>≥ 0.75 cd/m²</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>U_s</td> <td>0.88</td> <td>≥ 0.40</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>U_l</td> <td>0.87</td> <td>≥ 0.60</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>TI</td> <td>7 %</td> <td>≤ 15 %</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>R_{el}</td> <td>0.67</td> <td>≥ 0.30</td> <td>✓</td> </tr> </tbody> </table>		Tamanho	Calculado	Nominal	Check	Roadway 2 (M4)	L_m	1.55 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓	U_s	0.85	≥ 0.40	✓	U_l	0.86	≥ 0.60	✓	TI	8 %	≤ 15 %	✓	R_{el}	0.81	≥ 0.30	✓	Roadway 1 (M4)	L_m	1.55 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓	U_s	0.88	≥ 0.40	✓	U_l	0.87	≥ 0.60	✓	TI	7 %	≤ 15 %	✓	R_{el}	0.67	≥ 0.30	✓
	Tamanho	Calculado	Nominal	Check																																													
Roadway 2 (M4)	L_m	1.55 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓																																													
	U_s	0.85	≥ 0.40	✓																																													
	U_l	0.86	≥ 0.60	✓																																													
	TI	8 %	≤ 15 %	✓																																													
	R_{el}	0.81	≥ 0.30	✓																																													
Roadway 1 (M4)	L_m	1.55 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓																																													
	U_s	0.88	≥ 0.40	✓																																													
	U_l	0.87	≥ 0.60	✓																																													
	TI	7 %	≤ 15 %	✓																																													
	R_{el}	0.67	≥ 0.30	✓																																													
Área de estacionamento		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Tamanho</th> <th>Calculado</th> <th>Nominal</th> <th>Check</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">Roadway 2 (M4)</td> <td>L_m</td> <td>2.60 cd/m²</td> <td>≥ 0.75 cd/m²</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>U_s</td> <td>0.87</td> <td>≥ 0.40</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>U_l</td> <td>0.94</td> <td>≥ 0.60</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>TI</td> <td>9 %</td> <td>≤ 15 %</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>R_{el}</td> <td>0.41</td> <td>≥ 0.30</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">Roadway 1 (M4)</td> <td>L_m</td> <td>2.54 cd/m²</td> <td>≥ 0.75 cd/m²</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>U_s</td> <td>0.95</td> <td>≥ 0.40</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>U_l</td> <td>0.95</td> <td>≥ 0.60</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>TI</td> <td>7 %</td> <td>≤ 15 %</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>R_{el}</td> <td>0.47</td> <td>≥ 0.30</td> <td>✓</td> </tr> </tbody> </table>		Tamanho	Calculado	Nominal	Check	Roadway 2 (M4)	L_m	2.60 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓	U_s	0.87	≥ 0.40	✓	U_l	0.94	≥ 0.60	✓	TI	9 %	≤ 15 %	✓	R_{el}	0.41	≥ 0.30	✓	Roadway 1 (M4)	L_m	2.54 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓	U_s	0.95	≥ 0.40	✓	U_l	0.95	≥ 0.60	✓	TI	7 %	≤ 15 %	✓	R_{el}	0.47	≥ 0.30	✓
	Tamanho	Calculado	Nominal	Check																																													
Roadway 2 (M4)	L_m	2.60 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓																																													
	U_s	0.87	≥ 0.40	✓																																													
	U_l	0.94	≥ 0.60	✓																																													
	TI	9 %	≤ 15 %	✓																																													
	R_{el}	0.41	≥ 0.30	✓																																													
Roadway 1 (M4)	L_m	2.54 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓																																													
	U_s	0.95	≥ 0.40	✓																																													
	U_l	0.95	≥ 0.60	✓																																													
	TI	7 %	≤ 15 %	✓																																													
	R_{el}	0.47	≥ 0.30	✓																																													

<p>Área de circulação ao longo do edifício</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Tamanho</th> <th>Calculado</th> <th>Nominal</th> <th>Check</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">Roadway 1 (M4)</td> <td>L_m</td> <td>0.77 cd/m²</td> <td>≥ 0.75 cd/m²</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>U_o</td> <td>0.70</td> <td>≥ 0.40</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>U_l</td> <td>0.68</td> <td>≥ 0.60</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>TI</td> <td>9 %</td> <td>≤ 15 %</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>R_{E1}</td> <td>0.56</td> <td>≥ 0.30</td> <td>✓</td> </tr> </tbody> </table>		Tamanho	Calculado	Nominal	Check	Roadway 1 (M4)	L_m	0.77 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓	U_o	0.70	≥ 0.40	✓	U_l	0.68	≥ 0.60	✓	TI	9 %	≤ 15 %	✓	R_{E1}	0.56	≥ 0.30	✓
	Tamanho	Calculado	Nominal	Check																								
Roadway 1 (M4)	L_m	0.77 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓																								
	U_o	0.70	≥ 0.40	✓																								
	U_l	0.68	≥ 0.60	✓																								
	TI	9 %	≤ 15 %	✓																								
	R_{E1}	0.56	≥ 0.30	✓																								
<p>Área de descarga nas traseiras do edifício</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Tamanho</th> <th>Calculado</th> <th>Nominal</th> <th>Check</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">Roadway 1 (M4)</td> <td>L_m</td> <td>0.56 cd/m²</td> <td>≥ 0.75 cd/m²</td> <td>✗</td> </tr> <tr> <td>U_o</td> <td>0.66</td> <td>≥ 0.40</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>U_l</td> <td>0.82</td> <td>≥ 0.60</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>TI</td> <td>1 %</td> <td>≤ 15 %</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>R_{E1}</td> <td>0.47</td> <td>≥ 0.30</td> <td>✓</td> </tr> </tbody> </table> <p>Nota: Na tabela pode-se verificar que o nível de iluminação nesta zona não é atingido, isto deve-se à falta de iluminação na lateral do edifício que será disponibilizada por o próprio edifício.</p>		Tamanho	Calculado	Nominal	Check	Roadway 1 (M4)	L_m	0.56 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✗	U_o	0.66	≥ 0.40	✓	U_l	0.82	≥ 0.60	✓	TI	1 %	≤ 15 %	✓	R_{E1}	0.47	≥ 0.30	✓
	Tamanho	Calculado	Nominal	Check																								
Roadway 1 (M4)	L_m	0.56 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✗																								
	U_o	0.66	≥ 0.40	✓																								
	U_l	0.82	≥ 0.60	✓																								
	TI	1 %	≤ 15 %	✓																								
	R_{E1}	0.47	≥ 0.30	✓																								

6.1.3. ANÁLISE DE CONSUMOS – SOLUÇÃO 1

De modo a que se consiga fazer uma previsão de consumos da instalação o mais aproximada possível, é necessário efetuar o cálculo do consumo total estimado que a instalação irá necessitar.

Com base nos dados retirados do Anexo B, é possível caracterizar o consumo total da instalação a partir da equação (6.1).

$$\text{Potência Total (W)} = \text{Potência Nominal (W)} * \text{Quantidade} \quad (6.1)$$

$$\text{Potência Total} = 56 * 16 = 896 \text{ W}$$

Sabendo a potência consumida da instalação, o próximo passo é caracterizar o número de horas que as luminárias permanecem ligadas à noite. Em Portugal, contamos com dois fusos horários, o de verão e o de inverno. O horário de verão define 155 dias e o de inverno 210 dias.

Sendo o troço em estudo uma via de acesso a um edifício industrial que não irá funcionar durante o período noturno, não há necessidade de a iluminação ficar com a intensidade máxima durante todo o período noturno. Como tal, o estudo de análise de consumos será dividido em duas partes:

- Luminárias sem controlo, estando ligadas durante todo o período noturno a 100%.
- Luminárias com controlo *dimmer*, em que é possível ajustar a iluminação à hora da noite com menos movimento.

Para a hipótese de funcionamento das luminárias sem função *dimming*, foi calculado para o horário de Verão um período de funcionamento entre as 20h e as 06.30h. No horário de Inverno, foi calculado um período de funcionamento entre as 18h e as 07h.

Os resultados de consumo de energia previstos para este sistema de iluminação, consoante o perfil de utilização mencionado anteriormente é observável na tabela 6.2.

Tabela 6.2: Estimativa de consumos de energia do sistema sem função *dimming*

	Potência instalada (W)	Horas/Dia	kWh (dia)	kWh (mês)	kWh (ano)
Horário Verão	896	10,5	9,408	282,240	1 458,240
Horário Inverno	896	13	11,648	349,440	2 446,080
				Total	3 904,32

Na tabela 6.2, observa-se a estimativa de consumo diário, mensal e anual para a luminária proposta para a solução sem função *dimming*. O consumo mensal é a multiplicação da estimativa diária de kWh por 30 dias e o anual é multiplicar o consumo diário pelo número de dias do período de Verão e de Inverno. Pode-se observar que para as 16 luminárias a funcionar ao mesmo tempo, durante o mesmo período de tempo, o total de consumo anual é de 3904,32 kWh.

Considerando os dados de consumo descritos na tabela anterior, podemos estimar o custo mensal gasto neste troço em estudo. Considerando que as luminárias estarão em funcionamento no período noturno, o período de funcionamento irá conciliar três escalões de energia (Cheia, Ponta e Vazio). Para o estudo irá ser considerado uma potência contratada de 3,45 kVA.

Segundo os dados constantes no portal da Entidade Reguladora de Serviços Energéticos (ERSE), para o ciclo diário para instalações em Baixa Tensão Normal (BTN), em opção tri-horária, os períodos de consumo são os apresentados na figura 6.4.

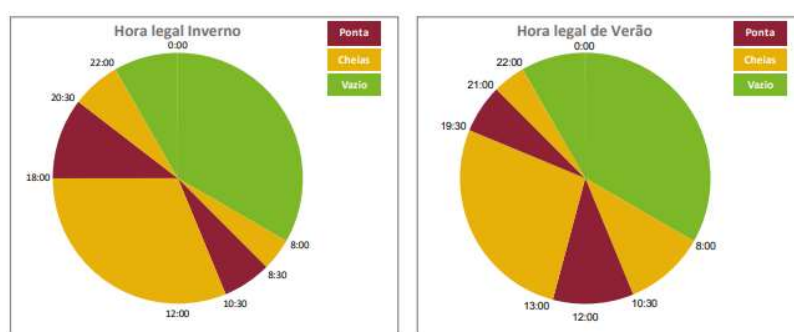


Figura 6.4: Horários dos ciclos de consumo de energia elétrica [27]

A partir de uma fatura facultada pela Câmara Municipal de Olhão, para o ano de 2021, foi possível fazer um cálculo aproximado do preço do kWh proposto nos diferentes tipos de ciclo de consumo. Na tabela 6.3 é possível analisar os custos associados de IP à solução sem função *dimming*.

Tabela 6.3: Análise de custos associados à IP sem função *dimming*

		Horas em Funcionamento (h)	Tarifa Horária (€/kWh)	Custo diário (€)	Custo anual (€)
Potência Contratada 3,45 kVA				0,09	33,00
Horário de Inverno	Ponta	2,5	0,18	0,40	84,67
	Vazio	9	0,14	1,13	237,08
	Cheia	1,5	0,17	0,23	47,98
Horário de Verão	Ponta	1	0,18	0,16	33,87
	Vazio	8	0,14	1,00	210,74
	Cheia	1	0,17	0,15	31,99
Total Inverno		2 730,00		1,85	495,36
Total Verão		2 100,00		1,41	380,80
Total		4 830,00			876,16

Para a hipótese de funcionamento com a função *dimming* ativa, será reduzido o fluxo luminoso em 50% entre as 22h30 e as 4h30 da manhã seguinte.

Na tabela 6.4 é possível observar os custos resultantes da implementação da solução com função *dimming*.

Tabela 6.4: Análise de custos associados à IP com função *dimming*

		Horas em Funcionamento (h)	Tarifa Horária (€/kWh)	Custo diário (€)	Custo anual (€)
Potência Contratada 3,45 kVA				0,09	33,00
Horário de Inverno	Ponta	2,5	0,18	0,40	84,67
	Vazio	9	0,14	0,72	151,00
	Cheia	1,5	0,17	0,23	47,98
Horário de Verão	Ponta	1	0,18	0,16	33,87
	Vazio	8	0,14	0,72	151,00
	Cheia	1	0,17	0,15	31,99
Total Inverno		2 730,00		1,44	389,48
Total Verão		2 100,00		1,12	307,32
Total		4 830,00			696,79

Como é possível verificar, com o uso da função *dimming* os custos com a eletricidade são inferiores à solução sem função *dimming*. É possível verificar que o período em que o controlador se encontra ativo corresponde ao período em que o preço da eletricidade é também inferior. Contudo, tratando-se de uma zona de pouco movimento durante o período noturno, a solução *dimming* seria a que trazia melhores benefícios, não só ambientais, mas também económicos.

6.2. SOLUÇÃO 2 – SISTEMA COM INTEGRAÇÃO DE PAINEL FOTOVOLTAICO

Uma luminária solar é um equipamento de iluminação exterior, para rede viária ou espaços de lazer, como jardins ou vias pedonais, cuja energia gasta é de origem solar, normalmente acumulada durante o dia (quando há radiação) e gasta durante a noite, providenciando iluminação.

Acoplado à luminária está um painel solar que converte a energia solar em elétrica. Deve ser montado com uma inclinação que maximize o recurso solar.

A bateria armazena a energia convertida durante o dia e alimenta a luminária durante a noite. Dependendo da bateria, é possível guardar energia necessária para a iluminação durante algumas noites, no caso de não haver recurso solar durante um curto período de dias.

As luminárias solares podem ficar independentes da rede, uma vez que possuem uma bateria, facilitando assim a sua instalação em locais isolados, onde uma eventual ligação à rede seria muito dispendiosa ou até impeditiva à implementação da iluminação.

No caso que se vai desenvolver, como alternativa à solução projetada, será utilizada uma luminária solar híbrida. Isto significa que a luminária estará a funcionar ligada à rede pública.

6.2.1. LUMINÁRIA

Para o estudo da solução proposta, será utilizada a luminária SunStay da Philips de 35W (figura 6.5). A ficha técnica da luminária pode ser visualizada no Anexo B.



Figura 6.5: Luminária SunStay da Philips [28]

A luminária pode ser instalada em postes verticais ou em braços horizontais. O painel fotovoltaico instalado na parte superior da luminária permite uma inclinação entre os 0° e os 15° de curvatura, o que permite captar melhor a radiação solar, dependendo da localização que a luminária se encontra.

Para permitir uma melhor poupança de energia nos momentos de menor movimento noturno, a luminária conta com sensor de movimento (PIR), que consegue detetar movimento e aumentar a intensidade luminosa.

O painel fotovoltaico consegue produzir uma potência de pico de cerca de 60 W que com a ajuda da bateria em condições ideais de funcionamento (25°C) consegue com uma carga total uma autonomia de 24 horas de funcionamento com curva de regulação e sensor PIR. Para um uso contínuo com a bateria totalmente carregada e sem a utilização do sensor, a luminária é capaz de permanecer ligada cerca de 10 horas com apenas uma carga [28].

Para uma melhor utilização do sensor de movimento (PIR), sugere-se que seja utilizada a altura máxima recomendada da luminária de aproximadamente 6 metros. Esta altura pode

variar consoante o fluxo. Para este caso iremos utilizar uma luminária que produz 6000 lumens, com 35 W de consumo e com uma eficiência de 170 lumens por watt (lm/W) [28].

A bateria de fosfato de ferro e lítio que a incorpora conta com uma capacidade de 380 Wh e com cerca de 2000 ciclos de carga e descarga [28].

A regulação standard da luminária para otimizar a bateria durante um ciclo de carregamento utilizando o sensor PIR é dado pelo gráfico da figura 6.6. Esta regulação deverá sempre ter em consideração as coordenadas geográficas do local e a média anual de horas solares.

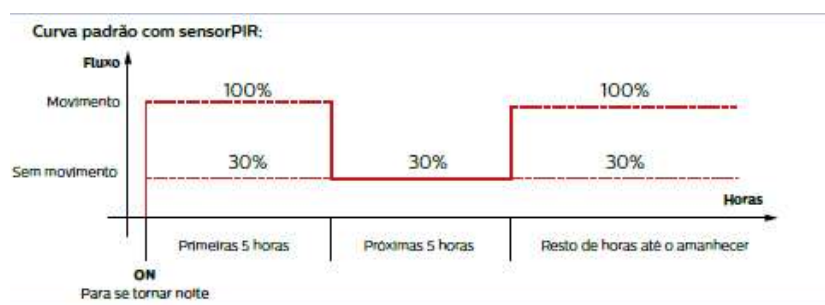


Figura 6.6: Regulação standart do controlador PIR da luminária SunStay

Como é possível verificar pela figura 6.6, nas primeiras 5 horas de funcionamento a luminária permanece com uma regulação de 30% do fluxo, aumentando para o seu máximo caso detete a passagem de pessoas na zona circundante. Depois das 5 horas iniciais as luminárias mantêm os 30% de fluxo e no resto do tempo repetem a primeira situação.

Este caso da curva padrão adequa-se ao local em estudo, visto ser um local de permanência de pessoas no local apenas no horário de funcionamento. Depois dessa hora não existe movimento de pessoas no local, logo não faz sentido ter todas as luminárias com o seu fluxo máximo. Com este método consegue-se aumentar a duração da bateria.

6.2.2. ESTUDO LUMINOTÉCNICO

A partir do software DialuxEvo®, utilizado no estudo anterior, alterando os dados referentes à luminária agora proposta, foi necessário fazer algumas alterações. Com este tipo de luminária, visto a altura máxima recomendada de utilização foi alterada para 6 m devido à utilização do sensor PIR, foi necessário acrescentar mais pontos de iluminação ao longo do troço para manter os níveis de luminância dentro dos parâmetros desejados. Como tal, o troço passou a contar com 31 luminárias distanciadas entre elas de aproximadamente 9,5 metros.

Com o ajuste necessário para manter os níveis de luminância dentro do desejável, podemos observar, a partir da tabela 6.5, os respectivos valores obtidos respeitando a classificação da via.

Tabela 6.5: Resultados de cálculo DialuxEvo® – Solução 2

	Análise por zona	Dados obtidos pela simulação no DIALux																																															
Área de circulação de entrada		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Tamanho</th> <th>Calculado</th> <th>Nominal</th> <th>Check</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">Roadway 2 (M4)</td> <td>L_m</td> <td>1.27 cd/m²</td> <td>≥ 0.75 cd/m²</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>U_o</td> <td>0.71</td> <td>≥ 0.40</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>U_l</td> <td>0.60</td> <td>≥ 0.60</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>TI</td> <td>1 %</td> <td>≤ 15 %</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>R_{E1}</td> <td>0.93</td> <td>≥ 0.30</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">Roadway 1 (M4)</td> <td>L_m</td> <td>1.22 cd/m²</td> <td>≥ 0.75 cd/m²</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>U_o</td> <td>0.82</td> <td>≥ 0.40</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>U_l</td> <td>0.74</td> <td>≥ 0.60</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>TI</td> <td>1 %</td> <td>≤ 15 %</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>R_{E1}</td> <td>0.87</td> <td>≥ 0.30</td> <td>✓</td> </tr> </tbody> </table>		Tamanho	Calculado	Nominal	Check	Roadway 2 (M4)	L_m	1.27 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓	U_o	0.71	≥ 0.40	✓	U_l	0.60	≥ 0.60	✓	TI	1 %	≤ 15 %	✓	R_{E1}	0.93	≥ 0.30	✓	Roadway 1 (M4)	L_m	1.22 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓	U_o	0.82	≥ 0.40	✓	U_l	0.74	≥ 0.60	✓	TI	1 %	≤ 15 %	✓	R_{E1}	0.87	≥ 0.30	✓
	Tamanho	Calculado	Nominal	Check																																													
Roadway 2 (M4)	L_m	1.27 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓																																													
	U_o	0.71	≥ 0.40	✓																																													
	U_l	0.60	≥ 0.60	✓																																													
	TI	1 %	≤ 15 %	✓																																													
	R_{E1}	0.93	≥ 0.30	✓																																													
Roadway 1 (M4)	L_m	1.22 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓																																													
	U_o	0.82	≥ 0.40	✓																																													
	U_l	0.74	≥ 0.60	✓																																													
	TI	1 %	≤ 15 %	✓																																													
	R_{E1}	0.87	≥ 0.30	✓																																													
Área de estacionamento		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Tamanho</th> <th>Calculado</th> <th>Nominal</th> <th>Check</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">Roadway 2 (M4)</td> <td>L_m</td> <td>1.09 cd/m²</td> <td>≥ 0.75 cd/m²</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>U_o</td> <td>0.71</td> <td>≥ 0.40</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>U_l</td> <td>0.60</td> <td>≥ 0.60</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>TI</td> <td>2 %</td> <td>≤ 15 %</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>R_{E1}</td> <td>0.83</td> <td>≥ 0.30</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">Roadway 1 (M4)</td> <td>L_m</td> <td>1.07 cd/m²</td> <td>≥ 0.75 cd/m²</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>U_o</td> <td>0.74</td> <td>≥ 0.40</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>U_l</td> <td>0.63</td> <td>≥ 0.60</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>TI</td> <td>1 %</td> <td>≤ 15 %</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>R_{E1}</td> <td>0.87</td> <td>≥ 0.30</td> <td>✓</td> </tr> </tbody> </table>		Tamanho	Calculado	Nominal	Check	Roadway 2 (M4)	L_m	1.09 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓	U_o	0.71	≥ 0.40	✓	U_l	0.60	≥ 0.60	✓	TI	2 %	≤ 15 %	✓	R_{E1}	0.83	≥ 0.30	✓	Roadway 1 (M4)	L_m	1.07 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓	U_o	0.74	≥ 0.40	✓	U_l	0.63	≥ 0.60	✓	TI	1 %	≤ 15 %	✓	R_{E1}	0.87	≥ 0.30	✓
	Tamanho	Calculado	Nominal	Check																																													
Roadway 2 (M4)	L_m	1.09 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓																																													
	U_o	0.71	≥ 0.40	✓																																													
	U_l	0.60	≥ 0.60	✓																																													
	TI	2 %	≤ 15 %	✓																																													
	R_{E1}	0.83	≥ 0.30	✓																																													
Roadway 1 (M4)	L_m	1.07 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓																																													
	U_o	0.74	≥ 0.40	✓																																													
	U_l	0.63	≥ 0.60	✓																																													
	TI	1 %	≤ 15 %	✓																																													
	R_{E1}	0.87	≥ 0.30	✓																																													

Área de circulação ao longo



	Tamanho	Calculado	Nominal	Check
Roadway 1 (M4)	L_m	0.91 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓
	U_o	0.68	≥ 0.40	✓
	U_l	0.63	≥ 0.60	✓
	TI	2 %	≤ 15 %	✓
	R_B	0.84	≥ 0.30	✓

Área de descarga nas



	Tamanho	Calculado	Nominal	Check
Roadway 1 (M4)	L_m	0.75 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓
	U_o	0.53	≥ 0.40	✓
	U_l	0.70	≥ 0.60	✓
	TI	1 %	≤ 15 %	✓
	R_B	0.52	≥ 0.30	✓

6.2.3. ANÁLISE DE CONSUMOS – SOLUÇÃO 2

Para realizar o cálculo de consumo para esta solução, será necessário padronizarmos alguns hábitos de consumo. Sabendo que este sistema é capaz de funcionar todo o período noturno com apenas 30% da sua capacidade máxima de luminância, consegue-se tirar o máximo partido desta funcionalidade, tratando-se de um local de comércio que depois das horas de funcionamento, praticamente nenhum movimento irá ser registado.

Para efeito de cálculo, será considerado o período de Inverno, visto ser o que representa mais horas com os aparelhos de iluminação ligados. Será considerado ainda o nível máximo de luminância entre as 18h e as 20h, período em que se espera movimento de pessoas neste troço. A partir dessa hora, irá ser considerado apenas 30% do fluxo luminoso, visto não ser espectável qualquer movimento dentro do troço de via em estudo.

Devido às características da via e da posição das luminárias em relação ao azimute geográfico, foi necessário separar o cálculo em 3 partes distintas para ser possível ajustar a inclinação do painel (entre 0° e 15°) de modo a obter a máxima eficiência do sistema.

A Zona 1 caracteriza as luminárias com azimute de 40°, a Zona 2 caracteriza as luminárias com azimute de 160° e a Zona 3 caracteriza as luminárias com azimute de -150°.

Na figura 6.7 é possível visualizar a separação em zonas das luminárias dependendo das suas posições geográficas.



Figura 6.7: Representação das zonas de luminárias em zonas de cálculo

O primeiro passo para ser possível calcular o consumo de energia elétrica que a solução apresentada irá buscar à rede, é necessário ter conhecimento se a bateria consegue suportar toda a energia despendida pelo aparelho de iluminação durante todo o período noturno. Como tal, recorrendo a um software disponibilizado online pela *Comissão Europeia* [29], é possível ficar a conhecer alguns aspetos acerca deste sistema.

Para saber se a bateria aguentaria a carga durante o período noturno foi escolhido realizar o cálculo para um sistema *Off-Grid*, isto quer dizer que não irá buscar energia à rede, logo, quando a energia armazenada pela bateria acabar, o sistema não irá funcionar. Desta forma é possível saber durante cada mês, a percentagem de dias que se espera que a bateria descarregue totalmente.

Para o cálculo destas 3 zonas foram introduzidos na plataforma PVGIS [29] os seguintes valores, constantes na folha de características da luminária:

- Potência de pico do painel fotovoltaico de 60 W;
- Capacidade da bateria através do cálculo de ampere-hora da bateria vezes tensão da bateria: $30 \times 12 = 360 \text{ Wh}$;
- Profundidade de descarga (*Depth of Discharge*, DOD) indica a percentagem da capacidade nominal que é usada antes de se proceder ao recarregamento da bateria. Para o caso de baterias de Fosfato de ferro de lítio esse valor situa-se nos 80% [30];
- O consumo diário para cada luminária, com o perfil caracterizado anteriormente é de 164,5 Wh.

Existem ainda dois valores que são necessários introduzir que são o *slope* (inclinação do painel) da luminária e o azimute a que se encontra em relação ao sul. Estes dois valores dependem das localizações e do menor valor conseguido na percentagem de dias em que a bateria ficou totalmente descarregada.

As fórmulas de cálculo utilizadas pelo PVGIS para o cálculo do sistema fotovoltaico desligado da rede (*Off-Grid*) baseia-se no seguinte método:

- Calcula para cada hora a radiação incidente no painel fotovoltaico e a potência do painel;
- Se a potência do fotovoltaico é maior que a potência consumida dessa hora, guarda o resto da energia na bateria;
- Se a potência do fotovoltaico é menor que a energia consumida, vai buscar essa energia à bateria;
- Se a bateria ficar carregada, calcula a energia desperdiçada e essa energia não pode ser consumida ou guardada;
- Se a bateria ficar descarregada, calcula a energia que falta e adiciona o dia ao número de dias em que a bateria ficou sem energia.

Para a Zona 1, que caracteriza as luminárias com um azimute em relação ao sul de 40° e um ajuste do ângulo do painel fotovoltaico de 15° para obter o mínimo valor percentual de dias durante o ano com a bateria vazia, obteve-se os resultados apresentados na figura 6.8.

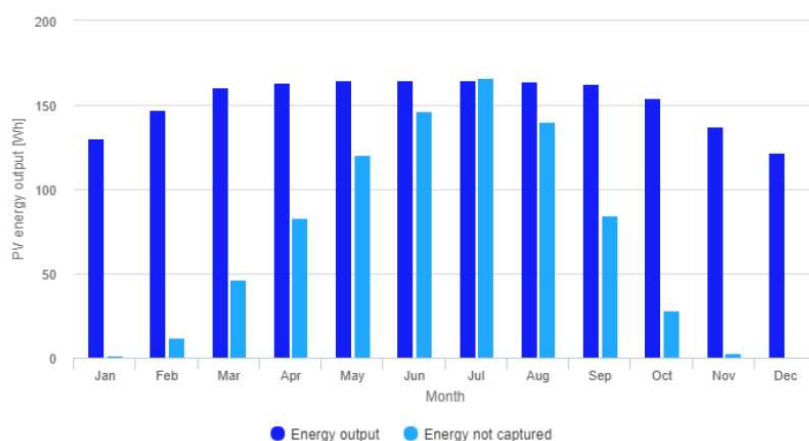


Figura 6.8: Produção da bateria estimada para um sistema fotovoltaico *off-grid* – Zona 1. (Gráfico retirado do relatório PVGIS do Anexo C)

Como é possível observar a partir do gráfico representado na figura 6.8, a energia despendida pelo painel fotovoltaico manteve-se dentro do expectável, sendo um pouco maior no período de verão.

A energia que não foi capturada pelo painel também foi maior nos meses de Verão. Isto quer dizer que o painel não conseguiu guardar muita da energia incidente durante o período de exposição solar, desperdiçando-a.

Para os meses de Inverno como os níveis de radiação são menores, o painel conseguir absorver grande parte dessa energia, utilizando para carregar as baterias.

Como meio de comparação, no mês de janeiro, em média 1,6 Wh por dia não foram capturados pelo painel, isto, comparando com o mês de julho, este número sobe para 166,2 Wh. Este número deve-se ao tamanho e às características do painel.

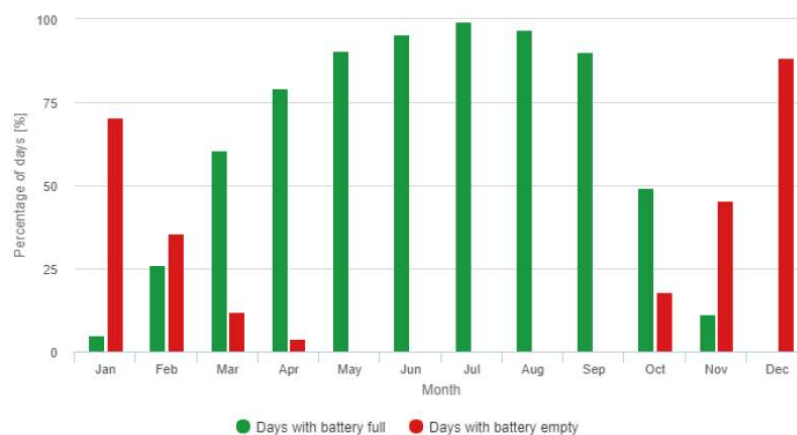


Figura 6.9: Performance da bateria estimada para um sistema fotovoltaico *off-grid* – Zona 1. (Gráfico retirado do relatório PVGIS do Anexo C)

A figura 6.9 mostra a atuação da bateria nos diferentes meses do ano. É possível visualizar que durante o inverno, a bateria não consegue manter maior parte dos dias o sistema a funcionar durante o período expectável. O pior mês é o de dezembro e o de janeiro em que em média, 78% dos dias dos dois meses a bateria não consegue funcionar durante toda a noite, vindo a ser necessário ir buscar a restante energia à rede. Já durante o período de verão, a situação é completamente diferente. De maio a outubro, mantendo os dias do estudo como expectável, o sistema consegue manter-se completamente operacional, ficando com a bateria completamente carregada em praticamente todos os dias, funcionando da melhor forma possível, sem ir buscar energia à rede.

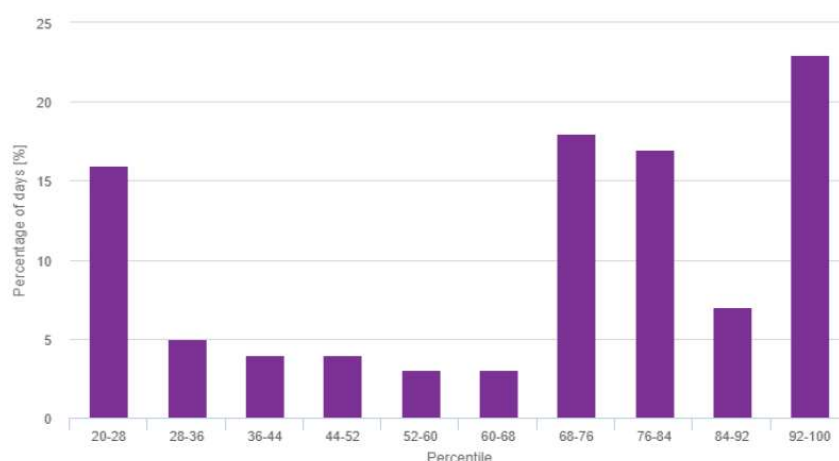


Figura 6.10: Probabilidade do estado da bateria no final do dia para um sistema fotovoltaico *off-grid* – Zona 1 (Gráfico retirado do relatório PVGIS do Anexo C)

A figura 6.10 mostra o estado provável da bateria no fim de cada dia. Através desta informação, é expectável que os dias abaixo dos 50% caracterizem os meses de inverno, visto

ser o período em que o sistema não consegue manter em maior número de dias as luminárias a funcionar durante toda a noite.

Para a Zona 2, os gráficos são semelhantes ao da Zona 1, a diferença está no ajuste da inclinação do painel para 0° e no azimute para 160° em relação ao sul, resultando nos dados apresentados na figura 6.11.

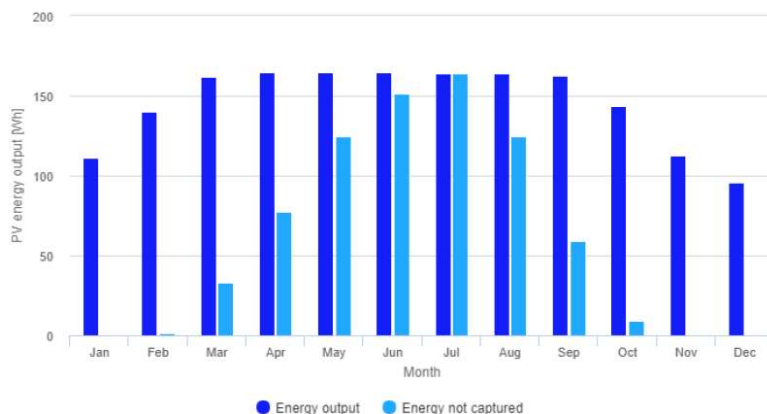


Figura 6.11: Produção da bateria estimada para um sistema fotovoltaico *off-grid* – Zona 2 (Gráfico retirado do relatório PVGIS do Anexo C)

Como é possível observar pelo gráfico representado na figura 6.11, apesar do ajuste necessário de ângulo, a energia de saída do painel e a desperdiçada é muito semelhante à da Zona 1. As maiores diferenças estão nos meses de fevereiro e outubro em que o painel debita praticamente a mesma energia de saída, mas desperdiça mais energia não capturada, não utilizando o que sobra para carregar a bateria. Visto os meses de inverno serem mais curtos e os que o sistema mais precisa de carregar a bateria para satisfazer as suas necessidades, alguma parte da energia que é incidente no painel é desperdiçada.

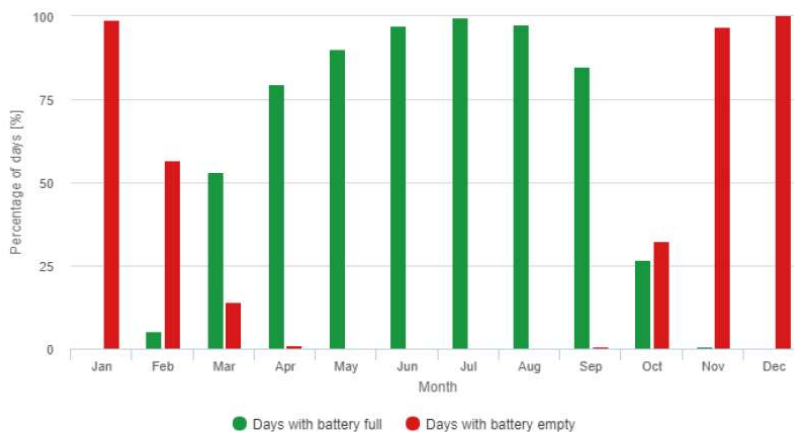


Figura 6.12: Performance da bateria estimada para um sistema fotovoltaico *off-grid* – Zona 2 (Gráfico retirado do relatório PVGIS do Anexo C)

A figura 6.12 demonstra que os aparelhos localizados na Zona 2 não se encontram bem dimensionados para o período de inverno. É possível verificar que nos meses de novembro a janeiro as baterias ficam praticamente todos os dias descarregadas (novembro 96,9%, dezembro 100% e janeiro 99%), consumindo todos os dias energia da rede para se manterem ligadas o resto da noite. Durante o período de verão, o sistema consegue ficar 100% desligado da rede, não precisando de consumir energia vindo da rede.

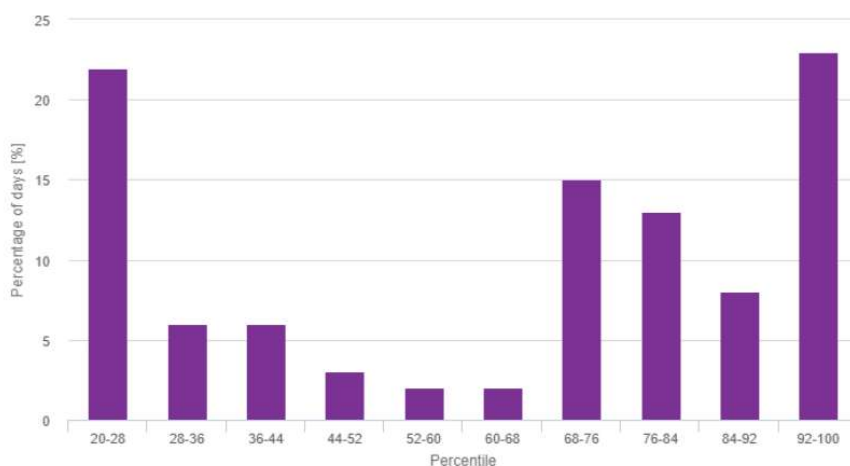


Figura 6.13: Probabilidade do estado da bateria no final do dia para um sistema fotovoltaico off-grid – Zona 2 (Gráfico retirado do relatório PVGIS do Anexo C)

Com a figura 6.13 é possível confirmar o que foi dito anteriormente: a percentagem de dias com a carga da bateria mais baixas subiu substancialmente em relação à Zona 1. Isto deve-se à radiação recebido pelo painel durante o dia ser mais baixa que nas restantes zonas.

Finalmente, para as luminárias da Zona 3, direcionadas para aproximadamente -150° em relação ao Sul, foi necessário ajustar o ângulo do painel para 0° , de forma a obter a menor percentagem de dias durante o ano em que se estima que a bateria se encontre vazia. Os dados que se obtiveram podem ser vistos na figura 6.14.

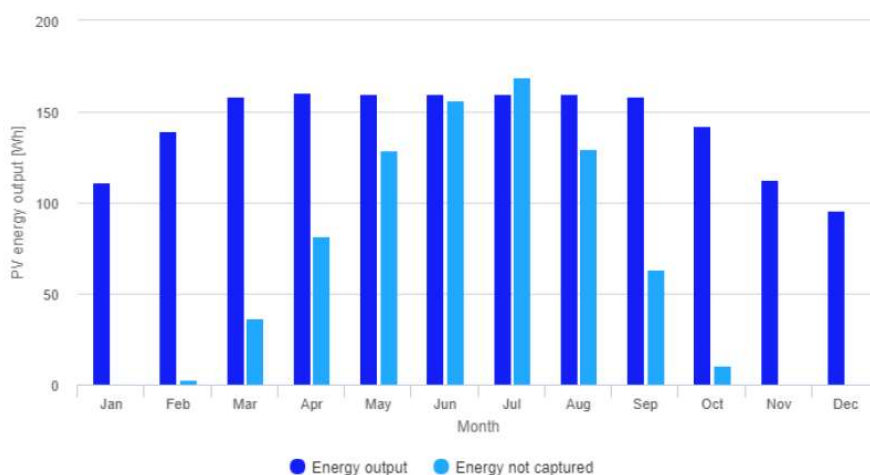


Figura 6.14: Produção da bateria estimada para um sistema fotovoltaico *off-grid* – Zona 3 (Gráfico retirado do relatório PVGIS do Anexo C)

Os dados obtidos, foram praticamente os mesmos para a zona 2. Estando ambos os painéis com a mesma inclinação, mas em azimutes diferentes, a energia irradiada foi praticamente a mesma, visto se encontrarem no mesmo plano.

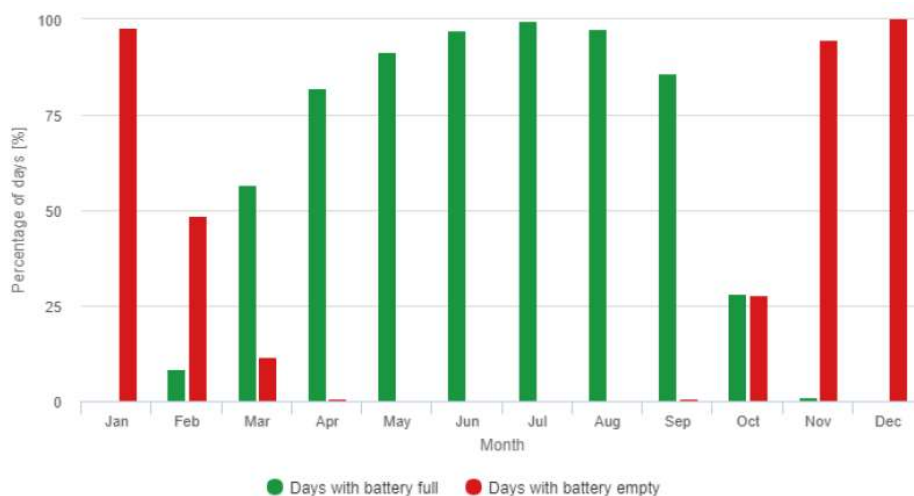


Figura 6.15: Performance da bateria estimada para um sistema fotovoltaico *off-grid* – Zona 3 (Gráfico retirado do relatório PVGIS do Anexo C)

Como é possível observar, as diferenças no gráfico representado na figura 6.15, comparando com o da Zona 2, também não se mantiveram.

Nos meses de Verão o sistema consegue trabalhar autonomamente e nos meses de Inverno já necessita de ir buscar energia à rede.

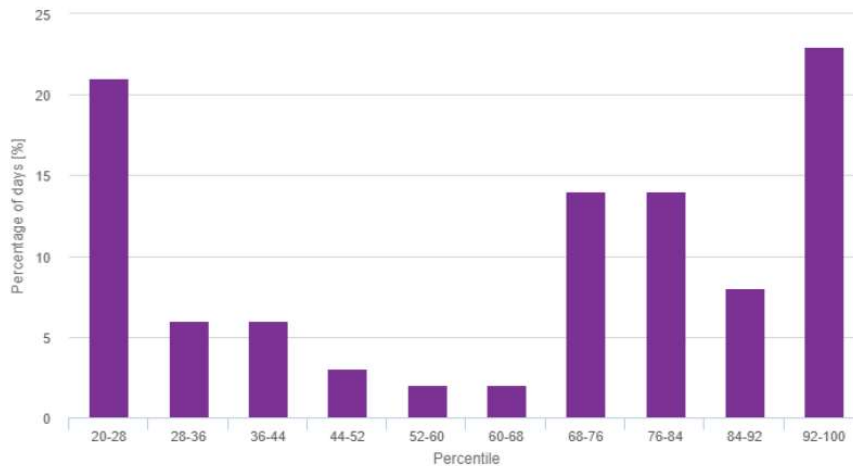


Figura 6.16: Probabilidade do estado da bateria no final do dia para um sistema fotovoltaico off-grid – Zona 3 (Gráfico retirado do relatório PVGIS do Anexo C)

Na figura 6.16 é possível verificar as semelhanças com a Zona 2. Existem algumas pequenas diferenças que têm a ver com a área do painel no sentido horizontal ou vertical em relação à orientação de irradiação do sol.

A partir da informação retirada dos gráficos anteriormente apresentados, é possível chegar a uma estimativa do custo de energia que o sistema vai necessitar da rede durante um ano. Com os dados apresentados no Anexo C, é possível estimar a energia fornecida pela rede ao sistema para se manter em funcionamento durante o período expectável, através da equação (6.2). Sabendo a energia estimada em falta anualmente, é possível chegar a um custo que a instalação irá necessitar para se manter em funcionamento.

$$E_{falta} = \frac{365 \times F_e}{100} \times E_m \times n \quad (6.2)$$

Em que:

E_{falta} é a energia em falta no sistema durante um ano;

F_e representa a percentagem de dias em que a bateria fica vazia;

E_m é a média de energia em falta nos dias em que a bateria ficou vazia;

n é o número de luminárias presentes nas diferentes Zonas.

Tabela 6.6: Previsão de consumo para sistema de luminária fotovoltaica

	Energia em falta no sistema num ano por luminária (Fe) (Wh)	Nº Luminárias	Percentagem de dias que a bateria ficou vazia (F_e)	Média de energia em falta com bateria vazia (E_m)	Preço kWh (€)	Preço
Zona 1	79280,3652	19	22,8	50,14	0,14	11,10
Zona 2	40263,15438	6	33,27	55,26	0,14	5,64
Zona 3	42533,8515	7	31,8	52,35	0,14	5,95
					Total	27,91

Na tabela 6.6 é possível visualizar a energia em falta no sistema nas diferentes Zonas em estudo, chegando a um valor total estimado de consumo anual da instalação.

Como é possível constatar com os dados da tabela 6.6, a utilização deste tipo de luminárias com painel solar e baterias incorporado permite um grande aproveitamento da energia solar, fazendo com que este sistema seja praticamente autossustentável, não necessitando de ir buscar uma parcela significativa de energia à rede.

Sabendo que a estimativa de dias em que a bateria não consegue suportar o sistema foi de apenas entre 22% e 33% dos dias do ano, o que se traduz em cerca de 85 dias, e que desses 85 dias, foi necessária uma média de 52 Wh por dia, torna-se mais fácil fazer o cálculo de consumo do sistema.

Para a luminária em estudo, que tem um consumo de 35 W, podemos considerar que a bateria apenas não consegue suportar a luminária ligada durante as últimas horas de utilização. O período em que a luminária se encontra ligada à rede elétrica é o mesmo em que o custo de energia é mais reduzido, o que se traduz numa poupança económica, comparando com outros períodos noturnos.

6.3. SOLUÇÃO 3 – SISTEMA COM INTEGRAÇÃO DE PAINEL FOTOVOLTAICO E BATERIAS DE APOIO

Um sistema fotovoltaico autônomo é essencialmente concebido para alimentar um conjunto de cargas que operam isoladas da rede elétrica, durante todo o ano.

Neste contexto, o dimensionamento de um sistema fotovoltaico autônomo é normalmente efetuado através do conhecimento prévio da irradiação solar disponível, correspondente ao mês com o menor número de horas solares equivalentes. Este tipo de sistemas, para além de integrarem os próprios painéis solares, devem também incluir os seguintes componentes adicionais:

- Baterias: a sua principal função consiste em assegurar os consumos de energia elétrica nos períodos em que o recurso solar não está disponível (período noturno);
- Controlador de carga: a sua principal função reside em efetuar a gestão de carga das baterias;
- Inversor de corrente: para o caso de existirem cargas a alimentar em corrente alternada, a sua principal função consiste em converter a tensão contínua em alternada, com a frequência e amplitude da rede.

6.3.1. LUMINÁRIA

Para o estudo da solução proposta, será utilizada a luminária Philips BGP307 de 40,5W (figura 6.17). A ficha técnica da luminária pode ser visualizada no Anexo B.





Figura 6.17: Luminária Philips ClearWay Gen 2 BGP307-6900lm, 40.5W [31]

6.3.2. ESTUDO LUMINOTÉCNICO

A partir do software DialuxEvo® utilizado no estudo anterior, alterando os dados referentes à luminária agora proposta, foi necessário fazer algumas alterações. Com este tipo de luminária, a uma altura útil de funcionamento de 8 metros, foi possível chegar aos níveis esperados de luminância com 27 luminárias distanciadas entre si de aproximadamente 14 metros.

Com o ajuste necessário para manter os níveis de luminância dentro do desejável, podemos observar, a partir da tabela 6.7, os respectivos valores obtidos respeitando a classificação da via.

Tabela 6.7: Resultados de cálculo DialuxEvo® – Solução 3

	Análise por zona	Dados obtidos pela simulação no DIALux																																															
Área de circulação de entrada		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Tamanho</th> <th>Calculado</th> <th>Nominal</th> <th>Check</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">roadway 2 (M4)</td> <td>L_m</td> <td>0.79 cd/m²</td> <td>≥ 0.75 cd/m²</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>U_o</td> <td>0.86</td> <td>≥ 0.40</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>U_l</td> <td>0.69</td> <td>≥ 0.60</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>TI</td> <td>2 %</td> <td>≤ 15 %</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>R_{El}</td> <td>0.96</td> <td>≥ 0.30</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">roadway 1 (M4)</td> <td>L_m</td> <td>0.75 cd/m²</td> <td>≥ 0.75 cd/m²</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>U_o</td> <td>0.92</td> <td>≥ 0.40</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>U_l</td> <td>0.83</td> <td>≥ 0.60</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>TI</td> <td>2 %</td> <td>≤ 15 %</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>R_{El}</td> <td>0.92</td> <td>≥ 0.30</td> <td>✓</td> </tr> </tbody> </table>		Tamanho	Calculado	Nominal	Check	roadway 2 (M4)	L _m	0.79 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓	U _o	0.86	≥ 0.40	✓	U _l	0.69	≥ 0.60	✓	TI	2 %	≤ 15 %	✓	R _{El}	0.96	≥ 0.30	✓	roadway 1 (M4)	L _m	0.75 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓	U _o	0.92	≥ 0.40	✓	U _l	0.83	≥ 0.60	✓	TI	2 %	≤ 15 %	✓	R _{El}	0.92	≥ 0.30	✓
	Tamanho	Calculado	Nominal	Check																																													
roadway 2 (M4)	L _m	0.79 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓																																													
	U _o	0.86	≥ 0.40	✓																																													
	U _l	0.69	≥ 0.60	✓																																													
	TI	2 %	≤ 15 %	✓																																													
	R _{El}	0.96	≥ 0.30	✓																																													
roadway 1 (M4)	L _m	0.75 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓																																													
	U _o	0.92	≥ 0.40	✓																																													
	U _l	0.83	≥ 0.60	✓																																													
	TI	2 %	≤ 15 %	✓																																													
	R _{El}	0.92	≥ 0.30	✓																																													
Área de estacionamento		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Tamanho</th> <th>Calculado</th> <th>Nominal</th> <th>Check</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">Roadway 2 (M4)</td> <td>L_m</td> <td>0.77 cd/m²</td> <td>≥ 0.75 cd/m²</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>U_o</td> <td>0.77</td> <td>≥ 0.40</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>U_l</td> <td>0.68</td> <td>≥ 0.60</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>TI</td> <td>2 %</td> <td>≤ 15 %</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>R_{El}</td> <td>0.90</td> <td>≥ 0.30</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">Roadway 1 (M4)</td> <td>L_m</td> <td>0.75 cd/m²</td> <td>≥ 0.75 cd/m²</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>U_o</td> <td>0.83</td> <td>≥ 0.40</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>U_l</td> <td>0.80</td> <td>≥ 0.60</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>TI</td> <td>2 %</td> <td>≤ 15 %</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>R_{El}</td> <td>0.92</td> <td>≥ 0.30</td> <td>✓</td> </tr> </tbody> </table>		Tamanho	Calculado	Nominal	Check	Roadway 2 (M4)	L _m	0.77 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓	U _o	0.77	≥ 0.40	✓	U _l	0.68	≥ 0.60	✓	TI	2 %	≤ 15 %	✓	R _{El}	0.90	≥ 0.30	✓	Roadway 1 (M4)	L _m	0.75 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓	U _o	0.83	≥ 0.40	✓	U _l	0.80	≥ 0.60	✓	TI	2 %	≤ 15 %	✓	R _{El}	0.92	≥ 0.30	✓
	Tamanho	Calculado	Nominal	Check																																													
Roadway 2 (M4)	L _m	0.77 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓																																													
	U _o	0.77	≥ 0.40	✓																																													
	U _l	0.68	≥ 0.60	✓																																													
	TI	2 %	≤ 15 %	✓																																													
	R _{El}	0.90	≥ 0.30	✓																																													
Roadway 1 (M4)	L _m	0.75 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓																																													
	U _o	0.83	≥ 0.40	✓																																													
	U _l	0.80	≥ 0.60	✓																																													
	TI	2 %	≤ 15 %	✓																																													
	R _{El}	0.92	≥ 0.30	✓																																													

Área de circulação ao longo do



	Tamanho	Calculado	Nominal	Check
Roadway 1 (M4)	L_m	0.76 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓
	U_o	0.73	≥ 0.40	✓
	U_l	0.69	≥ 0.60	✓
	TI	1 %	≤ 15 %	✓
	R_{E1}	0.88	≥ 0.30	✓

Área de descarga nas traseiras



	Tamanho	Calculado	Nominal	Check
Roadway 1 (M4)	L_m	0.75 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓
	U_o	0.72	≥ 0.40	✓
	U_l	0.72	≥ 0.60	✓
	TI	1 %	≤ 15 %	✓
	R_{E1}	0.66	≥ 0.30	✓

6.3.3. ANÁLISE DE CONSUMOS – SOLUÇÃO 3

A determinação dos consumos energéticos é um dos principais pontos para a execução do trabalho de dimensionamento, pois define quais são as necessidades de produção do futuro sistema fotovoltaico.

A quantidade total de energia necessária para assegurar o funcionamento da instalação é estimada de acordo com a equação (6.3), ou seja:

$$W_D = P \times T \quad (6.3)$$

Em que:

W_D é a energia média diária que o sistema consome [Wh];

P é a potência nominal dos equipamentos [W];

T é o tempo de funcionamento do em horas do sistema.

Para o cálculo da energia média diária necessária para alimentar o sistema, foi calculado para o pior caso que é para o período de Inverno. Como foi referido na Solução 1, o sistema durante o período de inverno tem um tempo de funcionamento de 11 horas.

Na tabela 6.8 é demonstrada a energia média diária consumida pelo sistema.

Tabela 6.8: Consumo médio do sistema por período de funcionamento

Potência (W)	Quantidade	Horas de funcionamento (T)	W_D (Wh)
40,5	27	11	12 028

6.3.4. EQUIPAMENTOS A INSTALAR

Um sistema fotovoltaico autónomo é constituído por um conjunto de painéis fotovoltaicos, controladores de carga, baterias e inversor.

De seguida, serão dimensionados os diferentes componentes de um sistema fotovoltaico.

6.3.4.1. DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

O módulo fotovoltaico converte a energia luminosa do sol em energia elétrica. Para o correto dimensionamento dos painéis fotovoltaicos é importante conhecer as características da carga, bem como as condições de radiação da localidade na qual o sistema irá ser implementado, a tensão de operação do sistema e as perdas estimadas dos componentes do sistema.

O cálculo da capacidade mínima de geração dos módulos fotovoltaicos é determinado por meio da energia acumulada durante o dia. O valor acumulado desta energia é expresso através do número pleno de horas do sol. Esta grandeza reflete o número de horas em que a radiação solar deve permanecer constante e igual a 1 kW/m^2 de forma que a energia resultante seja equivalente à energia acumulada durante o dia.

A tabela 6.9 mostra a irradiação solar direta para o ângulo ótimo de inclinação na cidade de Loulé, onde para o ano de 2020 foram registadas a menor incidência no mês de dezembro e a maior incidência no mês de julho. Para que o sistema possa funcionar corretamente em todos os meses do ano, o dimensionamento do sistema deve considerar o mês com menor índice de irradiação.

Tabela 6.9: Irradiação solar mensal para a cidade de Loulé. (Tabela retirada dos valores do relatório PVGIS do Anexo C)

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Irradiação (kWh/m ²)	122,6	172,1	166,8	167,4	214,9	210,1	237,6	234,2	192,4	173,2	122,8	115,2

Assim, os dados relativos à irradiação solar para o pior mês é de $115,2 \text{ kWh/m}^2$, conforme ilustrado na Tabela 6.9.

Utilizando a equação (6.4), é possível calcular o número pleno de horas de sol [32]:

$$SP (h) = \frac{\text{Irradiação diária } \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}\right)}{1 \times \left(\frac{\text{kW}}{\text{m}^2}\right)} \quad (6.4)$$

A partir dos dados descritos anteriormente e utilizando a equação (6.4), o número pleno de horas de sol é:

$$SP=3,72 \text{ h}$$

O painel considerado para o estudo é do tipo silício monocristalino da marca SHARP NU-JC410 de 410 W que conta com as características apresentadas na tabela 6.10.

Tabela 6.10: Características do PV proposto (valores retirados do Anexo B)

Potência Máxima ($P_{m\acute{a}x}$)	410 W _p
Tensão de Circuito Aberto (V_{OC})	37,79 V
Corrente de Curto Circuito (I_{sc})	13,81 A
Tensão no Ponto Máximo de Potência (V_{mpp})	31,3 V
Corrente no Ponto Máximo de Potência (I_{mpp})	13,1 A
Eficiência do Módulo (η_m)	21 %

Refere-se que a tensão em circuito aberto (V_{oc}) é o máximo valor de tensão que um módulo pode entregar a uma carga sob determinadas condições de radiação e de temperatura. A tensão no ponto máximo de potência (V_{mpp}), também chamada de tensão nominal, é o valor da tensão que é entregue à carga à máxima potência. A corrente no ponto máximo de potência (I_{mpp}) corresponde ao valor da corrente máxima que um módulo pode entregar a essa mesma carga, sob determinadas condições de radiação e temperatura.

No sistema irá ser implementado uma tensão de 48 V no lado DC, tratando-se de um sistema com alguma dimensão. Esta escolha é influenciada pela tensão instalada do sistema, a potência nominal do inversor (inversores com potências mais elevadas requerem tensões mais elevadas) e pelas baterias.

Na tabela 6.11 estão apresentados os parâmetros adotados para o cálculo da potência máxima do gerador fotovoltaico, bem como dos demais componentes do sistema.

Tabela 6.11: Parâmetros para dimensionamento do sistema fotovoltaico

Consumo diário das cargas	12 092 Wh
Número de horas de sol	3,72 h
Potência consumidas pelas cargas em CA	1093,5 W
Eficiência da bateria	98%
Eficiência do Inversor	94%
Eficiência do Conversor CC*	98%
Eficiência de perda dos cabos de distribuição	98%
Tensão de Operação	48 V

* Valor padrão sugerido [32]

Assim, a partir da expressão (5.2), é determinado o rendimento total do sistema, considerando os valores da tabela 6.11.

$$\eta = 72 \%$$

Com os dados da expressão (5.1), referentes à potência de pico do PV, é possível chegar ao valor de potência de pico seguinte:

$$P_{pp} = 4491 \text{ Wp}$$

O valor de potência de pico significa a potência capaz do sistema produzir com as condições de teste precisamente determinadas (STC). Neste momento, será necessário realizar mais cálculos para determinar o número necessários de painéis para que o sistema funcione independente da rede. É importante entender que a potência nominal obtida nestas condições fixas de teste geralmente não será igual à potência gerada pelos módulos em condições normais de uso. Na prática, a potência efetivamente obtida em produção será menor que a potência nominal fornecida pelo fabricante, em função de variações de temperatura (quanto mais alta a temperatura menor o rendimento), problemas de alinhamento e outros fatores que causam perdas de rendimento.

Se com o valor de potência de pico referido anteriormente, dividirmos por a potência do painel (410 W), significa que, seria possível satisfazer as condições de funcionamento do sistema com apenas 11 painéis. Na prática não é bem assim. Como se trata de um sistema de iluminação pública desligado da rede, temos de ter alguns fatores a ter em conta, nomeadamente:

- No caso de termos vários dias seguidos sem sol, o sistema terá de ser capaz de ter energia de reserva para a iluminação continuar a funcionar durante vários dias;
- Ter um sistema capaz de conseguir carregar a energia da bateria durante um curto espaço de tempo diário.

Como tal, será necessário recorrer a outros cálculos de forma a obter o número efetivo de painéis necessários para a solução que se deseja implementar. A melhor forma para chegar a este número é recorrendo às características da bateria.

6.3.4.2. DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE BATERIAS

Devido a grande variabilidade das condições meteorológicas, e da limitação da energia solar fotovoltaico pelo seu não funcionamento noturno, sendo o sistema de produção isolada, a utilização de um sistema que garanta a continuidade de fornecimento de energia torna-se indispensável. As baterias devem ser dimensionadas para armazenar a energia consumida diariamente e mais alguns dias de reserva. Desta forma, o sistema pode fornecer energia em dias em que a radiação solar é escassa, como por exemplo em dias nublados, compensar as perdas do sistema e assegurar que a carga da bateria não excede o nível de profundidade de descarga máximo permitido.

Para dimensionar corretamente a capacidade das baterias é necessário conhecer as necessidades energéticas, a autonomia do sistema e a profundidade de descarga aceite de acordo com as normas.

A autonomia do sistema, ou seja, quanto tempo o sistema pode permanecer em funcionamento sem que haja geração de energia pelo gerador fotovoltaico está relacionada com o custo e o tamanho da bateria, pois quanto maior é o tempo de autonomia do sistema, maior será o banco de baterias e maior é o seu custo. Este sistema foi projetado para que o consumo diário da instalação apenas represente 20% da capacidade da bateria.

A profundidade de descarga de uma bateria está relacionada diretamente com a sua vida útil; a elevada profundidade de descarga faz diminuir significativamente a vida útil da bateria. A profundidade de descarga é a percentagem de carga retirado da bateria numa determinada descarga, considerando que 0% de profundidade de descarga é quando não se descarrega, ou seja, a bateria permanece 100% carregada e 100% de profundidade de descarga é quando retiramos toda a carga da bateria até atingir o potencial final de descarga estabelecido.

Sabendo o consumo diário do conjunto de luminárias do sistema (tabela 6.8) e que o sistema irá funcionar no lado DC a 48 V, é possível saber a carga que o sistema irá necessitar para alimentar as luminárias durante um período de 3 dias:

$$\frac{W_d}{V_{Dc}} = \frac{12028}{48} = 250.6 \text{ Ah} \quad (6.5)$$

Como referido anteriormente, o sistema terá de ser capaz de armazenar energia suficiente para os dias em que haja pouca produção de energia e mesmo assim, que consiga manter o sistema a funcionar sem qualquer tipo de problemas.

Conjugando à equação (5.6) com o resultado obtido na expressão (6.5), é possível saber que para satisfazer as necessidades do sistema será necessário utilizar uma bateria com capacidade (C_{10}) de 1253 Ah.

Sabendo a capacidade necessária que a bateria deverá aguentar para 10 horas de uso (C_{10}), é necessário encontrar uma que se encontre dentro dos requisitos.

Os critérios utilizados para a escolha da bateria são os seguintes:

- Boa relação desempenho/preço;
- Reduzidas exigências em termos de manutenção;
- Longo período de vida útil;
- Possibilidade de carga para pequenas intensidades de corrente;
- Resistência mecânica à vibração (para transporte);
- Cuidados com os riscos ambientais e para a saúde.

Para este caso, o sistema irá funcionar no período de Inverno 11 horas por noite, logo iremos considerar a capacidade da bateria para 10 horas (C_{10}).

A capacidade de uma bateria define a sua capacidade energética. É expressa em ampere-hora. Se uma bateria debita um ampere (1 A) de corrente (fluxo) por uma hora, tem capacidade para 1 Ah. Se poder fornecer 1 A por 10 horas, a sua capacidade é 10 Ah.

As baterias que se propõe instalar são do tipo Chumbo-Ácido VLRA – Gel (baterias estanques ou reguladas por válvulas) Exide Sonnenchein A602/1960C solar. A ficha técnica referente a esta bateria encontra-se no Anexo B. Esta bateria tem as seguintes características: tensão à potência máxima ($V_n = 2 \text{ V}$); capacidade de 1573 Ah (C_{10}).

Na figura 6.18 é representada a capacidade disponível versus o tempo de carga a 2,30 Vpc, com uma corrente de carga de 1,5 vezes a capacidade a 10 dias (C_{10}).

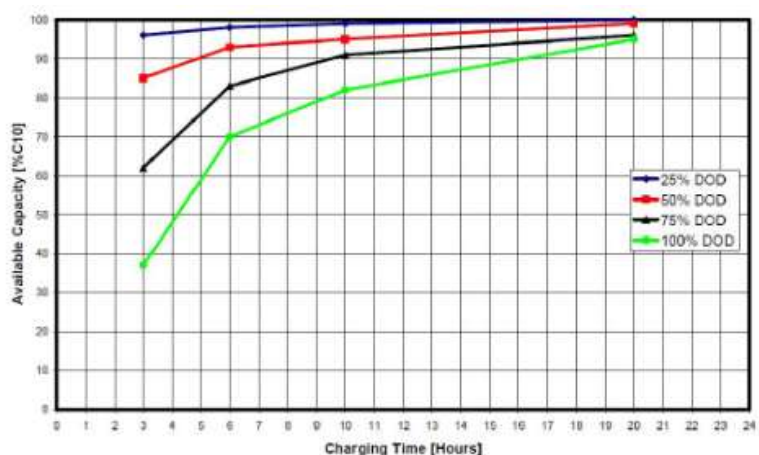


Figura 6.18: Capacidade disponível versus Tempo de carregamento a 2.30 Vpc, Corrente de carregamento a $1.5 \cdot I_{10}$ (DOD = Depth of Discharge)

Como é possível observar através do gráfico representado na figura 6.18, esta bateria com 25% de profundidade de descarga (*DOD*), demora cerca de 3 horas a carregar dos 80% aos 90% de capacidade se lhe for imposta uma corrente de $1,5 \cdot I_{10}$.

Conhecendo a capacidade mínima do banco de baterias, **1253 Ah**, e a capacidade de cada bateria de **1573 Ah**, a partir da expressão (5.4) é possível determinar que não será necessário instalar ramos em paralelo.

A tensão de operação em corrente contínua é de **48 V** e a tensão do elemento da bateria escolhida é de **2 V**, logo, como demonstrado a partir da expressão (5.5), serão instalados 24 elementos de bateria em série. O número total será também de 24 elementos.

No subcapítulo anterior, foi referido que era necessário efetuar mais cálculos de modo a se saber o número necessário de painéis fotovoltaicos a instalar, consoante as características da bateria escolhida e do tempo de carregamento. Como tal, a partir da capacidade da bateria de **1253 Ah** (C_{10}), chegamos a uma corrente de **125,3 A** (I_{10}).

Se for aplicada uma corrente de $1,5 \cdot I_{10}$ como demonstrado na figura 6.18 para determinar a corrente de carga, chegamos ao valor de **188 A**.

O sistema para o lado DC está a uma tensão de 48 V; multiplicando o valor da corrente de carga por 48 V, chegamos a uma potência necessária para carregar as baterias num período de 3 horas de **9021,6 W**.

Como os painéis fotovoltaicos sofrem com o efeito da temperatura, será considerado um valor de 30% no cálculo do número de painéis necessários. Logo, aplicando a expressão (5.3), o número de painéis fotovoltaicos necessários para o sistema é de 29.

6.3.4.3. DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

O Inversor deve ser dimensionado de forma a garantir as necessidades das cargas em AC. Neste tipo de sistemas fotovoltaicos, a potência dos inversores poderá ser um pouco sobredimensionada, para que, quando exista um aumento do consumo, não seja necessário substituir o inversor.

A potência simultânea que o sistema fornece à carga é de **12 028 W**, devendo ser deixado algum espaço de reserva para futuro melhoramento.

O inversor escolhido é o XTM 2500-48 da série Xtender como uma potência nominal de **2000 kW**, conforme ficha técnica apresentada no Anexo B e contendo as especificações técnicas presentes na tabela 6.12.

Tabela 6.12: Parâmetros do inversor do sistema fotovoltaico

Potência Nominal Contínua (25°C)	2000 VA
Corrente Máxima de Carregamento	30 A
Eficiência Máxima	96%
Fator de Potência (cos φ)	0,1 - 1
Tensão Nominal da Bateria	48 V
Potência Nominal Contínua (25°C)	2000 VA
Corrente Máxima de Carregamento	30 A
Eficiência Máxima	96%
Fator de Potência (cos φ)	0,1 - 1

6.4. SÍNTESE

Ao analisar-se as soluções anteriormente apresentadas, pode-se concluir que do ponto de vista técnico as três soluções são viáveis.

A primeira solução que incorpora o sistema LED na iluminação pública é a que representa um menor número de luminárias propostas, mas a que representa consumos de energia mais elevados e por sua vez, maior custo mensal de utilização.

A segunda solução que utiliza o fotovoltaico como forma primária de produção de energia elétrica, torna-se mais dispendiosa inicialmente, devido ao alto custo de implementação, mas, como foi descrito, é expectável que se torne economicamente mais viável ao longo do tempo. A partir dos dados recolhidos pelo PVGIS, este tipo de solução consegue manter-se um sistema *off-grid* durante a maior parte do ano, o que representa custos de energia bastantes reduzidos.

A terceira e última solução implementada, que incorpora os painéis fotovoltaicos e bancos de bateria como armazenamento de energia elétrica, torna-se um sistema mais complexo de instalação, mas mais barato de implementar que a solução 2. Esta solução é completamente isolada da rede elétrica e consegue armazenar energia nas baterias o suficiente para alimentar o sistema durante um período de três noites seguidas no caso de não haver irradiação solar suficiente para carregar as baterias.

7. ANÁLISE ECONÓMICA

Os estudos económicos de racionalização energética podem resumir-se da seguinte forma: faz-se investimento no ano zero e obtém-se ganho na forma de poupanças ao longo do tempo. As poupanças energéticas vêm refletidas na fatura de energia. Por uma questão de simplicidade, é habitual exprimir-se os seus valores em resultados anuais. Com estes dados, é possível aplicar vários métodos para a avaliação económica da viabilidade dos investimentos em racionalização energética, tais como os indicadores financeiros VAL, TIR e PRI, em baixo explicados.

7.1. VALOR ATUAL LÍQUIDO (VAL)

O Valor Atual Líquido (VAL) é função da taxa de atualização, ou seja, diferentes taxas de atualização correspondem a diferentes valores do VAL. Este valor decresce à medida que a taxa de atualização aumenta. É o somatório dos cash-flows (CF_t) ocorridos em cada ano (t), que caracterizam esse investimento, depois de atualizados a uma taxa de atualização (i) convenientemente escolhida. A fórmula utilizada para o cálculo do VAL é:

$$VAL = \sum_{t=0}^n CF_t(1+i)^{-t} \quad (7.1)$$

Se o VAL for superior a zero ($VAL > 0$), o projeto permite recuperar o capital investido.

Se o VAL for igual a zero ($VAL = 0$), o projeto permite recuperar o capital investido, mas não gera excedente.

Se o VAL for inferior a zero ($VAL < 0$), o projeto não permite recuperar o capital investido e não é economicamente viável.

Quando existe um único investimento no momento inicial, aplica-se a expressão 7.2 para o cálculo do VAL.

$$VAL = \sum_{j=0}^n \frac{CF_t}{(1+i)^j} - I \quad (7.2)$$

Em que:

CF_t = Cash-flow da exploração no período t;

I = Investimento inicial;

i = Taxa de atualização de capital;

n = tempo de vida útil do projeto.

Para o cálculo do VAL dos diversos investimentos, será utilizada uma taxa de atualização de capital de 8%. Este valor representa a valorização de empresas, negócios e projetos de investimentos, sendo a taxa aplicada para atualização de rendimentos ou cash-flows.

7.2. TAXA INTERNA DE RENTABILIDADE (TIR)

A Taxa interna de rentabilidade (TIR) é a taxa de atualização para qual o VAL do investimento é nulo. As taxas são iguais aos valores atualizados dos custos (de investimento e exploração) e dos benefícios.

O valor da TIR é determinado a partir da fórmula de cálculo do Valor Atual Líquido. Se igualarmos o VAL a zero e resolvermos a equação em função da taxa de desconto, encontramos o valor da TIR. Esta expressão determina a taxa de rentabilidade mínima para tornar um projeto viável.

O seu valor representa um retorno igual a zero, um ponto de equilíbrio entre lucros e prejuízos.

A diferença é que o VAL utiliza uma taxa escolhida pelo analista do investimento e a TIR é a própria taxa a ser calculada para um VAL igual a zero.

Para se obter o valor da TIR, recorre-se à seguinte expressão em ordem a i ,

$$TIR = 0 = \sum_{k=0}^n \frac{FF_k}{(1 + TIR)^k} - Investimento\ inicial \quad (7.3)$$

Em que:

CF_k = Cash-flow da exploração no período k ;

i = Período de cada investimento;

n = Período final do investimento.

7.3. PRAZO DE RECUPERAÇÃO DE INVESTIMENTO (PRI)

O prazo de recuperação de investimento, ou *Payback Period*, representa o tempo que demora a recuperar os montantes investidos através de cash-flows gerados por esse investimento. Por outras palavras, representa o tempo necessário para que o VAL atinja valores positivos.

A expressão que calcula o tempo necessário de recuperação do investimento é a seguinte,

$$PRI = \sum_{i=0}^n \frac{CF_i}{(1 + t)^i} = 0 \quad (7.4)$$

Em que:

CF_i = Somatório dos cash-flows no ano t ;

t = Taxa de desconto;

n = Prazo de recuperação do investimento.

7.4. ESTUDO ECONÓMICO

Após o estudo luminotécnico apresentado anteriormente, é apresentada nesta secção o estudo comparativo de viabilidade técnica e económica das três soluções propostas.

Os principais fatores a considerar no projeto são o investimento necessário para a concretização do projeto e os custos de operação e manutenção do sistema ao longo da sua vida útil.

O tempo de vida útil estimado para este investimento é de 14 anos, e este sistema opera em média 11 horas diárias.

Para o cálculo do aumento do custo da energia elétrica praticada em Portugal, foi considerado um aumento anual de 2% face ao praticado no ano de 2022 e considerado na Tabela 6.3.

Em relação aos custos de manutenção com a iluminação pública proposta, este difere do tipo de ambiente em que o sistema se encontra.

A duração da vida útil da tecnologia LED deve ser dada pelo fabricante. O fabricante deverá relevar informações claras, credíveis e objetivas sobre a construção, tipo de LED, fotometria, depreciação, performance e um plano de manutenção para a instalação [33].

Se caso plano de manutenção não esteja descrito pelo fabricante na Ficha Técnica do produto, cabe ao projetista do sistema estipular um ciclo de manutenção a utilizar [34].

7.4.1. ESTUDO ECONÓMICO – SOLUÇÃO 1

Na tabela 7.1, são apresentados os resultados esperados com a implementação da solução LED. Para este cálculo, foi utilizado um valor de taxa de atualização de 8%.

Tabela 7.1: Estudo económico para a solução LED (Solução 1)

Avaliação Económica - Solução 1							
Ano		Custo Investimento	Receita Bruta	Despesa	Receita Líquida	Fluxo Monetário (Cash Flow)	Fluxo mon. Atualizado
2022	0	-8 843,00 €				- 8 843,00 €	- 8 843,00 €
2023	1	-	-	- 876,16 €	- 876,16 €	- 876,16 €	- 811,26 €
2024	2	-	-	- 893,68 €	- 893,68 €	- 893,68 €	- 766,19 €
2025	3	-	-	- 911,56 €	- 911,56 €	- 911,56 €	- 723,62 €
2026	4	-	-	- 929,79 €	- 929,79 €	- 929,79 €	- 683,42 €
2027	5	-	-	- 1 598,38 €	- 1 598,38 €	- 1 598,38 €	- 1 087,83 €
2028	6	-	-	- 967,35 €	- 967,35 €	- 967,35 €	- 609,60 €
2029	7	-	-	- 986,70 €	- 986,70 €	- 986,70 €	- 575,73 €
2030	8	-	-	- 1 006,43 €	- 1 006,43 €	- 1 006,43 €	- 543,75 €
2031	9	-	-	- 1 026,56 €	- 1 026,56 €	- 1 026,56 €	- 513,54 €
2032	10	-	-	- 1 697,09 €	- 1 697,09 €	- 1 697,09 €	- 786,08 €
2033	11	-	-	- 1 068,04 €	- 1 068,04 €	- 1 068,04 €	- 458,06 €
2034	12	-	-	- 1 089,40 €	- 1 089,40 €	- 1 089,40 €	- 432,62 €
2035	13	-	-	- 1 111,19 €	- 1 111,19 €	- 1 111,19 €	- 408,58 €
2036	14	-	-	- 1 133,41 €	- 1 133,41 €	- 1 133,41 €	- 385,88 €
VAL		-17 629,16 €					

Conforme demonstrado na tabela anterior, esta solução não se torna rentável ao fim do período estabelecido de estudo da viabilidade económica. A receita será sempre negativa, iniciando-se com um investimento inicial de 8843 € (conforme Anexo D) e que com o passar dos anos só tem tendência a aumentar, chegando aos 14 anos com um Valor Atualizado Líquido (VAL) de -17 629,16 €.

Com o passar dos anos e tendo em conta o aumento esperado do preço da eletricidade, foi considerado um aumento de cerca de 0,2% ao ano do preço atual de eletricidade.

No quinto e décimo ano, foi ainda considerado um custo associado à manutenção prevista da iluminação proposta. Esta manutenção consiste numa série de ações, tais como uma avaliação/análise da instalação IP, a limpeza de luminárias caso seja necessário, a uma programação de substituição de componentes apontados pelos fabricantes, reajuste de apertos mecânicos, tratamento de superfícies sujeitas a degradação, medições dos parâmetros elétricos e luminotécnicos e avaliação da estabilidade dos apoios.

Este investimento não tem TIR, nem PRI.

7.4.2. ESTUDO ECONÓMICO – SOLUÇÃO 2

Na tabela 7.2, são apresentados os resultados esperados com a implementação da solução LED com recurso a painéis fotovoltaicos. Para este cálculo, foi utilizado um valor de taxa de atualização de 8%.

Tabela 7.2: Estudo económico para a solução LED com fotovoltaico (Solução 2)

Avaliação Económica - Solução 2							
Ano		Custo Investimento	Receita Bruta	Despesa	Receita Líquida	Fluxo Monetário (Cash Flow)	Fluxo mon. Atualizado
2022	0	-52 502 €				- 52 502,00 €	- 52 502,00 €
2023	1		848,25 €		848,25 €	848,25 €	785,42 €
2024	2		865,22 €		865,22 €	865,22 €	741,79 €
2025	3		882,52 €		882,52 €	882,52 €	700,57 €
2026	4		900,17 €		900,17 €	900,17 €	661,65 €
2027	5		918,17 €		918,17 €	918,17 €	624,89 €
2028	6		936,54 €	-1 550 €	- 613,46 €	- 613,46 €	- 386,58 €
2029	7		955,27 €		955,27 €	955,27 €	557,39 €
2030	8	-9 889 €	974,37 €		974,37 €	- 8 914,63 €	- 4 816,30 €
2031	9		993,86 €		993,86 €	993,86 €	497,18 €
2032	10		1 013,74 €		1 013,74 €	1 013,74 €	469,56 €
2033	11		1 034,01 €	-1 550 €	- 515,99 €	- 515,99 €	- 221,30 €
2034	12		1 054,69 €		1 054,69 €	1 054,69 €	418,83 €
2035	13		1 075,79 €		1 075,79 €	1 075,79 €	395,57 €
2036	14		1 097,30 €		1 097,30 €	1 097,30 €	373,59 €
VAL		-51 831,08 €					

Conforme demonstrado na tabela anterior, esta solução já implementa alguns ganhos ao longo do tempo, comparando com a solução anterior.

O valor de receita foi calculado a partir da diferença de consumo esperado na solução LED (Tabela 6.3) com o da solução agora proposta (Tabela 6.6).

O problema da utilização deste sistema é que o custo inicial é muito elevado e o tempo de duração das baterias é muito curto. A vida útil esperada das baterias é de aproximadamente 2000 ciclos (Anexo B), o que se traduz previsivelmente em cerca de 6 anos. Como não é esperado que a bateria descarregue a totalidade de energia armazenada diariamente, considerou-se o período de troca de baterias no sistema de 8 anos. A curta duração das baterias, associado aos custos de manutenção do sistema, tornam um sistema sem retorno de investimento.

7.4.3. ESTUDO ECONÓMICO – SOLUÇÃO 3

Na tabela 7.3, são apresentados os resultados esperados com a implementação da solução LED com recurso a painéis fotovoltaicos e banco de baterias. Para este cálculo, foi utilizado um valor de taxa de atualização de 8%.

Tabela 7.3: Estudo económico para solução LED com fotovoltaico e baterias (Solução 3)

Ano		Custo Investimento	Receita Bruta	Despesa	Receita Líquida	Fluxo Monetário (Cash Flow)	Fluxo mon. Atualizado
2022	0	- 43 237 €				- 43 237,00 €	- 43 237,00 €
2023	1		876,16 €		876,16 €	876,16 €	811,26 €
2024	2		893,68 €		893,68 €	893,68 €	766,19 €
2025	3		911,56 €		911,56 €	911,56 €	723,62 €
2026	4		929,79 €		929,79 €	929,79 €	683,42 €
2027	5		948,38 €	-3 200 €	- 2 251,62 €	- 2 251,62 €	- 1 532,41 €
2028	6		967,35 €		967,35 €	967,35 €	609,60 €
2029	7		986,70 €		986,70 €	986,70 €	575,73 €
2030	8		1 006,43 €		1 006,43 €	1 006,43 €	543,74 €
2031	9	- 14 000 €	1 026,56 €		1 026,56 €	- 12 973,44 €	- 6 489,95 €
2032	10		1 047,09 €	-3 200 €	- 2 152,91 €	- 2 152,91 €	- 997,21 €
2033	11		1 068,03 €		1 068,03 €	1 068,03 €	458,06 €
2034	12		1 089,39 €		1 089,39 €	1 089,39 €	432,61 €
2035	13		1 111,18 €		1 111,18 €	1 111,18 €	408,58 €
2036	14		1 133,41 €		1 133,41 €	1 133,41 €	385,88 €
VAL		-45 857,88 €					

A Solução 3, conforme os dados demonstrados na tabela anterior, apresenta um custo de investimento de 43237 € (Anexo D), incrementado de 14000€ no nono ano de funcionamento. Este valor deve-se à troca do banco de baterias da solução proposta.

Esta solução apresenta ganhos a nível de receita, comparando com a Solução 1 inicialmente proposta, visto ser um sistema independente da rede.

Apresenta custo de manutenção mais elevado, derivado do custo associados à manutenção das luminárias, mas também da limpeza dos painéis fotovoltaicos e conservação do bom estado das baterias.

Pode-se ainda concluir que o sistema não se tornará rentável ao fim do período estudado nem terá o seu ponto de TIR.

7.5. SÍNTESE

Através do estudo económico apresentado, pode concluir-se que os três sistemas têm os seus pontos fortes e fracos.

A primeira solução que incorpora o sistema de LED, tem um custo de investimento e manutenção menor que as outras soluções apresentadas. Esta solução irá buscar a energia necessária para alimentar as luminárias à rede pública, traduzindo-se em maiores gastos económicos comparando com as restantes soluções.

A segunda solução, requer o investimento mais elevado das três soluções. O que à primeira vista pode deixar de ser a solução mais apelativa, mas, tratando-se de um sistema híbrido, consegue gerar a maior parte da energia necessária a partir de energias renováveis e o restante da rede pública. Implica investimento passados alguns anos nas trocas das baterias o que, à medida que os anos vão passando se tornará um investimento mais barato com o avanço das tecnologias.

A terceira solução que implementa o sistema mais complexo de todos os demonstrados, consegue ter mais retorno que o da Solução 2. Trata-se de um sistema que consegue produzir toda a energia necessária para o seu bom funcionamento. Requer mais custos de manutenção, mas é o que mais gera receita bruta por não ter despesas com a energia eléctrica.

Em suma, qualquer um dos três sistemas se torna inviável ao longo do tempo. Tratando-se de um bem de consumo e de bem-estar para a população, assegurando a segurança rodoviária, é de esperar que qualquer sistema implementado de raiz não tenha qualquer retorno de investimento, comparando com sistemas implementados e que serão renovados.

8. CONCLUSÕES

A iluminação pública representa o quinto de sete sectores onde se verifica o maior consumo energético em Portugal, depois do setor da agricultura, indústria, não doméstico e doméstico, respetivamente. Os consumos na iluminação pública têm sido cada vez mais baixos devido à substituição das luminárias existentes por tecnologias LED que consomem menos energia elétrica.

Portugal tem vindo a desenvolver uma política de redução de dependência energética exterior, estabelecida no PNEC 2030. A aposta nas energias renováveis e na eficiência energética, tem permitido a Portugal baixar a sua dependência energética para valores inferiores a 80%. Em 2021, dos 4514 GWh de eletricidade consumida do país, 26% correspondiam a energia eólica, 27% a hidroelétrica, 7% a biomassa e 3,5 a fotovoltaica.

Uma instalação IP está sujeita ao cumprimento de determinadas normas, nomeadamente a EN 13201, que determina a classificação da classe de iluminação da via mediante a caracterização dos seus parâmetros.

O Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública estabelece algumas medidas que, a serem implementadas, proporcionam um aumento de eficiência energética nas instalações de iluminação pública, aliadas à obtenção de uma diminuição do valor do consumo energético bem como da fatura energética.

A telegestão, quando aplicada à iluminação pública, permite obter uma otimização da utilização de uma instalação de iluminação pública, uma vez que torna possível a monitorização em tempo real de cada uma das lâmpadas e das suas características, tornando possível, por exemplo, “prever” quando uma lâmpada vai falhar, sendo possível proceder à sua substituição mesmo antes de a falha ocorrer. A telegestão permite obter poupanças realmente significativas, dado que, por exemplo, não são necessárias rondas para se verificar o estado das lâmpadas, uma vez que é possível identificar-se automaticamente as falhas nas lâmpadas e balastos. Com esta tecnologia é também possível aplicar o efeito *dimming*, que proporciona um aumento do tempo de vida das lâmpadas e redução dos custos de manutenção. Com a telegestão é possível aliar sensores de movimento, que tornam o sistema mais eficiente, reduzindo ainda mais o consumo de energia elétrica.

O estudo realizado, implementa três soluções diferentes para o mesmo troço de via, o que permite fazer uma comparação de forma a que seja encontrada a que se torna mais eficiente.

A solução com o sistema de iluminação pública LED é que incorpora um menor número de luminárias, mas a que consome mais energia elétrica. Este sistema é alimentado diretamente da rede de iluminação pública, ao contrário dos outros dois sistemas estudados.

O segundo sistema alia uma luminária com painel solar incorporado que armazena durante o dia a energia recebida na bateria. Este sistema torna-se praticamente independente da rede, o que se traduz em consumos de energia elétrica mais reduzidos. Esta solução permite implementar sensores de movimento na própria luminária o que permite que se desligue quando não há movimento na via.

O terceiro e último sistema incorpora um sistema fotovoltaico autónomo que alimenta as cargas, isolado da rede elétrica através de um grupo central de painéis fotovoltaicos e baterias. Este sistema é capaz de armazenar potência suficiente para alimentar o sistema em três dias seguidos, caso não haja produção de energia elétrica através dos painéis fotovoltaicos. Esta solução, torna-se mais complexa de implementação, mas traz custos de implementação bastante parecidos aos da solução 2.

Se for visto em termos de custo, a primeira solução torna-se a mais simples de implementar e também a mais barata em termos de custo. Apesar de ter o mais alto consumo de energia elétrica, são precisos mais anos que os estudados apenas para atingir os custos de implementação das restantes soluções. Por conseguinte, a solução 1 será a indicada a implementar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Campisi, D.; Gitto, S.; Morea, D. Economic feasibility of energy efficiency improvements in street lighting systems in Rome. *J. Clean. Prod.* 2018, 175, 190-198.
- [2] Carli, R.; Dotoli, M.; Pellegrino, R. A multi-period approach for the optimal energy retrofit planning of street lighting systems. *Appl. Sci.* 2019, 9, 1025.
- [3] Tukymbekov, D.; Saymbetov, A.; Nurgaliyev, M.; Kuttybay, N.; Dosymbetova, G.; Svanbayev, Y. Intelligent autonomous street lighting system based on weather forecast using LSTM. *Energy* 2021, 231, 120902.
- [4] Kopytov, S.; Ulyanov, A. Development of structural diagrams of energy-efficient Led lighting systems with command transmission via a single-phase power supply line. In *Proceedings of 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)*, Vladivostok, Russia, 6-9 October 2020.
- [5] Carli, R.; Dotoli, M. A dynamic programming approach for the decentralized control of energy retrofit in large-scale street lighting systems. *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.* 2020, 17(3), 1140-1157.
- [6] - Plano Nacional Integral de Energia e Clima 2021-2030 (PNEC 2030)
https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/pt_final_necp_main_pt.pdf
- [7] – Resolução Conselhos de Ministros nº20/2013. Em <https://dre.pt/dre/detalhe/resolucao-conselho-ministros/20-2013-260463>, acessado a 10/02/2022
- [8] - Plano Nacional de Energia e Clima 2030. Disponível em: <https://dre.pt/dre/detalhe/resolucao-conselho-ministros/53-2020-137618093>. Acessado a 20/08/2022
- [9] – PORDATA, <https://www.pordata.pt>. Acessado a 20/08/2022
- [10] – Direção Geral de Energia e Geologia, “Energia em números” edição 2021, disponível em <https://www.dgeg.gov.pt/media/32skj5iv/dgeg-aen-2021e.pdf>. Acessado a 28/04/2022
- [11] – Redes Energéticas Nacionais, “Produção renovável abastece 59% do consumo de energia elétrica em 2021”, edição de Janeiro de 2022.
- [12] Energias de Portugal Distribuição (EDP Distribuição), “Manual de Iluminação Pública” (2016). Disponível em <https://www.edpdistribuicao.pt/sites/edd/files/2019-04/Manual%20Iluminacao%20Publica.pdf>. Acesso em 20/Agosto/2022.
- [13] “Wikipedia”. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Lumin%C3%A2ncia>. Acesso em 20/Agosto/2022.

- [14] “Wikipedia”. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Lux>. Acesso em 20/Agosto/2022.
- [15] Ligablog, “Candelas ou Lumens? Qual é o correto?”. Disponível em <https://blogdaliga.com.br/candelas-ou-lumens-qual-e-correto/>. Acesso em 20/Agosto/2022.
- [16] Documento de Referência, “Eficiência Energética na Iluminação Pública”. Disponível em http://www.areac.pt/images/Documentos/DREEIP_Partel.pdf. Acesso em 20/Agosto/2022.
- [17] Artigo técnico: “Eficiência energética na iluminação pública”. Disponível em: <https://parc.ipp.pt/index.php/neutroaterra/article/view/390/123>. Acesso em 20/Agosto/2022.
- [18] Diogo Pinto “Sistemas de Controlo de Iluminação Pública”, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Universidade de Coimbra, 2016
- [19] Cristiana Santos “Iluminação pública e sustentabilidade energética”, Mestrado Integrado em Eng. Eletrotécnica e de Computadores, Faculdade de Eng. Universidade do Porto, 2011;
- [20] EDP Distribuição, “Manual de iluminação pública, volume 2 - componentes de iluminação,” 2010.
- [21] EN 13201:2015 – The new standart for road lighting, OxyTech
- [22] - Gene Energy - Iluminação Pública. [Online]. Disponível em: <http://gene-energy.com/iluminacao-eficiente/iluminacao-publica/>. Acesso a 10/06/2022
- [23] Energia solar “Tipos de células fotovoltaicas: células em painéis solares”. Disponível em: <https://pt.solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/painel-fotovoltaico/celula-fotovoltaica/tipos>. Acesso a 10/06/2022
- [24] “Sistemas fotovoltaicos – fundamentos sobre dimensionamento”, Joaquim Carneiro e Mário Passos. Edição 2020
- [25] M. Carlos Tobajas Vázquez, Energia Solar Fotovoltaica, editorial técnica, segunda edição, 2005
- [26] Mestre Nilton Janicas de Oliveira, Sistemas Fotovoltaicos “Simulação de uma instalação Fotovoltaica com ligação à rede pública e numa habitação isolada”
- [27] Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, “Períodos Horários na energia elétrica em Portugal”. Disponível em: <https://www.erse.pt/media/wijn0vgt/periodos-hor%C3%A1rios-de-energia-el%C3%A9trica-em-portugal.pdf>. Acesso a 10/08/2022
- [28] Philips Lighting, “Catálogo de iluminação profissional”. Disponível em: <https://www.assets.signify.com/is/content/Signify/Assets/philips-lighting/portugal/20211021-lighting-tariff-catalog-2021-lr-pt.pdf>. Acesso a 10/08/2022

- [29] JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission. Disponível em: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
- [30] Victron energy, “Bateria Smart de 12,8 V e 25,6 V de fosfato de ferro-lítio”. Disponível em: <https://www.victronenergy.pt/upload/documents/Datasheet-12,8-&-25,6-Volt-lithium-iron-phosphate-batteries-Smart-PT.pdf> Acesso a 12/08/2022
- [31] Philips. Disponível em: https://www.lighting.philips.pt/prof/luminarias-de-exterior/luminarias-rodoviaras/clearway-gen2/910925865133_EU/product. Acesso a 13/08/2022
- [32] Correia C. Márcia Joana, “Sistemas de Bombagem de Água utilizando Energia Solar Fotovoltaica”, Dissertação de Mestrado, ISEL, 2015;
- [33] Alberto Vanzeller “O Fator de Manutenção na tecnologia LED”. Disponível em: https://auralightportugal.pt/wpcontent/uploads/2021/04/Factor_de_manutencao_na_tecnologia_LED-1.pdf. Acesso a 01/11/2022
- [34] União Europeia, “Iluminação pública e sinalização luminosa para controlo de tráfego rodoviário ou peões (semáforos)” da Estratégia Nacional para as Compras Públicas Ecológicas 2020 (ENCPE 2020).

ANEXO A – TABELAS REFERENTES À EN 13201

Tabela A1: Classificação das vias e seleção da categoria de iluminação

Tipo	Descrição	Limites de velocidade (km/h)	Categoria de iluminação
A1	Auto-estrada	130-150	ME1
	Vias equiparadas	130	ME1
A2	Serviços de conservação e manutenção em auto-estradas	70-90	ME3a
	Serviços de conservação e manutenção em vias equiparadas	50	ME3a
	Itinerário Complementar	110	ME3a
B	Serviços de manutenção e conservação em Itinerários Complementares	70-90	ME4a
	Itinerários Principais	50	ME4b
C	Serviços de manutenção e conservação em Itinerários Principais	70-90	ME3a
D	Vias rápidas	70	ME3a
	Vias rápidas	50	ME3a
E	Estradas Nacionais	50	ME3a
	Estradas distritais	50	ME3c
	Via extra-urbana	70-90	ME3c
	Via extra-urbana	50	ME3a
	Via extra-urbana	30	ME4b
F	Via urbana	50	S3
	Via urbana (baixas da cidade)	30	ME4b
	Via urbana: outras situações	30	CE4
	Via urbana: áreas pedestres	5	CE5/S3
	Via urbana: baixas da cidade (principais utilizadores: peões e outros admitidos)	5	CE5/S3
	Vias de acesso local	50	-
-	Ciclovias	Não declarado	S3
-	Vias de acesso local	30	-

Tabela A2: Comparação de categorias de iluminação

-	ME1	ME2	ME3	ME4	ME5	ME6	-	-
CE0	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	-	-	-
-	-	-	S1	S2	S3	S4	S5	S6

Tabela A3: Categorias de iluminação adicional

Categoria de iluminação de referência	CE0	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	-	-	-
Categoria de iluminação de referência	-	-	-	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Categoria de iluminação de referência	-	EV3	EV4	EV5	-	-	-	-	-

Tabela A4: Influência dos parâmetros (se relevante) a considerar para referências das categorias de iluminação mencionadas na tabela A1, para definir a categoria de iluminação no projeto.

Tipo de via	Parâmetro de influência							Peões
	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	
A1		Alta	-					
A2		Normal						
B								
C								
D	Máximo	-	Inexistente					
E								
F		Normal		Inexistente	Normal			
Ciclovia		-	-	-	-	≤ 2%	Urbana	Não permitido

Sendo:

- (A) – Volume de tráfego;
- (B) – Complexidade da percepção da via;
- (C) – Zona de conflitos;
- (D) – Lombas de abrandamento de velocidade;
- (E) – Risco de ataque;
- (F) – Declive médio;
- (G) – Tipo de iluminação aplicável.

Tabela A5: Categorias de iluminação da Classe MEW: Vias para veículos motorizados onde o cálculo de iluminância é aplicável. Tabela válida em condições atmosféricas secas.

Classe da via	Luminância da superfície da via em condições secas			Encandeamento perturbador	Iluminação envolvente
	Luminância média	Uniformidade	Uniformidade longitudinal	Aumento limiar	Relação
	L_{med} [cd/m ²]	global U_0	U_1	TI (%)	entorno SR
ME1	2	0,4	0,7	10	0,5
ME2	1,5	0,4	0,7	10	0,5
ME3	a	0,4	0,7	15	0,5
	b		0,6		
ME4	a	0,4	0,6	15	0,5
	b		0,5		
ME5	0,5	0,35	0,4	15	0,5
ME6	0,3	0,35	0,4	15	Sem requisitos

Para a iluminação pública funcional, os níveis médios calculados não deverão ultrapassar 120% nem ser inferiores a 95% dos níveis de referência da tabela anterior:

a – É permitido um aumento de 5% no valor do TI quando forem usadas fontes de iluminação com baixa luminância (lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão e fluorescentes tubulares, ou então fontes de luz com luminância idêntica ou inferior);

b – Significa que este critério apenas poderá ser aplicado em locais onde não existam zonas de tráfego com os seus próprios requisitos adjacentes às faixas de rodagem. É um valor não ótimo (com uma uniformidade longitudinal mais baixa) normalizado.

Em situações onde não seja aconselhável a medição da luminância, será utilizada a conversão de candelas para lux na relação de 1 para 15.

Tabela A6: Categorias de iluminação da Classe MEW: Vias para veículos motorizados onde o cálculo de iluminância é aplicável. Tabela válida em condições atmosféricas

Categoria	Luminância da superfície da via				Encandeamento perturbador	Iluminação envolvente
	Condições secas		Condições húmidas		Aumento limiar	Relação
	(H)	(I)	(J)	(K)	TI (%)	entorno SR
MEW1	2	0,4	0,6	0,15	10	0,5
MEW2	1,5	0,4	0,6	0,15	10	0,5
MEW3	1	0,4	0,6	0,15	15	0,5
MEW4	0,75	0,4	Sem requisitos	0,15	15	0,5
MEW5	0,5	0,35	Sem requisitos	0,15	15	0,5

Sendo:

(H) – Luminância média $L_{méd}$ [cd/m^2];

(I) – Uniformidade global U_0 ;

(J) – Uniformidade longitudinal U_1 ;

(K) - Uniformidade global U_0 .

Tabela A7: Seleção das classes de iluminação

Parâmetro	Opções	Fator de peso
Velocidade	Muito alta	1
	Alta	0,5
	Moderada ou reduzida	0
Volume de tráfego	Muito elevado	1
	Alto	0,5
	Moderado	0
	Baixo	-0,5
	Muito baixo	-1
Composição do trânsito	Elevada percentagem de não motorizados	2
	Misturado	1
	Apenas motorizado	0
Separação de faixas	Não	1
	Sim	0
Densidade de cruzamentos	Alta	1
	Moderada	0
Veículos estacionados	Presente	1
	Não presente	0
Luminância ambiente	Alta	1
	Moderada	0
	Baixa	-1
Controlo do trânsito	Fraco	0,5
	Moderado ou Bom	0

Para a determinação da classe ME, e de acordo com a CIE115, deve proceder-se do seguinte modo:

- Atribuir, apropriadamente, um fator de peso a cada trâmite especificado (já atribuído na tabela para efeitos de normalização);
- Somar todos esses fatores selecionados, obtendo um valor “Total”;
- Introduzir esse valor na equação: Índice (ME) = 6 – Total, obtendo-se o índice da classe ME.

Note-se que poderá ser necessário arredondar o valor de “Total” para o número inteiro mais baixo, ou mesmo limitar o intervalo de valores possíveis entre [0;6].

Para determinação das opções para a velocidade deverá ser utilizado, como referência, o seguinte:

- Moderada ou reduzida: de 0 km/h a 70 km/h;
- Alta: de 70 km/h a 100 km/h;
- Muito alta: superior a 100 km/h.

Para a determinação das opções para o volume de tráfego deverão ser utilizados, como referência, os seguintes valores:

- Muito baixo: inferior a 4000 veículos por dia;
- Baixo: de 4000 a 15000 veículos por dia;
- Moderado: de 15000 a 25000 veículos por dia;
- Alto: de 25000 a 40000 veículos por dia;
- Muito alto: superior a 40000 veículos por dia.

Para determinação das opções para a Luminância Ambiente, deverá ser utilizado, como referência, o seguinte:

- Baixa: Zonas rurais, nomeadamente zonas onde a iluminação pública seja a única fonte de iluminação;
- Moderada: Zonas com contribuição de iluminação de sinaléticas, *spots* publicitários e contribuição residencial;
- Alta: Centros urbanos com grande quantidade de iluminação decorativa, montras e outros sistemas de iluminação de exteriores, como por exemplo, estacionamento.

Nas zonas de conflito, que ocorrem quando vias de circulação se intersectam ou desembocam em áreas frequentadas por pedestres, ciclistas ou outros utilizadores, deverá ser utilizada a classe CE.

São exemplo de zonas de conflito:

- Cruzamentos;
- Rotundas;
- Estradas de ligação com largura e número de faixas reduzidos;
- Zonas de centros comerciais, etc.

A existência destas áreas resulta, portanto, num aumento da probabilidade de colisão entre os diversos utilizadores da estrada. Assim, a iluminação destas zonas deverá revelar em especial a:

- Posição dos passeios e lancis;
- Marcas e sinalizações da estrada;
- Movimentação dos veículos na vizinhança da área;
- Presença dos pedestres, outros utilizadores (por exemplo, ciclistas) e de eventuais obstáculos.

De acordo com a CIE 115, estas zonas deverão ter um índice um nível superior às estradas adjacentes, devendo ser utilizada a tabela A.8.

Tabela A8: Relação entre as classes da estrada adjacente e a área de conflito

Classe da estrada adjacente	Classe da área de conflito
ME1	ME1
ME2	ME1
ME3a	ME2
ME4a	ME3a
ME5	ME4a
ME6	ME5

Tabela A9: Categorias de iluminação CE: vias para veículos motorizados onde o cálculo de luminância não é aplicável

Categoria	Iluminação horizontal	
	$E_{méd}$ mínimo mantido (lux)	$E_{mín}$ mantido (lux)
CE0	50	0,4
CE1	30	0,4
CE2	20	0,4
CE3	15	0,4
CE4	10	0,4
CE5	7,5	0,4

Esta tabela é aplicável a zonas de conflito, cruzamentos, ruas comerciais, ciclovias e vias para peões quando as categorias A e S não foram adequadas.

Tabela A10: Categorias de iluminação S: ciclovias e vias

Categoria	Iluminação horizontal	
	$E_{méd}$ min mantido (lux)	$E_{mín}$ mantido (lux)
	(para obter $E_{méd} < 1,5 E_{mín}$)	
S1	15	5
S2	10	3
S3	7,5	1,5
S4	5	1
S5	3	0,6
S6	2	0,6
S7	Desempenho não especificado	Desempenho não especificado

Tabela aplicável a passeios, ciclovias, vias para peões, estacionamentos, etc.

Tabela A11: Categorias de iluminação A: ciclovias e vias para peões

Categoria	Iluminação hemisférica	
	E_{hs} min mantido (lux)	$E_{mín}$ mantido (lux)
A1	5	0,15
A2	3	0,15
A3	2	0,15
A4	1,5	0,15
A5	1	0,15
A6	Desempenho não especificado	Desempenho não especificado

Tabela aplicável a passeios, ciclovias, vias para peões, áreas de estacionamento, etc.

Tabela A12: Categorias de iluminação ES: iluminação hemisférica

Categoria	E_{sc} min mantido (lux)
ES1	10
ES2	7,5
ES3	5
ES4	3
ES5	2
ES6	1,5
ES7	1
ES8	0,75
ES9	0,5

Esta categoria terá de ser devidamente auxiliada pelas tabelas referentes às categorias A e S quando o projetista pretender reduzir a criminalidade e insegurança.

Tabela A13: Categorias de iluminação EV: identificação de superfícies verticais

Categoria	E_v min mantido (lux)
EV1	50
EV2	30
EV3	10
EV4	7,5
EV5	5
EV6	0,5

Esta categoria é usada nas situações em que é necessário investigar/analisar superfícies verticais, como por exemplo, cruzamentos ou zonas de conflito entre utilizadores diferentes.

Tabela A14: Variação da categoria de iluminação relacionada com a influência dos parâmetros

Parâmetros de influência	Variação da categoria de iluminação	Não aplicável a
Condições normais		
Condições sem ocorrência de conflitos	-1	A1
Volume de tráfego < 50% em relação ao máximo		
Volume de tráfego < 25% em relação ao máximo	-2	
Sinais <u>activos</u> em zonas de conflito	-1	
IRC ≥ 60%	-1 (opcional)	
IRC < 30		
Perigo de ataque (assalto)		-
Zonas de cruzamentos	+1	
Proximidade de atravessamento de peões		
Aproximação de lombas reductoras de velocidade		

ANEXO B – TERMOS E REFERÊNCIAS DOS EQUIPAMENTOS

Luminária LED 50W da Siteco – Solução 1

Order No.: 5XD1A4B491A | **GTIN (EAN):** 4058352247297

Detailed technical description: SL40mc,ST0.8a,2000lm740,Plus,sr



Key data

- Product type: mast luminaire
- Product name: Streetlight 40 micro
- Order No.: 5XD1A4B491A

Lighting technology | Lamps | Control gear

Component 1

Lighting technology:

- Light control: lens of PMMA
- Cover: cover, transparent
- Light distribution: ST0.8a
- Beam angle: wide distribution
- Symmetry: asymmetric distribution
- Light emission: direct distribution

Lamps:

- Lamps: with High Power LED, LED
- Rated luminous flux: 2000lm
- Luminous efficacy: 118lm/W
- Colour temperature: 4000K
- Colour rendering index: CRI > 70
- Light colour: 740
- SDCM (Standard Deviation of Colour Matching): MacAdam \leq 5 SDCM (initial)
- Rated input power: 17W

Operating device:

- Control gear: ECG Plus
- Control: Plus
- Equipment: time-dependent luminous flux control

Certificates, Standards

- Protection rating: IP66
- Insulation class: insulation class II (safety insulation)
- Impact resistance: IK08
- Temperature range (operation): -30...+50°C
- Supplement: standard-compliant lighting for roads and squares
- Certification, designation: CE

Material, Colour

- luminaire housing: diecast aluminium, powder-coated, metallic grey (RAL 9006), inclination adjustable at 0°, 5°, 10°, 15° (post-top) | 0°, -5°, -10°, -15°, -20° (side-entry), inclusive mast flange
- Colour specification: metallic grey (RAL 9006)
- Cover: cover of toughened safety glass

Mounting

- Mounting method, mounting location: side-entry, post-top, on mast

Electrical connection

- Nominal voltage: 220..240V, 50/60Hz, AC
- Surge voltage resistance: 10kV 1.2/50 μ s

Dimensions, Weight

- Length: 442mm
- Width: 300mm
- Height: 108mm
- Weight: 5.9kg
- Mast spigot: spigot size: d x l = 60 x 100mm (side-entry and post-top); for masts with spigot size \varnothing 76mm: mast adapter 76/60mm contained in delivery; for masts/brackets with spigot size \varnothing 42mm: please order reducing sleeve 60/42mm separately (accessory: EAN 4050737723211)

Light emission

- Light emission: 0% at 0° inclination

Service life

- Rated service life: 100000h (L95/B10) at AT = 25°C

Luminária SunStay BRP710 LED 60 – Solução 2



SunStay

BRP710 LED60 NW MR HY FDIM20 SOLAR

Integrated solar street light with Lithium Ferro Phosphate battery, solar panel and charger built into the luminaire. Pressure die cast aluminium for sturdiness and long life. Specially designed pole mounting bracket allows different tilt angles, lateral and pole top mounting.

Product data

General information		Controls and dimming	
Driver included	Yes	Dimmable	Yes
Optical cover/lens type	UV stabilized Polycarbonate cover	Configurability	Factory Configurable
Cable	Cable 0.8m, 2-core, 15mm ²	Mechanical and housing	
CE mark	CE mark	Overall length	757 mm
Warranty period	3 years	Overall width	511 mm
Material	Pressure die cast aluminium	Overall height	188 mm
EU RoHS compliant	Yes	Color	RAL 7011
Operating and electrical		Approval and application	
Input Voltage	240 V	Ingress protection code	IP65 [Dust penetration-protected, jet-proof]
Input Frequency	50 Hz	Mech. impact protection code	IK08 [5 J vandal-protected]
Battery type	Lithium Ferro Phosphate	Surge Protection (Common/Differential)	Surge protection level until 4 kV
Battery ampere hour	30 Ah	Initial performance (IEC compliant)	
Battery voltage	12.8 V	Initial luminous flux (system flux)	5000 lm
Battery charging & discharging cycles	2000	Initial LED luminaire efficacy	175 lm/W
Panel type	Mono crystalline	Init. Corr. Color Temperature	4000 K
Panel voltage	17 Vmp, 21 Voc V	Init. Color Rendering Index	>70
Panel peak wattage	60 W		
Charge controller type	MPPT		
Charge controller wattage	35 W		
Cable connection kit	Included		



ClearWay gen2

BGP307 LED69-4S/740 I DM50 DDF27 D18 48/

ClearWay gen2 - LED module 6900 lm - 740 branco neutro - Classe de segurança I - Distribuição média 50 - Universal para diâmetro de 48-60 mm ajustável

A gama ClearWay Gen2 permite-lhe desfrutar das vantagens da tecnologia LED para a iluminação urbana logo desde o início. Esta segunda geração de luminárias baseia-se nos pontos fortes da sua antecessora e foi concebida para minimizar ainda mais o seu custo total de propriedade. A ClearWay Gen2 melhora significativamente os aspetos mais importantes da experiência de iluminação viária, quando em comparação com a iluminação urbana convencional. Ideal para novas ruas e para renovar as instalações já existentes, esta gama económica de soluções de iluminação urbana ClearWay combina um design depurado, uma luz de alta qualidade e poupanças significativas de energia e manutenção. Resumindo, ClearWay Gen2 é sinónimo de luz de boa qualidade com todas as vantagens adicionais do LED: poupanças de energia e longa vida útil. Mais vantagens integradas num design mais estreito e leve, o que torna a sua instalação mais fácil.

Dados do produto

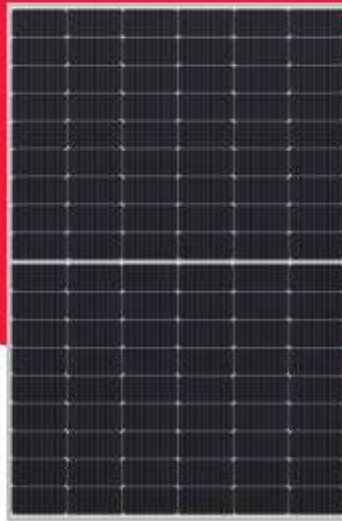
Informações gerais	
Código da família das lâmpadas	LED69 LED module 6900 lm
Cor da fonte de luz	740 branco neutro
Fonte de luz substituível	true
Número de unidades de equipamento	1
Controlador/fonte de alimentação/ transformador	PSDD Unidade de fonte de alimentação com DynaDimmer
Controlador incluído	true
Tipo de ótica	Não [-]
Tipo de acessório de lente/difusor ótico	FG vidro liso
Difusão de feixe da luz da luminária	154° - 31° x 54°
Interface de controlo	Não
Ligação	Conector de encaixe, 5 polos
Cabo	Não
Classe de proteção IEC	Classe de segurança I
Marca de inflamabilidade	NO Não
Marca CE	CE
Marca ENEC	ENEC
Período de garantia	5 anos
Tipo de ótica exterior	Distribuição média 50

Serie NU-JC


NU-JC410

410 W



Máximo rendimento



Principais características


 Tolerância de potência positiva garantida (0/+5%)

MBB Tecnologia de multi busbars
Fiabilidade melhorada
Maior eficiência
Menor resistência em série


 Certificações
VDE, IEC, EN61215, IEC, EN61730
 Classe de segurança II, CE
Resistência ao fogo: classe C*

 Módulo de alta eficiência 21,0 %
Módulos fotovoltaicos PERC de silício monocristalino

 Half-cut cell
Rendimento melhorado em condições de sombra
Menores perdas internas
Menor risco de hot spots ou pontos quentes


 Desenho robusto
Aprovado em teste de resistência PID
Aprovado para ambientes salinos (IEC61701)
Aprovado em teste para amolço (IEC62716)
Aprovado em teste de areia e pó (IEC60968)

O seu parceiro solar para a vida


 60 anos de experiência solar


 25 YEARS Garantia de potência linear

 15* YEARS Garantia de produto

 Equipa de assistência local na Europa

 50 MD 50 milhões de módulos fotovoltaicos instalados

 Tier 1 - BloombergNEF

 Energy Solutions

SHARP
Be Original.

*Aplicável aos módulos instalados na UE e nos países adicionais identificados.
Comprove as condições de garantia antes de comprar.

Dados elétricos (STC)

		NU-JC410	
Potência máxima	P_{max}	410	W_p
Tensão de circuito aberto	V_{oc}	37,79	V
Corrente de curto-circuito	I_{sc}	13,81	A
Tensão no ponto de máxima potência	V_{mpp}	31,3	V
Corrente no ponto de máxima potência	I_{mpp}	13,1	A
Eficiência do módulo	η_m	21,0	%

STC = Condições de teste padrão: Irradiância 1.000 W/m², AH 1,5, temperatura das células 25 °C.
As características elétricas nominais podem diferir ±2% dos valores indicados de I_{sc} , V_{oc} e de 0 a ±5% de P_{max} .
A redução de eficiência para uma variação de irradiância de 1.000 W/m² a 200 W/m² (T_{módulo} = 25 °C) é inferior a 3%.

Dados elétricos (NMOT)

		NU-JC410	
Potência máxima	P_{max}	307,58	W_p
Tensão de circuito aberto	V_{oc}	35,81	V
Corrente de curto-circuito	I_{sc}	11,2	A
Tensão no ponto de máxima potência	V_{mpp}	29,18	V
Corrente no ponto de máxima potência	I_{mpp}	10,54	A

NMOT = Temperatura de funcionamento do módulo: 42,5°C, irradiância de 800 W/m², temperatura ambiente de 20 °C, velocidade do vento de 1 m/s.

Dados mecânicos

Comprimento	1.722 mm
Largura	1.134 mm
Profundidade	35 mm
Peso	21,9 kg

Coefficientes de temperatura

P_{max}	-0,341 %/°C
V_{oc}	-0,262 %/°C
I_{sc}	0,054 %/°C

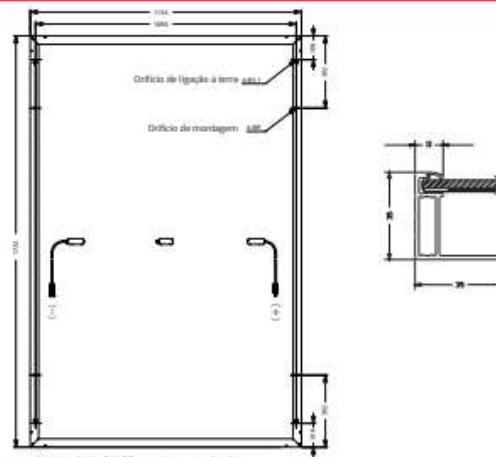
Valores limite

Máxima tensão do sistema	1.500V DC
Proteção de sobrecorrente	25A
Intervalo de temperaturas	De -40 a 85 °C
Carga mecânica máxima (neve/vento)	2.400 Pa
Carga de neve testada (teste IEC61215*)	5.400 Pa

Dados da embalagem

Módulos por palete	31 unidades
Tamanho de palete (Comp x Larg x Alt)	1,78 m x 1,15 m x 1,25 m
Peso da paleta	Aprox. 715 kg

Dimensões (mm)



*Consulte o manual de instalação SHARP para obter mais detalhes.

Dados gerais

Células	Half-cut cell, 182 mm x 91 mm, 4BB, 108 half cells em série
Vidro frontal	Vidro temperado com baixa concentração de ferro, anti-refletor e altamente transmissivo de 3,2 mm
Moldura	Liga de alumínio anodizado, cinza
Lâmina posterior	Branco
Cabo	Ø 4,0 mm ² , comprimento 1.250 mm
Caixa de conexões	IP68, 3 diodos de bypass
Conectores	MC4 (Multi Contact, Stäubli), IP68

Nota: Os dados elétricos são sujeitos a alterações sem aviso prévio. Antes de utilizar os produtos da SHARP, consulte o manual de instruções apropriado para obter mais informações sobre os produtos SHARP. Sempre consulte o manual de instruções para obter informações sobre a instalação e o funcionamento. O desempenho e a vida útil dos produtos SHARP podem variar dependendo das condições de instalação e do ambiente de funcionamento. Consulte o manual de instruções para obter mais informações.

NUJ2410PT122

SHARP Electronics GmbH
Energy Solutions
Nagelsweg 33 - 35
20097 Hamburg, Alemanha
T: +49 40 2376 2436
E: SolarInfo.Europe@sharp.eu

Distribuidor oficial:

rolearmais

Apoio Cliente
T: 808 202 816 • E-mail: apoio.cliente@rolearmais.pt • www.rolearmais.pt

SHARP
Be Original.

Ficha Técnica Inversor

Xtender series



Model	XTS 900-12	XTS 1200-24	XTS 1400-48	XTM 1500-12	XTM 2000-12	XTM 2400-24	XTM 2600-48	XTM 3500-24	XTM 4000-48	XTH 3000-12	XTH 5000-24	XTH 6000-48	XTH 8000-48	
Inverter														
Nominal battery voltage	12Vdc	24Vdc	48Vdc	12Vdc		24Vdc	48Vdc	24Vdc	48Vdc	12Vdc	24Vdc	48Vdc		
Input voltage range	9.5 - 17Vdc	19 - 34Vdc	38 - 68Vdc	9.5 - 17Vdc		19 - 34Vdc	38 - 68Vdc	19 - 34Vdc	38 - 68Vdc	9.5 - 17Vdc	19 - 34Vdc	38 - 68Vdc		
Continuous power @ 25 °C	650**/500VA	800**/650VA	900**/750VA	1500VA	2000VA	2000VA	2000VA	3000VA	3500VA	2500VA	4500VA	5000VA	7000VA	
Power 30 min. @ 25 °C	900**/700VA	1200**/1000VA	1400**/1200VA	1500VA	2000VA	2400VA	2600VA	3500VA	4000VA	3000VA	5000VA	6000VA	8000VA	
Power 5 sec. @ 25 °C	2.3kVA	2.9kVA	2.8kVA	3.4kVA	4.8kVA	6kVA	6.5kVA	9kVA	10.5kVA	7.5kVA	12kVA	15kVA	21kVA	
Maximum load	Up to short-circuit													
Maximum asymmetric load	Up to Ppoint													
Load detection (stand-by)	2 to 25 W													
Cos φ	0.1-1													
Maximum efficiency	93%	93%	93%	93%	94%	94%	96%	94%	96%	93%	94%	94%	96%	
Consumption OFF/Stand-by/ON	1.1W/1.4W/7W	1.2W/1.5W/8W	1.3W/1.6W/8W	1.2W/1.4W/8W	1.2W/1.4W/10W	1.4W/1.6W/9W	1.8W/2W/10W	1.4W/1.6W/12W	1.8W/2.1W/14W	1.2W/1.4W/14W	1.4W/1.6W/18W	1.8W/2.2W/22W	1.8W/2.4W/30W	
Output voltage	Pure sine wave 230Vac (±2%) / 120Vac ⁽¹⁾													
Output frequency	45Hz - 60Hz ⁽¹⁾ ± 0.05% (crystal controlled)													
Harmonic distortion	<2%													
Overload and short-circuit protection	Automatic disconnection with 3 time restart attempt													
Overheat protection	Warning before shut-off - with automatic restart													
Battery charger														
Charge Characteristic	6 steps: Bulk-Absorption-Float-Equalization-reduced floating-periodic absorption													
Maximum charging current	35A	25A	12A	70A	100A	55A	30A	90A	50A	100A	140A	100A	120A	
Temperature compensation	With BTS-01 or BSP 500/1200													
Power Factor Correction (PFC)	EN 61000-3-2													
General data														
Input voltage range	150 to 260Vac / 50 to 140Vac (1)													
Input frequency	45 to 65Hz													
Input current max. (transfer relay) / Output current max.	16Aac/20Aac							50Aac/56Aac				50Aac/60Aac		
Transfer time	<15ms													
Multifunction contacts	Module ARM-02 with 2 contacts, in option			2 independent contacts (potential free 3 points, 16Aac/5Aac)										
Weight	8.2 kg	9 kg	9.3 kg	15 kg	18.5 kg	16.2 kg	21.2 kg	22.9 kg	34 kg	40 kg	42 kg	46 kg	46 kg	
Dimension h/w/d (mm)	110x210x310							133x322x468				230x300x500		
Protection index	IP54													
Conformity	Directive EMC 2004/108/EC: EN 61000-6-1, EN 61000-6-3, EN 55014, EN 55022, EN 61000-3-2, 62040-2 Low voltage directive 2006/95/EC: EN 62040-1-1, EN 50091-2, EN 60950-1													
Operating temperature range	-20 to 55 °C													
Relative humidity in operation	100%													
Ventilation	Optional cooling module ECF-01			95% without condensation Forced from 55 °C										
Acoustic level	<40dB / <45dB (without/with ventilation)													
Warranty	5 years													
Accessories														
Remote control RCC-02 or RCC-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Module XCOM-232	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Internet based communication sets Xcom-LAN, Xcom-OSM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Remote Control Module RCM-10 (3 m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2 axx. contacts module ARM-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cooling Module ECF-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Battery temp. sensor BTS-01 (3 m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Communication cable for 3ph and // CAB-RM45-6-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Mounting frame X-Connect	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

* Adjustable with the RCC-02/03


** These features are valid only when using the cooling module ECF-01.

⁽¹⁾ With -01 at the end of the reference, means 120V/60Hz. Available for all Xtenders except XTH 8000-48

Data may change without any notice.

v 1.2.0

Ficha Técnica Regulador de Carga

 variotrack vt 88			
Características eléctricas da entrada PV, conforme tensão nominal do banco de baterias	12 V	24 V	48 V
Potência solar máxima recomendada (BGTIC)	1250 W	2500 W	5000 W
Voltagem máxima em circuito aberto	75 V	150 V	
Voltagem máxima de funcionamento	75 V	145 V	
Voltagem mínima de funcionamento	Acima da voltagem da bateria		
Características eléctricas saída/bateria			
Corrente de saída máxima	80 A		
Voltagem nominal da bateria	Automático / manual definido para 12, 24 ou 48v		
Gama de voltagem operacional	7 - 68 V		
Desempenho do dispositivo			
Eficiência de seguimento (MPPT)	> 99 %		
Eficiência europeia ponderada	> 97 %		
Consumo em stand-by máximo (48v)	< 25 mA (1.2 W)		
Consumo em stand-by máximo (24v)	< 30 mA (0.8 W)		
Consumo em stand-by máximo (12v)	< 35 mA (0.5 W)		
Estágios de carga*	4 Estágios: Bulk, Absorção, Flutuação e Equalização		
Compensação de temperatura da bateria (disponível do acessório B75-01/BSP)	-3 mV / °C / célula (ref 25°C) valor pré-definido, ajustável de -8 a 0 mV / °C		
Proteções eléctricas			
Polaridade inversa PV	✓		
Polaridade inversa baterias	✓		
Sobre-voltagem de baterias	✓		
Sobre-temperatura	✓		
Corrente inversa noturna	✓		
Condições ambientais			
Gama de temperatura ambiente operacional	-20 a 55°C		
Humidade	100%		
Grau de proteção IP	IP54		
Montagem admissível	Interna		
Dados gerais			
Peso	5.5 kg		
Dimensões (a/b/c) (mm)	120 / 220 / 350		
Operação em paralelo	Até 15 dispositivos		
Seção de cabo máxima	35 mm ²		
Bucna	M 20 x 1,5		
Comunicação			
Cabo de comunicação	Studier communication BUS (incluído)		
Método de configuração	rc: 02/03, Switches DIP internos para definições básicas		
Registo de dados	Com o rc: 02/03, xcom 232 em cartão SD. A cada minuto		
Normas certificadas			
Conformidade	Directiva Low Voltage (LVD) 2014/35/EU; EN/IEC 62109-1 Directiva Electromagnetic Compliance (EMC) 2014/30/EU; EN/IEC 61000-6-2, 61000-6-4		

Efficiente, robusto e flexível

- Amanque fácil, e seguro, com todas as proteções possíveis contra ligações incorrectas.
- Robusto e durável, este regulador é projectado para funcionamento em condições ambientais exigentes (IP54)
- Elevada eficiência >99%
- Até 15 Variotrack's em paralelo no mesmo bus de comunicação (75kW)
- Carregador de 4 estágios para prolongamento da vida útil da bateria
- Baixo consumo interno: <1w no modo noturno
- Display com 7LED's, com o estado de carregamento e corrente de carga
- Apropriado para todos os sistemas solares com baterias
- Funcionamento óptimo em conjunto com o sistema xtender, para funcionamento sincronizado

Combine com uma ampla gama de acessórios

- Controlador com função de display, programação e registo de dados (**rc 02/03**)
- Acessórios para comunicação (**xcom LAN/xcom GSM**)
- Módulo de comunicação (**xcom 232/xcom CAN**)
- Sensor de temperatura da bateria (**bts 01**)
- Processador de estado da bateria (**bsp**)
- Comunicação com BMS de baterias de lítio (**xcom CAN**)
- 2 contactos auxiliares programáveis (**arm 02**)

Certificações e Garantia

Testado e fabricado a 100% na Suíça (Europa). Fábrica com certificação ISO 9001:2020/14001:2020. Todos os nossos produtos incluem garantia de 10 anos (5+5)

ETC - Condições de teste padrão
Os dados podem mudar sem aviso prévio

* Número de estágios, limites, corrente total e tempos de carga, ajustáveis com o rc: 02/03

Sonnenschein A600 SOLAR

Unmatched dryfit Gel technology for renewable energy storage

Sonnenschein A600 SOLAR is a premium range, developed specifically for applications where cycling is required. It has extraordinary energy-saving features in addition with robust reliability, proven for decades in many installations worldwide.

Your benefit:

- > **Exceptional cycling performance** – 3000+ cycles at 60 % Depth of Discharge* C₁₀
- > **dryfit Gel technology** – leak proof
- > **Lowest energy consumption** – saving costs
- > **Strong tubular plate technology** – for longer life in the toughest conditions
- > **Proof against deep discharge** – greater long-term energy delivery
- > **Horizontal mounting possible** – easy installation and maintenance
- > **Completely recyclable** – low CO₂-footprint



Specifications

- > Nominal capacity 294 – 3919 Ah C₁₀₀ (20°C)
- > Cycling performance at 20 °C (with IU charging): 2400 cycles at 60 % Depth of Discharge (C₁₀) at 20 °C
For enhanced performance and for systems ≥ 48 V we recommend IUI charging, to reach 3000+ cycles at 20 °C
- > Designed in accordance with IEC 61427 and IEC 60896-21/22
- > Long shelf life up to 2 years at 20 °C without recharge due to the very low self discharge rate
- > Also available as flame-retardant version on request (V0)
- > Manufactured in Europe in our ISO 9001 certified production plants
- > Trouble-free transport of operational blocks, no restrictions for rail, road, sea and air transportation (IATA, DGR, clause A67)
- > Approval: UL (Underwriter Laboratories)



*with IUI charging, at 20 °C

Sonnenschein A600 SOLAR

Technical Data

Technical characteristics and data

Type	Part number	Nom. voltage V	Nominal capacity C_{100} 1.85 Vpc 20 °C Ah	Discharge current I_{100} A	Length (l)		Width (b/w)		Height (h)		Weight approx. kg	Terminal	Pole pairs
					max. mm	max. mm	max. mm	max. mm	max. mm	max. mm			
A602/295 Solar	NGS6020295HSOFA	2	294	2.45	105	208	357	399	19.0	F-M8	1		
A602/370 Solar	NGS6020370HSOFA	2	367	3.05	126	208	357	399	23.0	F-M8	1		
A602/440 Solar	NGS6020440HSOFA	2	440	3.66	147	208	357	399	27.0	F-M8	1		
A602/520 Solar	NGS6020520HSOFA	2	519	4.32	126	208	473	515	30.0	F-M8	1		
A602/625 Solar	NGS6020625HSOFA	2	623	5.19	147	208	473	515	35.0	F-M8	1		
A602/750 Solar	NGS6020750HSOFA	2	727	6.05	168	208	473	515	39.0	F-M8	1		
A602/850 Solar	NGS6020850HSOFA	2	848	7.06	147	208	648	690	49.0	F-M8	1		
A602/1130 Solar	NGS6021130HSOFA	2	1131	9.42	212	193	648	690	66.0	F-M8	2		
A602/1415 Solar	NGS6021415HSOFA	2	1413	11.7	212	235	648	690	80.0	F-M8	2		
A602/1695 Solar	NGS6021695HSOFA	2	1695	14.1	212	277	648	690	95.0	F-M8	2		
A602/1960C Solar	NGS6021960HSOFB	2	1959	16.3	212	277	717	759	115	F-M8	2		
A602/2600 Solar	NGS6022600HSOFA	2	2613	21.7	216	400	775	816	160	F-M8	3		
A602/3270 Solar	NGS6023270HSOFA	2	3266	27.2	214	489	774	816	198	F-M8	4		
A602/3920 Solar	NGS6023920HSOFA	2	3919	32.6	214	578	774	816	238	F-M8	4		

Capacities $C_1 - C_{120}$ (20 °C)

Type	C_1 1.67 Vpc	C_2 1.75 Vpc	C_5 1.77 Vpc	C_{10} 1.80 Vpc	C_{100} 1.85 Vpc	C_{120} 1.85 Vpc
A602/295 Solar	123	167	193	218	286	294
A602/370 Solar	154	209	241	272	357	367
A602/440 Solar	185	251	290	326	429	440
A602/520 Solar	229	307	342	380	505	519
A602/625 Solar	275	369	410	456	606	623
A602/750 Solar	321	431	479	532	707	727
A602/850 Solar	367	513	626	681	829	848
A602/1130 Solar	489	684	834	908	1105	1131
A602/1415 Solar	612	855	1043	1135	1382	1413
A602/1695 Solar	734	1026	1252	1363	1658	1695
A602/1960C Solar	824	1209	1359	1573	1937	1959
A602/2600 Solar	1047	1548	1782	2025	2547	2613
A602/3270 Solar	1309	1935	2228	2532	3184	3266
A602/3920 Solar	1571	2322	2673	3038	3821	3919

ANEXO C – RADIAÇÃO SOLAR E PERFIS DE CONSUMO

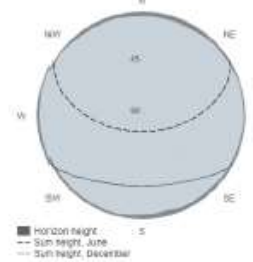
Estimativa de geração de Energia Solar Zona 1 – Solução 2



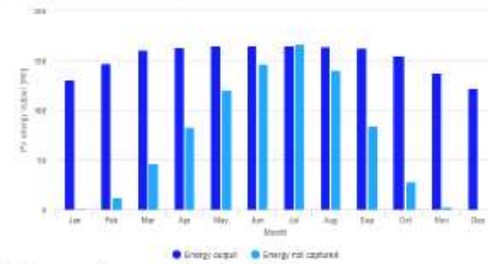
PVGIS-5 estimates of solar electricity generation

Provided inputs		Simulation outputs	
Latitude/Longitude:	37.214,-8.086	Slope angle:	15 °
Horizon:	Calculated	Azimuth angle:	40 °
Database used:	PVGIS-SARAH	Percentage days with full battery:	58.68 %
PV installed:	60 Wp	Percentage days with empty battery:	22.88 %
Battery capacity:	360 Wh	Average energy not captured:	118.53 Wh
Cutoff limit:	20 %	Average energy missing:	50.14 Wh
Consumption per day:	164.5 Wh		

Outline of horizon at chosen location:



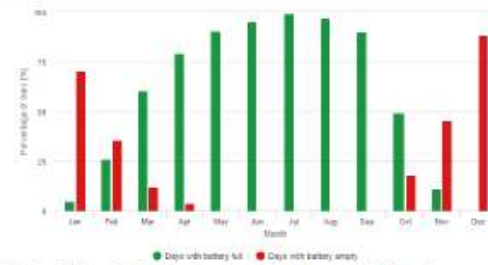
Power production estimate for off-grid PV:



Monthly average performance

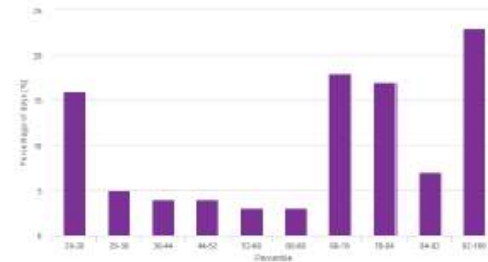
Month	E_d	E_l	f_f	f_e
January	130.6	1.6	4.8	70.4
February	146.9	12.0	26.2	35.7
March	160.4	46.2	60.5	12.1
April	163.6	82.8	79.2	3.9
May	164.5	120.5	90.3	0.0
June	164.8	146.3	95.3	0.0
July	164.4	166.2	99.2	0.0
August	164.4	140.0	96.8	0.0
September	162.9	84.5	90.0	0.0
October	154.1	27.9	49.5	18.0
November	137.0	2.9	11.1	45.6
December	122.1	0.0	0.0	88.4

Battery performance for off-grid PV system:



E_d: Average energy production per day [Wh/day]
 E_l: Average energy not captured per day [Wh/day]
 f_f: Percentage of days when battery became full [%]
 f_e: Percentage of days when battery became empty [%]

Probability of battery charge state at the end of the day:



Cs	Cb
20-28	16.0
28-36	5.0
36-44	4.0
44-52	4.0
52-60	3.0
60-68	3.0
68-76	18.0
76-84	17.0
84-92	7.0
92-100	23.0

Cs: Charge state at the end of each day [%]
 Cb: Percentage of days with this charge state [%]

The European Commission made this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. Our goal is to keep this information clear and available. If you have any questions, please contact us at ec@ec.europa.eu.
 If you wish to reproduce or translate the content of this website, you must acknowledge the source and the European Commission. The Commission accepts no responsibility with regard to the information on this site.
 For more information, please visit http://ec.europa.eu/energy/index_en



PVGIS ©European Union, 2001-2022.
 Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

Report generated on 2022/08/01

Estimativa de geração de Energia Solar Zona 2 – Solução 2

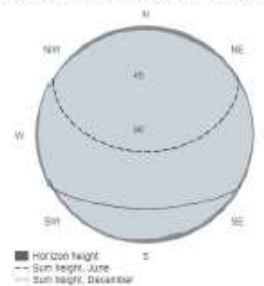


PVGIS-5 estimates of solar electricity generation

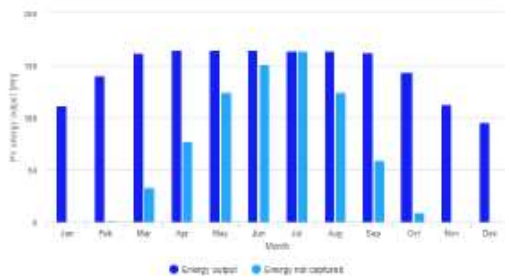
Provided inputs

Latitude/Longitude:	37.214,-8.086	Slope angle:	0 °
Horizon:	Calculated	Azimuth angle:	180 °
Database used:	PVGIS-SARAH2	Simulation outputs	
PV installed:	80 Wp	Percentage days with full battery:	53.18 %
Battery capacity:	360 Wh	Percentage days with empty battery:	33.27 %
Cutoff limit:	20 %	Average energy not captured:	117.65 Wh
Consumption per day:	164.5 Wh	Average energy missing:	55.26 Wh

Outline of horizon at chosen location:



Power production estimate for off-grid PV:

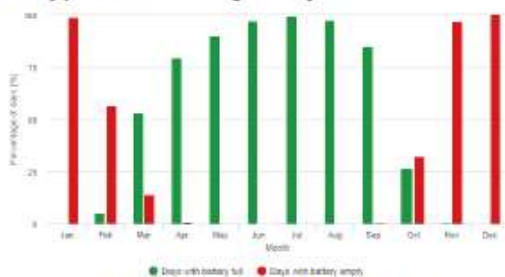


Monthly average performance

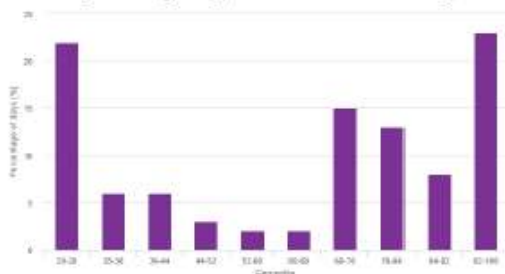
Month	E_d	E_n	f_f	f_e
January	111.4	0.1	0.2	99.0
February	140.4	1.6	5.4	56.7
March	162.1	33.1	53.2	13.9
April	164.7	77.4	79.6	1.0
May	164.6	124.6	90.1	0.2
June	164.6	151.7	97.1	0.0
July	164.4	164.2	99.6	0.0
August	164.4	124.9	97.4	0.0
September	162.9	59.2	84.8	0.8
October	144.0	8.9	26.8	32.3
November	112.9	0.0	0.6	96.9
December	96.0	0.0	0.0	100.0

E_d: Average energy production per day [Wh/day]
 E_n: Average energy not captured per day [MWh/day]
 f_f: Percentage of days when battery became full [%]
 f_e: Percentage of days when battery became empty [%]

Battery performance for off-grid PV system:



Probability of battery charge state at the end of the day:



Cs	Cb
20-28	22.0
28-36	6.0
36-44	6.0
44-52	3.0
52-60	2.0
60-68	2.0
68-76	15.0
76-84	13.0
84-92	8.0
92-100	23.0

Cs: Charge state at the end of each day [%]
 Cb: Percentage of days with this charge state [%]

The European Commission maintains the website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them. However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.
 It is not possible to ensure the accuracy of external links. However, some data or information on this site may have been created or collected by third parties that are not affiliated with the Commission and we cannot guarantee that our website will not be interrupted or otherwise affected by such incidents. The Commission accepts no responsibility with regard to such incidents incurred as a result of using this site or any linked external sites.
 For more information, please visit http://ec.europa.eu/efrag/efrag_en



PVGIS ©European Union, 2001-2022.
 Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

Report generated on 2022/08/01

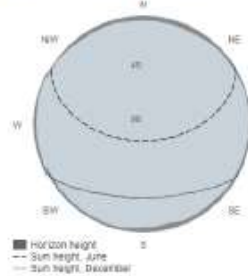
Estimativa de geração de Energia Solar Zona 3 – Solução 2



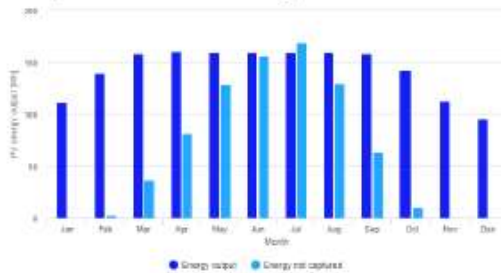
PVGIS-5 estimates of solar electricity generation

Provided inputs				
Latitude/Longitude:	37.214, -8.088	Slope angle:	0°	
Horizon:	Calculated	Azimuth angle:	-150°	
Database used:	PVGIS-SARAH2	Simulation outputs		
PV installed:	60 Wp	Percentage days with full battery:	54.27 %	
Battery capacity:	360 Wh	Percentage days with empty battery:	31.8 %	
Cutoff limit:	20 %	Average energy not captured:	120.36 Wh	
Consumption per day:	160 Wh	Average energy missing:	52.35 Wh	

Outline of horizon at chosen location:



Power production estimate for off-grid PV:



Monthly average performance

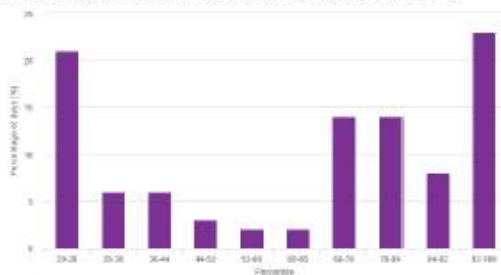
Month	E _d	E _n	f _f	f _e
January	111.4	0.1	0.2	98.0
February	139.5	2.5	8.5	48.4
March	158.5	36.8	56.6	11.7
April	160.3	81.9	81.9	0.8
May	160.2	129.1	91.5	0.2
June	160.1	156.2	97.3	0.0
July	159.9	168.7	99.6	0.0
August	159.9	129.4	97.4	0.0
September	158.6	83.5	85.8	0.8
October	142.4	10.5	28.2	27.8
November	112.9	0.1	1.0	94.8
December	98.0	0.0	0.0	100.0

E_d: Average energy production per day [Wh/day]
 E_n: Average energy not captured per day [Wh/day]
 f_f: Percentage of days when battery became full [%]
 f_e: Percentage of days when battery became empty [%]

Battery performance for off-grid PV system:



Probability of battery charge state at the end of the day:



Cs	Cb
20-28	21.0
28-36	6.0
36-44	6.0
44-52	3.0
52-60	2.0
60-68	2.0
68-76	14.0
76-84	14.0
84-92	8.0
92-100	23.0

Cs: Charge state at the end of each day [%]
 Cb: Percentage of days with this charge state [%]

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about the initiatives and European Union policies in general. Our goal is to keep the information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them. However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.
 It is our goal to enhance the quality of our website. However, some data or information on this site may have been updated or modified in the past or may not be current and we cannot guarantee that our website will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using the site or any linked external sites.
 For more information, please visit https://ec.europa.eu/info/what-is-eu_en



PVGIS ©European Union, 2001-2022.
 Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

Report generated on 2022/08/01

Níveis de Radiação Solar – Solução 3



PVGIS-5 geo-temporal irradiation database

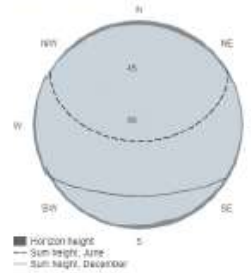
Provided inputs

Latitude/Longitude: 37.214,-8.086
 Horizon: Calculated
 Database used: PVGIS-SARAH2
 Start year: 2020
 End year: 2020

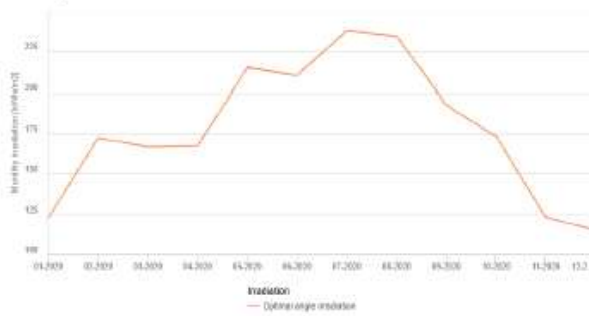
Variables included in this report:

Global horizontal irradiation: No
 Direct Normal Irradiation: No
 Global irradiation optimum angle: Yes
 Global irradiation at angle *: No
 Diffuse/global ratio: No
 Average temperature: No

Outline of horizon at chosen location:



Monthly solar irradiation estimates



Global irradiation optimum angle

Month	2020
January	122.62
February	172.14
March	166.79
April	167.4
May	214.54
June	210.05
July	237.54
August	234.16
September	150.41
October	173.16
November	122.84
December	115.2

The European Commission maintains the website to enhance public access to information about its activities and European Union policies in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. We make our best efforts to ensure our website is up to date and correct. However, the Commission accepts no responsibility in liability whatsoever with regard to the information on this site.

It is not possible to exclude liability caused by technical errors. However, some data or information on this site may have been obtained or modified in the past or in the future and we cannot guarantee that our website will not be interrupted or otherwise affected by such incidents. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems occurring as a result of using this site or any third-party website.

For more information, please visit https://ec.europa.eu/info/what-we-do_en



PVGIS ©European Union, 2001-2022.

Reproduction is authorized, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

Report generated on 2022/08/13

ANEXO D – ORÇAMENTO

Orçamento – Solução 1



ROLEAR AUTOMATIZAÇÕES, ESTUDOS E REPRESENTAÇÕES, S.A.
Sede: Parque Rolear, Sítio do Areal Gordo, Apartado 530, 8001-906 Faro
Telef.: 299 860 300 | E-mail: contacto@rolearmais.pt | www.rolearmais.pt
N.I.P.C e Matricula na C.R.C de Faro Nº: 505 683 750 Capital Social: EUR 4.991.140,00
Sociedade Anónima | SIFPEEE Nº: PT 001810 | AMPC Nº: RS-17402514



Proposta de Fornecimento

DAVID FARINHA
FARO
8000-000 FARO

Pág 1 de 1

Proposta	Contactos	Cliente
Proposta nº: 3000325320/1 Delegação: Areal Gordo Data: 09.09.2022 Validade: 09.09.2022 Prazo Entrega: A combinar Cond.Pagamento: Pagamento imediato	Elaborado por: E-mail: Tel: Gestor Cliente: E-mail: Tel:	Cliente nº: CF NIF: Consumidor Final V/Ref #: SOLUÇÃO 1 Data: 09.09.2022

Ex.mo(s) Senhor(s)

Agradecemos a vossa melhor atenção para a presente proposta, ficando desde já na expectativa das Vossas prezadas notícias.

Melhores cumprimentos.

Item	Material	Descrição	Qtd.	Preço por UM	Desc %	Liquido UM	Valor IVA
10	143823	COL CONICA HU=8M FLANGE P/BRACO	13,00	UN		250,00	3.250,00 23
20	143823	BRACO SIMPLES 1,25M 5°	13,00	UN		34,00	442,00 23
30	143823	COL CONICA HU=8M FLANGE 4MM	1,00	UN		316,00	316,00 23
40	143823	BRACO SIMPLES 1M SN-B3	1,00	UN		67,00	67,00 23
50	143823	SITECO 40 MICRO 56	16,00	UN		298,00	4.768,00 23

Liquido 8.843,00
IVA 2.033,89
Total (EUR) 10.876,89

Observações:

Os preços propostos são válidos para a totalidade da proposta.

Para pagamentos efectuados por cheque, o material só poderá ser levantado/entregue após boa cobrança.

Devido aos arredondamentos dos descontos poderão existir diferenças entre os valores totais das posições e o valor total do orçamento.



Processado por computador

Orçamento – Solução 2



Porque há coisas que não podem parar

ROLEAR AUTOMATIZAÇÕES, ESTUDOS E REPRESENTAÇÕES, S.A.
Sede: Parque Rolear, Sítio do Areal Gordo, Apartado 530, 8001-906 Faro
Telef.: 289 860 300 | E-mail: contacto@rolearmais.pt | www.rolearmais.pt
N.I.P.C e Matricula na C.R.C de Faro Nº: 909 893 750 Capital Social: EUR 4.991.140,00
Sociedade Anónima | BIRPEEE Nº: PT 001810 (AMPC Nº: RE-1745/2014)



Proposta de Fornecimento

DAVID FARINHA
FARO
8000-000 FARO

Pág 1 de 1

Proposta	Contactos	Cliente
Proposta nº: 3000325322/1 Delegação: Areal Gordo Data: 09.09.2022 Validade: 09.09.2022 Prazo Entrega: A combinar Cond.Pagamento: Pagamento imediato	Elaborado por: E-mail: Tel: Gestor Cliente: E-mail: Tel:	Cliente nº: CF NIF: Consumidor Final V/Ref #: SOLUÇÃO 2 Data: 09.09.2022

Ex.mo(s) Senhor(s)

Agradecemos a vossa melhor atenção para a presente proposta, ficando desde já na expectativa das Vossas prezadas notícias.

Melhores cumprimentos.

Item	Material	Descrição	Qtd.	Preço por UM	Desc %	Liquido UM	Valor IVA
10	143823	COL CONICA HU=6M FLANGE P/BRACO	28,00	UN		172,00	4.816,00 23
20	143823	BRACO SIMPLES 1,25M 5°	28,00	UN		34,00	952,00 23
30	143823	COL CONICA HU=6M FLANGE 4MM	1,00	UN		260,00	260,00 23
40	143823	BRACO SIMPLES 1M SN-B3	1,00	UN		67,00	67,00 23
50	143823	LUM LED SUNSTAY PHILIPS	31,00	UN		1.497,00	46.407,00 23
						Liquido	52.502,00
						IVA	12.075,46
						Total (EUR)	64.577,46

Observação:

Os preços propostos são válidos para a totalidade da proposta.

Para pagamentos efectuados por cheque, o material só poderá ser levantado/entregue após boa cobrança.

Devido aos arredondamentos dos descontos poderão existir diferenças entre os valores totais das posições e o valor total do orçamento.



Processado por computador

Orçamento – Solução 3



Porque há coisas que não podem parar

ROLEAR AUTOMATIZAÇÕES, ESTUDOS E REPRESENTAÇÕES, S.A.
 Sede: Parque Rolear, Sítio do Areal Gordo, Apartado 530, 8001-906 Faro
 Telef.: 289 860 300 | E-mail: contacto@rolearmais.pt | www.rolearmais.pt
 N.L.P.C e Matriculada na C.R.C de Faro Nº: 505 083 750 Capital Social: EUR 4.991.145,00
 Sociedade Anónima | SERPSEE Nº: PT 001810 JAMPO Nº: RS-1740/0014



Proposta de Fornecimento

Pág 1 de 1

DAVID FARINHA
 FARO
 8000-000 FARO

Proposta	Contactos	Cliente
Proposta nº: 3000325323/1 Delegação: Areal Gordo Data: 09.09.2022 Validade: 09.09.2022 Prazo Entrega: A combinar Cond.Pagamento: Pagamento imediato	Elaborado por: E-mail: Tel: Gestor Cliente: E-mail: Tel:	Cliente nº: CF NIF: Consumidor Final V/Ref #: SOLUÇÃO 3 Data: 09.09.2022

Ex.mo(s) Senhor(s)

Agradecemos a vossa melhor atenção para a presente proposta, ficando desde já na expectativa das Vossas prezadas notícias.

Melhores cumprimentos.

Item	Material	Descrição	Qtd.	Preço por UM	Desc %	Líquido UM	Valor IVA
10	143823	COL CONICA HU=8M FLANGE P/BRACO	24,00	UN		250,00	6.000,00 23
20	143823	BRACO SIMPLES 1,25M 5°	24,00	UN		34,00	816,00 23
30	143823	COL CONICA HU=8M FLANGE 4MM	1,00	UN		316,00	316,00 23
40	143823	BRACO SIMPLES 1M SN-B3	1,00	UN		67,00	67,00 23
50	143823	LUM LED CLEARWAY PHILIPS	27,00	UN		382,00	10.314,00 23
60	143823	PAINEL FV SHARP 410WP	29,00	UN		205,00	5.945,00 23
70	143823	REGULADOR CARGA VT-80	1,00	UN		843,00	843,00 23
80	143823	CONSOLA RCC-02	1,00	UN		157,00	157,00 23
90	143823	MONITORIZAÇÃO XCOM-GSM	1,00	UN		429,00	429,00 23
100	143823	BATERIA A602/190C SOLAR 1573AH	21,00	UN		714,00	14.994,00 23
110	143823	ESTRUTURA 10V6	5,00	UN		294,00	1.470,00 23
120	143823	XTM 2600-48	1,00	UN		1.886,00	1.886,00 23

Líquido 43.237,00
IVA 9.944,51
Total (EUR) 53.181,51

Observações:

Os preços propostos são válidos para a totalidade da proposta.

Para pagamentos efectuados por cheque, o material só poderá ser levantado/entregue após boa cobrança.

Devido aos arredondamentos dos descontos poderão existir diferenças entre os valores totais das posições e o valor total do orçamento.

GRUPO
rolear

Processado por computador