

**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia Química**



**Estudo da implementação de medidas de eficiência energética (Retrofit LED e sistema fotovoltaico) realizadas num edifício público de saúde e avaliação do seu impacte ambiental**

**KELLY ALVES FERREIRA**  
(Licenciada em Saúde Ambiental)

Trabalho Final de Mestrado para a obtenção do grau de Mestre em  
Engenharia da Qualidade e Ambiente

Orientador:

Doutor Manuel José de Matos

Júri:

Presidente: Doutora Isabel Maria da Silva João

Vogais:

Doutora Ana Maria G. H. Barreiros Joanaz de Melo  
Doutor Manuel José de Matos

**Julho de 2021**

## Agradecimentos

Em primeiro lugar queria agradecer a minha mãe, a força motriz de todos os meus sonhos e de todas as minhas realizações.

Um especial agradecimento ao meu orientador, Professor Doutor Manuel José de Matos pelo apoio e pela disponibilidade ao longo da realização deste Trabalho, agradeço-lhe pela sua boa disposição, compreensão e total disponibilidade.

Ao Dr. Francisco Guiomar, orientador do meu estágio curricular da licenciatura por ser a primeira pessoa na transição da minha vida académica para profissional que me ensinou a desfrutar do processo da aprendizagem com a audácia de um poeta.

Aos meus colegas de trabalho da João Jacinto Tomé, SA pelo excelente ambiente de trabalho e pela disponibilização de toda a informação possível nas respetivas áreas o que permitiu-me compreender melhor o projeto do caso de estudo como um todo.

A todos os meus colegas do curso de Mestrado em Engenharia da Qualidade e Ambiente pelos momentos de partilha, incentivo mútuo, companheirismo e pela amizade construída.

A todos os meus amigos pela tolerância com que encararam a minha falta de disponibilidade durante este período, pela motivação e por acreditarem nas minhas capacidades.

Gostaria também de agradecer de um modo geral a todas as pessoas que me ajudaram de um modo direto ou indireto na realização deste Trabalho, cada um desempenhou um papel único e imprescindível, sem o qual não seria possível esta realização.

A todos, um Muito Obrigada.

## Resumo

O futuro depende da utilização mais eficiente dos recursos ambientais nas quais se incluem a procura de novas soluções energéticas e com uma visão ainda mais abrangente de todo o ciclo de vida dos novos componentes e resíduos. Importa assim incluir nas novas soluções energéticas a avaliação do seu impacto ambiental.

A presente dissertação enquadra-se no âmbito dos impactos ambientais dos novos projetos de eficiência energética, nomeadamente o consumo de novos materiais e também os resíduos produzidos pelo abate de material a substituir.

Como caso de estudo será considerado um projeto que visou a implementação de um sistema fotovoltaico e iluminação Retrofit LED num edifício público de saúde. Será realizado o estudo energético e financeiro, assim como a avaliação da significância dos impactos ambientais ainda na fase de construção relativa à mudança efetuada. Serão considerados no plano ambiental a sustentabilidade dos novos materiais e também os custos ambientais dos resíduos produzidos.

Estes são aspetos que habitualmente não são considerados nos estudos de eficiência energética e que se pretendem avaliar com o presente trabalho. O estudo de caso real permitirá uma abordagem concreta do problema.

### **Palavras-Chave**

Impacte ambiental, Eficiência energética, Sistema fotovoltaico, Retrofit LED

## Abstract

Our future depends on the efficiency on the use of natural resources in which we must include the search for new energy solutions and an overall vision on the life cycle of electric components and their waste management. Therefore, it is important to consider environmental impact assessment on new energy solutions.

This dissertation is developed within the scope of the environmental impacts of new energy efficiency projects, specially focussing on the material consumption and waste management created by equipment disassembly.

The case study is the project development for a photovoltaic system and LED Retrofit lighting on a public health institute building. It will be carried out a energetic and financial study, was well as a environmental impact assessment during the construction fase and about the changes carried out. On the environmental plan it will be considered the sustainability of the new materials and the financial costs of waste management.

Usually, these aspects aren't considered on energy efficiency studies and will be taken in consideration at this work. The case study will allow a more objective approach of the problem.

### **Key words**

Environmental impact, Energy efficiency, Photovoltaic system, Retrofit LED

# Índice

|   |    |
|---|----|
| Capítulo 1 .....  | 1  |
| 1. Introdução .....   | 1  |
| 1.1. Enquadramento.....   | 1  |
| 1.2. Objetivos .....  | 1  |
| 1.3. Estrutura da dissertação .....   | 2  |
| Capítulo 2 .....  | 3  |
| 2. Recurso solar .....  | 3  |
| 2.1. Contextualização .....   | 3  |
| 2.2. Distribuição da radiação solar.....  | 7  |
| 2.3. Radiação direta e difusa .....   | 9  |
| 2.4. Radiação solar em planos inclinados .....                                  | 10 |
| 2.5. Energia solar – uma visão para o futuro .....                              | 12 |
| 2.6. Sistemas Solares Fotovoltaicos .....                                       | 12 |
| 2.7. Componentes do sistema fotovoltaico .....                                  | 14 |
| Capítulo 3 .....  | 19 |
| 3. Sistemas de Iluminação: LED .....  | 19 |
| 3.1. Tecnologias de iluminação comercializadas .....                            | 19 |
| 3.2. Funcionamento e composição dos LED.....                                    | 21 |
| 3.2.1. Características elétricas do LED.....                                    | 23 |
| 3.2.2. Características térmicas do LED .....                                    | 24 |
| 3.2.3. Emissão de luz de cor branca utilizando o LED .....                      | 25 |
| 3.3. Os LED no âmbito da Política de Combate às Alterações Climáticas .....     | 26 |
| Capítulo 4 .....  | 28 |
| 4. Operações que promovem o desempenho ambiental de edifícios .....             | 28 |
| 4.1. Utilização de energias renováveis.....                                     | 28 |
| 4.2. Medidas de eficiência energética.....                                      | 28 |
| Capítulo 5 .....  | 35 |
| 5. Caso de Estudo .....   | 35 |
| 5.1. Apresentação da empresa .....  | 35 |
| 5.1.1. Missão, Visão e Valores.....   | 35 |
| 5.1.2. Principais Áreas de Negócio .....  | 35 |
| 5.1.3. Apresentação do caso de estudo .....                                     | 36 |
| 5.2. Localização do local da empreitada .....                                   | 36 |
| 5.3. Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos..... | 37 |
| 5.4. Implementação dos painéis solares fotovoltaicos .....                      | 38 |

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| 5.4.1.     | Especificações técnicas dos principais equipamentos do sistema fotovoltaico .   | 39  |
| 5.4.2.     | Resultado obtidos.....  | 40  |
| 5.5.       | Implementação de solução de iluminação LED.....   | 48  |
| 5.5.1.     | Resultado obtidos.....  | 49  |
| Capítulo 6 | .....   | 50  |
| 6.         | Aspetos Ambientais e Avaliação da Significância dos Impactes em projetos de eficiência energética durante a etapa da construção ..... | 50  |
| 6.1.       | Metodologia para Avaliação da significância dos Impactes Ambientais .....   | 51  |
| 6.2.       | Definição de Ações para Minimizar os Impactes Ambientais .....  | 57  |
| 6.3.       | Âmbito geral do desenvolvimento das frentes de Obra e Gestão de Estaleiros .....  | 57  |
| 6.4.       | Identificação dos Aspectos Ambientais durante a fase de construção .....  | 62  |
| 6.4.1.     | Consumo de energia .....  | 63  |
| 6.4.2.     | Consumo de água .....   | 65  |
| 6.4.3.     | Consumo de papel.....   | 67  |
| 6.4.4.     | Produção de resíduos.....   | 70  |
| 6.4.5.     | Produção de efluentes líquidos.....   | 78  |
| 6.4.6.     | Emissão de gases para a atmosfera e material particulado.....   | 80  |
| 6.4.7.     | Emissão de ruído .....  | 85  |
| 6.4.8.     | Derrame de produtos.....  | 86  |
| 6.5.       | Identificação dos Impactes Ambientais durante a fase de construção .....  | 88  |
| 6.5.1.     | Ocupação do solo (resíduos enviados para aterro sanitário) .....  | 88  |
| 6.5.2.     | Contaminação do solo.....   | 89  |
| 6.5.3.     | Contaminação dos recursos hídricos .....  | 90  |
| 6.5.4.     | Degradação da qualidade do ar e depleção da camada de ozono .....   | 91  |
| 6.5.5.     | Impactes indiretos na valorização.....  | 92  |
| 6.5.6.     | Incomodidade acústica.....  | 92  |
| 6.5.7.     | Outros tipos de impactes ambientais .....   | 93  |
| 6.6.       | Visão geral da significância dos impactes ambientais .....  | 93  |
| Capítulo 7 | .....   | 95  |
| 7.         | Sustentabilidade dos materiais .....  | 95  |
| 7.1.       | Sustentabilidade da tecnologia LED .....  | 95  |
| 7.1.1.     | Impactes no ar.....   | 97  |
| 7.1.2.     | Impactes na água .....  | 97  |
| 7.1.3.     | Impactes no solo .....  | 98  |
| 7.1.4.     | Relativamente aos recursos naturais .....   | 98  |
| 7.1.5.     | Resumo dos impactes ambientais.....   | 98  |
| 7.1.6.     | Visão geral sobre a tecnologia LED .....  | 99  |
| 7.2.       | Sustentabilidade dos módulos fotovoltaicos .....  | 100 |

|   |     |
|---|-----|
| 7.2.1. Reciclagem de módulos fotovoltaicos..... | 103 |
| Capítulo 8 .....                                | 105 |
| 8. Conclusão e trabalhos futuros.....           | 105 |
| Bibliografia .....                              | 108 |
| Anexos.....                                     | 118 |

## Índice de Figuras

|   |     |
|---|-----|
| Figura 1 - Fontes de energia renovável [2] .....  | 3   |
| Figura 2 - Custos em cêntimos por kWh de eletricidade produzida em novas centrais [4] .....   | 4   |
| Figura 3 - Balanço da Produção de Eletricidade de Portugal Continental, junho 2021 [12].....  | 6   |
| Figura 4 - Distribuição global da irradiação solar em Wh/m <sup>2</sup> [15].....   | 8   |
| Figura 5 - Radiação global anual em Portugal [14] .....   | 8   |
| Figura 6 - Luz solar no seu percurso através da atmosfera [14] .....  | 9   |
| Figura 7 - Padrão típico da radiação direta e difusa total em Lisboa ao longo dos dias do.....  | 9   |
| Figura 8 - Irradiação solar global para diferentes orientações da superfície recetora [14] .....  | 10  |
| Figura 9 - Irradiação solar global no semestre de Verão, com diferentes orientações da superfície recetora (kWh/m <sup>2</sup> ) [14] .....                     | 11  |
| Figura 10 - Irradiação solar global total em Lisboa, no semestre de Inverno, para diferentes orientações da superfície recetora (kWh/m <sup>2</sup> ) [14]..... | 11  |
| Figura 11 - Interligação em série de células cristalinas solares [14] .....   | 14  |
| Figura 12 - Composição de uma lâmpada incandescente [31] .....  | 19  |
| Figura 13 - Composição de uma lâmpada de descarga [29] .....  | 20  |
| Figura 14 - Composição de um LED [33] .....   | 20  |
| Figura 15 - Aplicação de tensão direta, em cima. Recombinação eletrão-lacuna, em baixo [35].....  | 22  |
| Figura 16 - Cone de escape de luz emitida [35] .....  | 22  |
| Figura 17 - Curva característica de um LED [35] .....   | 23  |
| Figura 18 - Circuito equivalente de um diodo ideal [35] .....   | 23  |
| Figura 19 - Circuito equivalente de um diodo real [35] .....  | 24  |
| Figura 20 - Luz branca a partir de três cores primárias [35] .....  | 25  |
| Figura 21 - Conversão do comprimento de onda [35] .....   | 25  |
| Figura 22 - Comprimento de onda resultante da conversão com base em LED azul [36] .....   | 26  |
| Figura 23 - Logótipo da empresa .....   | 35  |
| Figura 24 - Planta da distribuição dos painéis [Projeto de execução] .....  | 39  |
| Figura 25 - Instalação fotovoltaica [Fonte própria, 2019] .....   | 41  |
| Figura 26 - Produção no ano 2019 [54].....  | 41  |
| Figura 27 - Consumo geral no ano 2019 [54].....   | 42  |
| Figura 28 - Produção no ano 2020 [54].....  | 44  |
| Figura 29 - Consumo geral no ano 2020 [54].....   | 44  |
| Figura 30 - Produção no ano 2021 [54].....  | 45  |
| Figura 31 - Consumo geral no ano 2021 [54].....   | 46  |
| Figura 32 - Consumo geral da iluminação nos três anos [54] .....  | 49  |
| Figura 33 - Pannel solar de um edifício particular [Fonte própria, 2019] .....  | 58  |
| Figura 34 - Central fotovoltaica de uma instituição pública de saúde [Fonte própria, 2021] .....  | 58  |
| Figura 35 - Central Fotovoltaica da Amareleja [Fonte própria, 2020] .....   | 59  |
| Figura 36 - REEE produzidos na obra [Fonte própria, 2019].....  | 72  |
| Figura 37 – Papel/cartão produzido na obra [Fonte própria, 2019].....   | 73  |
| Figura 38 - Encapsulamento da lâmpada para quebra [Fonte própria, 2021].....  | 76  |
| Figura 39 - Componentes da lâmpada [Fonte própria, 2021].....   | 77  |
| Figura 40 - WC químico [87] .....   | 78  |
| Figura 41 - Kit de contenção de derrames presente na frente de trabalho [Fonte própria, 2019] ....  | 87  |
| Figura 42 - Energia despendida no ciclo de vida das lâmpadas incandescentes, CFL e LED [110] .....  | 96  |
| Figura 43 - Impacte comparativo do ciclo de vida de uma lâmpada por tecnologia e tipo de impacte [111].....   | 99  |
| Figura 44 - Projeção de resíduos provenientes de módulos fotovoltaicos de 2016 a 2050 [119]....   | 102 |

## Índice de tabelas

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Custo de produção geral e compensação no ano 2019 .....   | 43 |
| Tabela 2 - Custo de produção geral e compensação no ano 2020 .....   | 45 |
| Tabela 3 - Custo de produção geral e compensação no ano 2021 .....   | 46 |
| Tabela 4 - Custo aproximado dos equipamentos .....   | 47 |
| Tabela 5 - Perda de eficácia dos painéis ao longo dos anos .....   | 48 |
| Tabela 6- Quantidade de equipamentos LED .....   | 48 |
| Tabela 7 - Perspetiva do Ciclo de Vida [64].....   | 53 |
| Tabela 8 - Situação operacional dos aspetos ambientais [64].....   | 53 |
| Tabela 9 - Grau de impacte relativo a cada critério [64] .....   | 54 |
| Tabela 10 - Descrição da frequência e da probabilidade [64] .....  | 56 |
| Tabela 11 - Classificação da significância dos impactes [64] .....   | 56 |
| Tabela 12 - Identificação dos impactes ambientais do consumo de energia e medidas de controlo  | 63 |
| Tabela 13 - Identificação do grau dos impactes ambientais do consumo de energia .....  | 64 |
| Tabela 14 - Identificação dos impactes ambientais do consumo de água e medidas de controlo .....   | 66 |
| Tabela 15 - Identificação do grau dos impactes ambientais do consumo de água .....   | 66 |
| Tabela 16 - Papel consumido em tarefas administrativas para execução da obra.....  | 69 |
| Tabela 17 - Identificação do grau dos impactes ambientais do consumo de papel .....  | 69 |
| Tabela 18 - Identificação dos impactes ambientais do consumo de papel e medidas de controlo ...  | 70 |
| Tabela 19 - Resíduos que saíram da obra .....  | 71 |
| Tabela 20 - Identificação dos impactes ambientais da produção de resíduos e medidas de controlo .....  | 73 |
| Tabela 21 - Identificação do grau dos impactes ambientais da produção de resíduos.....   | 74 |
| Tabela 22 - Massas de cada uma das partes das lâmpadas.....  | 77 |
| Tabela 23 - Quantidade estimada dos diferentes tipos de materiais enviados para a reciclagem ....  | 78 |
| Tabela 24 - Identificação dos impactes ambientais da produção de efluentes líquidos e medidas de controlo.....                                     | 79 |
| Tabela 25 - Identificação do grau dos impactes ambientais da produção de efluentes .....   | 80 |
| Tabela 26 - Atividades emissoras e medidas de prevenção e controlo durante atividades de demolição [93] .....                                      | 82 |
| Tabela 27 - Atividades emissoras e medidas de prevenção e controle durante atividades de movimentação de terras e serviços preliminares [93] ..... | 83 |
| Tabela 28 - Controlo e prevenção de emissões provenientes de veículos de construção e transporte nas obras [93] .....                              | 83 |
| Tabela 29 - Identificação dos impactes ambientais das emissões para a atmosfera (material particulado) e medidas de controlo.....                  | 84 |
| Tabela 30 - Identificação do grau dos impactes ambientais das emissões para a atmosfera (material particulado).....                                | 84 |
| Tabela 31 - Identificação dos impactes ambientais da emissão de ruído e medidas de controlo ....   | 86 |
| Tabela 32 - Identificação do grau dos impactes ambientais da emissão de ruído .....  | 86 |
| Tabela 33 - Identificação dos impactes ambientais do derrame de produtos e medidas de controlo .....   | 87 |
| Tabela 34 - Identificação do grau dos impactes ambientais do derrame de produtos .....   | 87 |
| Tabela 35 - Significância dos impactes ambientais.....   | 94 |
| Tabela 36 - Comparação de tecnologias [109].....   | 95 |
| Tabela 37 - Impactes relacionados com o ar provenientes de 20Mlm-hora de luz [111] .....   | 97 |
| Tabela 38 - Impactes relacionados com a água provenientes de 20Mlm-hora de luz [111] .....   | 97 |
| Tabela 39 - Impactes relacionados com o solo provenientes de 20Mlm-hora de luz [111].....  | 98 |
| Tabela 40 - Impactes relacionados com os recursos provenientes de 20Mlm-hora de luz [111] .....  | 98 |

## Lista de siglas e abreviatura

- ACV - Avaliação do ciclo de vida
- AQS - Água Quente Sanitária
- AVAC - Aquecimento, ventilação e ar condicionado
- CA - Corrente alternada
- CC - Corrente contínua
- CE - Caderno de encargos
- CELPA - Associação da Indústria Papeleira
- CFL - *Compact fluorescent light* (Lâmpada fluorescente compacta)
- DCB - *Distorted Coulomb-Born*
- GEE - Gases Efeito Estufa
- IEC - *International Electrotechnical Commission* (Comissão Eletrotécnica Internacional)
- IRC - Índice de reprodução de cor
- ISO - *International Organization for Standardization* (Organização Internacional de Normalização)
- LED - *Light Emitting Diod* (Díodo emissor de Luz)
- MPP - *Maximum Power Point* (Ponto de potência máxima)
- MPPT - *Maximum Power Point Tracker* (Rastreamento de ponto de potência máxima)
- OMS - Organização Mundial da Saúde
- PVC - *Polyvinyl chloride* (Policloreto de vinil)
- RCD - Resíduos de construção e demolição
- REEE - Resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos
- REN - Redes Energéticas Nacionais
- RESP - Rede elétrica de serviço público
- STC - *Standard Test Conditions* (Condições de Ensaio Normalizadas)
- TEP - Tonelada equivalente de petróleo
- UV - Ultravioleta

# Capítulo 1

## 1. Introdução

### 1.1. Enquadramento

A qualidade de vida e o desenvolvimento baseado numa vertente sustentável são termos indissociáveis. O desenvolvimento sustentável nos seus três pilares – económico, social e ambiental induz as chamadas atitudes assertivas e protetoras, que preserva ou muitas vezes modifica o nosso habitat de forma a melhorá-lo tanto para nós como para as gerações futuras. Gradualmente a responsabilidade socioambiental torna-se um requisito da qualidade.

A ascensão da política de desenvolvimento sustentável colocou as empresas e o Estado (no sentido do sistema "político-administrativo") numa nova situação, historicamente orientadas para o tratamento de problemas ligados à reprodução da relação salarial e à regulação da concorrência no mercado, as entidades públicas e privadas são agora desafiadas quanto à sua postura e tomada de decisões neste âmbito.

Todas as estratégias energéticas precisam ser, ao máximo possível, eficientes e renováveis. Esta premissa também deve ser considerada na fase de execução dos projetos, ou seja, deverão ser tomadas medidas de mitigação dos impactes ambientais gerados pela própria execução que inclui a recolha de informação, identificação e previsão dos efeitos ambientais, bem como a identificação e proposta de medidas que evitem, minimizem ou compensem esses efeitos.

O enquadramento desta dissertação contempla a apresentação de um estudo energético e financeiro de um caso de estudo e aborda os impactes ambientais dos novos projetos de eficiência energética também no âmbito do caso de estudo, nomeadamente o consumo de novos materiais e também os resíduos produzidos pelo abate de material a substituir.

Como caso de estudo vai ser apresentado um projeto que foi executado em 2018/2019 que visou a implementação de um sistema fotovoltaico e iluminação Retrofit LED num edifício público de saúde.

### 1.2. Objetivos

Os objetivos desta dissertação são:

- Apresentar o estudo energético e financeiro do caso de estudo;

- Identificar e descrever os impactes ambientais dos novos projetos de eficiência energética, nomeadamente o consumo de novos materiais e também os resíduos produzidos pelo abate de material a substituir;
- Apresentar a sustentabilidade dos novos materiais e também os custos ambientais dos resíduos produzidos no caso de estudo.

### 1.3. Estrutura da dissertação

Este trabalho encontra-se dividido em 8 capítulos e 4 anexos.

No primeiro capítulo procede-se à realização de um breve enquadramento da dissertação, para além de se enunciar os objetivos e o caso em estudo.

No segundo capítulo apresenta-se uma revisão bibliográfica relativa ao recurso solar e ao estado da energia solar a nível europeu e em Portugal. Aborda-se ainda os sistemas solares fotovoltaicos, incidindo na normal constituição do sistema, as tecnologias existentes no mercado e o modo como estes componentes funcionam.

No terceiro capítulo aborda-se os sistemas de iluminação LED, nomeadamente as tecnologias de iluminação comercializadas, o funcionamento e composição dos LED e o enquadramento dos LED no âmbito da política de combate às alterações climáticas.

No quarto capítulo é abordado as operações que promovem o desempenho ambiental dos edifícios, nomeadamente a utilização de energias renováveis e as medidas de eficiência energética.

No quinto capítulo é apresentado o caso de estudo, os trâmites do projeto de eficiência energética que foi implementado e os resultados obtidos a partir da análise da evolução energética e financeira tanto pela implementação do sistema fotovoltaico como pela solução de iluminação LED.

No sexto capítulo é realizado a identificação dos aspetos ambientais e avaliação da significância dos impactes ambientais em projetos de eficiência energética, especificando em particular o do caso de estudo.

No sétimo capítulo refere-se à sustentabilidade dos materiais utilizados (tecnologia LED e os módulos fotovoltaicos).

O oitavo capítulo conclui a dissertação, neste capítulo são enunciadas as conclusões que se retiram deste trabalho e as propostas de trabalhos futuros.

## Capítulo 2

### 2. Recurso solar

#### 2.1. Contextualização

A energia solar é a fração da energia eletromagnética proveniente do Sol, depois de passar pela atmosfera, onde parte dela é absorvida alcançando a superfície da Terra.

Na Terra, a energia solar está na origem do ciclo da água, do vento e da fotossíntese realizada pelo reino vegetal, da qual depende o reino animal por meio das cadeias alimentares. O Sol é a fonte da maior parte da energia da Terra, exceto a energia nuclear e a energia geotérmica [1].

Como pode-se observar na figura 1 considerando as fontes de energia renováveis (eólica, hidroelétrica, geotérmica, solar) a energia hidroelétrica corresponde a 16,4% das fontes de energia renovável, o que a torna na maior fonte de energia renovável utilizada. A energia solar ganha destaque por ser abundante e inesgotável, mas ainda é pouco utilizada.

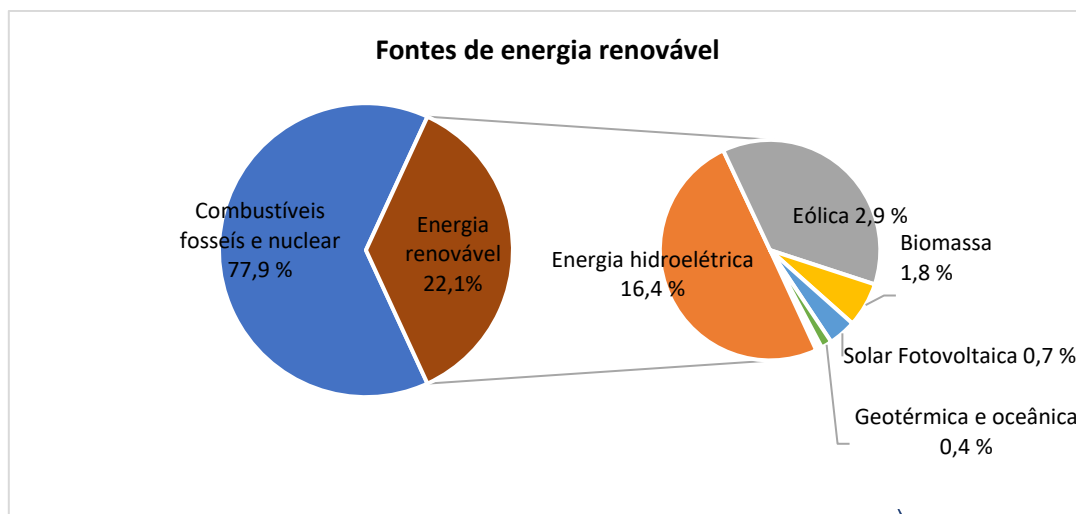


Figura 1 - Fontes de energia renovável [2]

Os custos para a produção de energia elétrica caíram ao longo dos anos, sendo mais barato que o carvão em algumas partes do mundo. Desde 2009 os preços de investimento para a produção solar fotovoltaica caíram 62 % em toda a cadeia de equipamentos. Em menos de uma década, é provável que seja a opção de menor custo [3].

A queda no custo de transformar a luz solar em eletricidade tem vindo a superar as previsões, acelerando a transição para um sistema de energia limpa. Os preços da energia solar caíram o

suficiente para tornar a energia fotovoltaica a fonte mais barata de eletricidade na maior parte do mundo - reduzindo o preço dos combustíveis fósseis antes mesmo de contabilizar custos como a poluição do ar e as mudanças climáticas. Com uma média de cerca de US \$ 0,05/kWh, o custo da produção de eletricidade solar atingiu o valor mais baixo há seis anos atrás, valor este que a Agência Internacional de Energia não esperava atingir até meados do século [4].

O carvão que vinha a ser considerado a forma mais barata de gerar eletricidade, agora compete nesta posição diretamente com a energia da luz solar. A competição cresceu tanto que os financiadores correm o risco de desperdiçar mais de US \$ 600 bilhões (€ 546 bilhões) em projetos de carvão já planejados, de acordo com uma análise publicada em março de 2020 pelo *Think tank Carbon Tracker Initiative*.

Certos autores preveem que em uma década será mais barato fechar as centrais movidas a carvão já existentes e construir novas centrais solares e eólicas em seu lugar, na figura 2 pode-se observar o custo em centimos por kWh de eletricidade produzida em novas centrais.

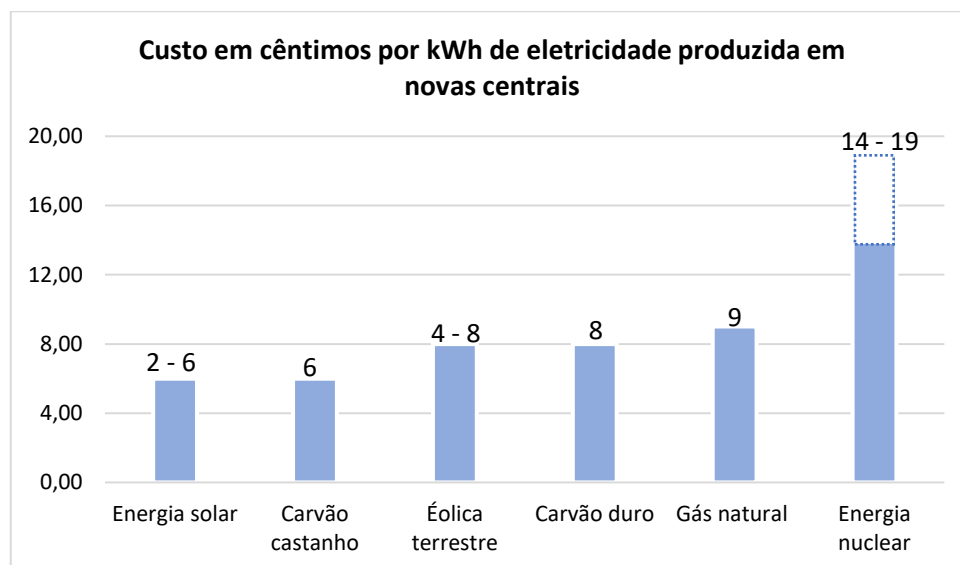


Figura 2 - Custos em centimos por kWh de eletricidade produzida em novas centrais [4]

Surge então um novo panorama, um panorama que questiona o porquê da energia solar ter-se tornado tão barata, um estudo publicado na revista *Energy Policy* em 2018 descobriu que 60% da queda nos preços entre 1980 e 2012 foi por causa de políticas governamentais que estimularam o crescimento do mercado, como tarifas *feed-in* que pagam aos consumidores por energia não utilizada que fornecem à rede [5].

Segundo a *International Energy Agency* (IEA) as energias renováveis devem proporcionar mais

da metade do aumento global do fornecimento de eletricidade em 2021, espera-se que a energia solar fotovoltaica e a eólica contribuam com dois terços do crescimento das energias renováveis. A participação das energias renováveis na produção de eletricidade é projetada para aumentar para quase 30% em 2021. A produção de eletricidade solar fotovoltaica é esperada aumentar em 145 TWh, ou quase 18%, e se aproximar de 1 000 TWh em 2021 [6].

O *Renewable Energy Statistics 2017* mostra que mais da metade dos investimentos públicos em energias renováveis foram gastos em tecnologias fotovoltaicas [7].

Espanha produziu 5,57 TWh de energia solar em 2019, tornando-se no país europeu com maior produção solar naquele ano [8]. Em 2019 a Alemanha produziu 3,78 TWh de energia solar [8] mas apesar da menor radiação solar, este país tem a maior quantidade de energia solar instalada por pessoa [9].

Na Alemanha políticas com incentivos da Lei das energias renováveis desencadearam investimentos que, por sua vez, levaram à inovações rápidas, disse David Wedepohl, do grupo alemão BSW, isto criou incentivos para que os fabricantes fizessem painéis solares e construíssem novas fábricas e máquinas [4].

Cada vez que a capacidade solar dobrou, o preço total da energia solar caiu cerca de 30%. Os analistas chamam esta relação de curva de aprendizagem, quanto mais centrais solares são implementadas mais a tecnologia diminui de preço - embora os ganhos se estabilizem com o tempo [4].

A procura de energia solar na Alemanha "não apenas instalou muita energia solar, mas fomentou a curva de aprendizagem", disse Gregory Nemet, professor da Universidade de Wisconsin-Madison que escreveu um livro sobre como a energia solar se tornou barata.

Na China, onde a maioria dos painéis solares do mundo são fabricados, os processos de produção foram ainda mais aperfeiçoados para reduzir os preços a níveis que competem com o carvão [4].

Portugal por sua vez posiciona-se como um dos países do mundo que mais recorre às energias renováveis. Segundo dados da REN, entre janeiro e dezembro de 2019, 51% da energia usada no país foi renovável, ou seja, o consumo de energias renováveis já ultrapassou o das não renováveis (42,3%), com os restantes 6,7% de consumos energéticos a serem importados (podendo ser, ou não, renováveis) [10].

A energia eólica é a grande responsável pelos bons números, representado 27% do consumo nacional. Já a energia hidroelétrica abasteceu 17%, a biomassa 5,5% e a fotovoltaica 2,1%. No

que toca às energias não renováveis, o gás natural contribui para 32% dos consumos e o carvão para 10% da energia usada – o que representa uma enorme quebra, visto que, em 2018, o carvão foi responsável por 21% dos consumos energéticos [10].

De acordo com a Associação Portuguesa de Energias Renováveis, Portugal encontra-se em 5.º lugar do top mundial da incorporação de energias renováveis na produção de eletricidade, apenas ultrapassado por países como a Dinamarca, o Uruguai, a Irlanda e a Alemanha. Mas para que a melhoria da qualidade do ar e, conseqüentemente, da saúde das populações se possa sentir, são necessárias medidas concertadas a nível internacional, a fim de se poderem maximizar os benefícios da transição energética [10]. Como mostra a figura 3, de janeiro a junho de 2021 foram gerados 24 909 GWh de eletricidade em Portugal Continental, dos quais 71,3 % foram de origem renovável e 3% do recurso solar [11].

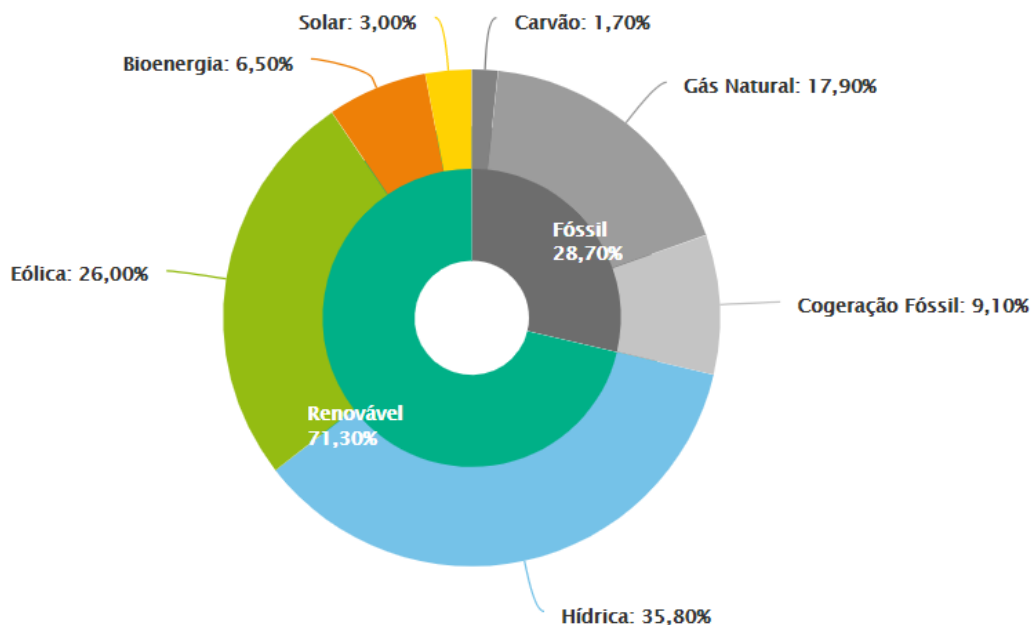


Figura 3 - Balanço da Produção de Eletricidade de Portugal Continental, junho 2021 [12]

A energia solar apresenta um conjunto alargado de vantagens [13]:

- i. É uma energia sustentável, sem emissão de gases com efeito de estufa para a atmosfera;
- ii. Os painéis fotovoltaicos exigem pouca manutenção (ao contrário das baterias);
- iii. Os painéis fotovoltaicos são de fácil instalação;
- iv. Os preços dos painéis fotovoltaicos têm vindo a descer e a expectativa é de continuação dessa tendência;

- v. Os sistemas são totalmente silenciosos (ao contrário, por exemplo, das turbinas eólicas), podendo ser instalados sem problema nas zonas urbanas e de maior densidade populacional.

Além disso, é um recurso inesgotável, existente em todo o planeta, com poucas exceções. Portugal é um dos países da Europa com mais tempo de exposição solar. A média anual é aproximadamente 8h/dia com receção superior a  $1200 \text{ W/m}^2$ . A energia solar diária que chega a Portugal é em média 430 000 GWh o que representa aproximadamente a energia que o país gasta em 1000 dias [13].

Comumente apontadas como desvantagens da energia solar estão o fornecimento de eletricidade inconstante e o alto investimento.

## 2.2. Distribuição da radiação solar

O Sol fornece energia na forma de radiação, que é a base de toda a vida na Terra. No centro do Sol, a fusão transforma núcleos de hidrogénio em núcleos de hélio [14].

Durante este processo, parte da massa é transformada em energia. O Sol é assim um enorme reator de fusão [14].

Devido à grande distância existente entre o Sol e a Terra, apenas uma mínima parte (aproximadamente duas partes por milhão) da radiação solar emitida atinge a superfície da Terra. Esta radiação corresponde a uma quantidade de energia de  $1 \times 10^{18} \text{ kWh/ano}$  [14].

A quantidade de energia solar que atinge a superfície da Terra corresponde, aproximadamente, a dez mil vezes à procura global de energia. Assim, teríamos de utilizar apenas 0,01 % desta energia para satisfazer a procura energética total da humanidade [14].

A intensidade da radiação solar fora da atmosfera, depende da distância entre o Sol e a Terra. Durante o decorrer do ano, pode variar entre  $1,47 \times 10^8 \text{ km}$  e  $1,52 \times 10^8 \text{ km}$ . Devido a este facto, a irradiância  $E_0$  varia entre  $1325 \text{ W/m}^2$  e  $1412 \text{ W/m}^2$ . O valor médio é designado por constante solar,  $E_0 = 1367 \text{ W/m}^2$  [14].

No entanto, apenas uma parte da quantidade total da radiação solar atinge a superfície terrestre. A atmosfera reduz a radiação solar através da reflexão, absorção (ozono, vapor de água, oxigénio, dióxido de carbono) e dispersão (partículas de pó, poluição) [14].

O nível de irradiância na Terra atinge um total aproximado de  $1000 \text{ W/m}^2$  ao meio-dia, em boas condições climáticas, independentemente da localização [14].

Ao adicionar a quantidade total da radiação solar que incide na superfície terrestre durante o período de um ano, obtém-se a irradiação global anual, medida em  $\text{Wh/m}^2$ . Este parâmetro varia de um modo significativo com as regiões, como pode-se observar na figura 4 [14].

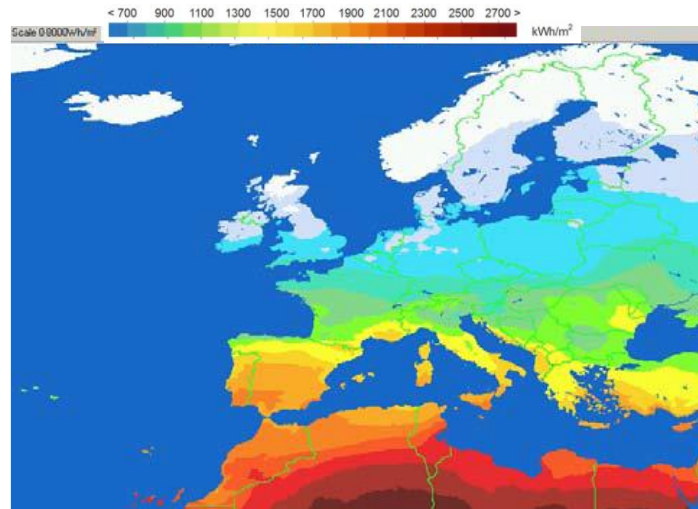


Figura 4 - Distribuição global da irradiação solar em  $\text{Wh/m}^2$  [15]

A irradiação solar em algumas regiões situadas perto do Equador, excede 2 300  $\text{kWh/m}^2$  por ano, enquanto que no sul da Europa não deverá exceder os 1 900  $\text{kWh/m}^2$ . Em Portugal, este valor poderá situar-se entre os 1 300  $\text{kWh/m}^2$  e os 1 800  $\text{kWh/m}^2$ . São notáveis as diferenças sazonais existentes por toda a Europa, quando se observa a relação entre a radiação solar para os períodos de Verão e de Inverno [14].

As diferenças regionais da irradiação solar em Portugal, são evidenciadas na figura 5. Os somatórios médios da radiação são indicados para um ano normal.

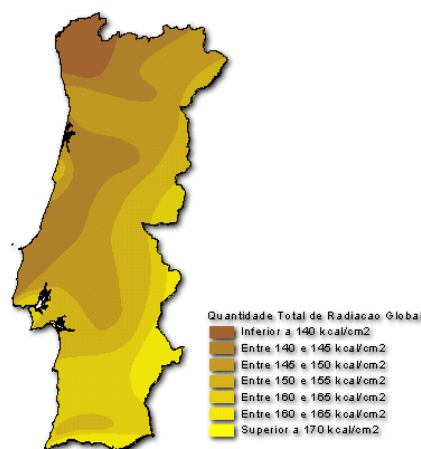


Figura 5 - Radiação global anual em Portugal [14]

### 2.3. Radiação direta e difusa

A luz solar que atinge a superfície terrestre é composta por uma fração direta e por uma fração difusa. A radiação direta vem segundo a direção do Sol, produzindo sombras bem definidas em qualquer objeto. Por outro lado, a radiação difusa não tem direção específica como pode-se observar na figura 6.



Figura 6 - Luz solar no seu percurso através da atmosfera [14]

A figura 7 apresenta as frações da radiação diária direta e difusa, durante o período de um ano em Lisboa. Nos dias claros, a fração da radiação direta prevalece. No entanto, na maioria dos dias cobertos de nuvens (especialmente no Inverno), a radiação solar é quase completamente difusa. Em Portugal, a proporção da radiação solar difusa durante um ano, é cerca de 40 % para 60 % de radiação direta [14].

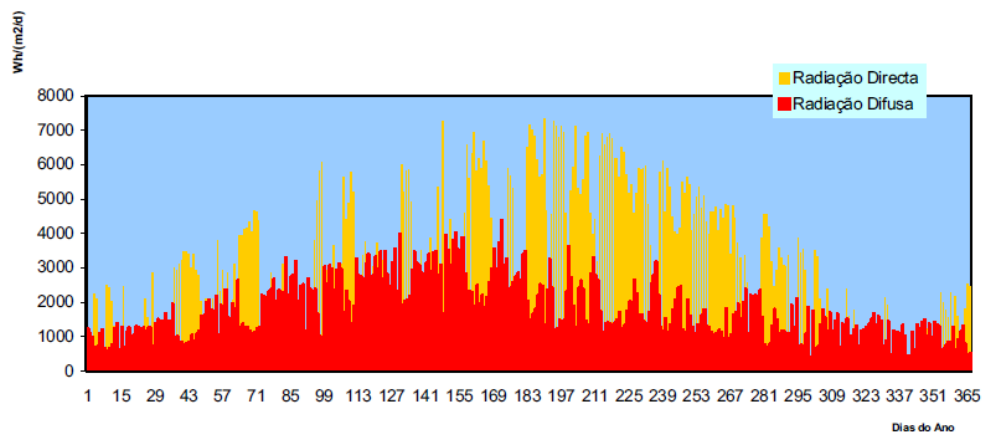


Figura 7 - Padrão típico da radiação direta e difusa total em Lisboa ao longo dos dias do ano [14]

## 2.4. Radiação solar em planos inclinados

A radiação solar é sempre maior numa área que se estende perpendicularmente em relação aos raios solares, do que numa área horizontal das mesmas dimensões. Uma vez que o azimute e a altura solar mudam ao longo do dia e do ano, o ângulo de incidência da radiação solar varia constantemente na maior parte das áreas potenciais ao aproveitamento da energia solar [14].

A análise da radiação anual ajuda a equacionar a conveniência das áreas existentes, tendo em conta o seu aproveitamento solar. Para ilustrar este aspeto, a figura 8 mostra o exemplo de Lisboa, a qual representa a irradiação solar anual que incide numa área de um metro quadrado, em função do azimute e da altura solar (média a longo prazo) [14].

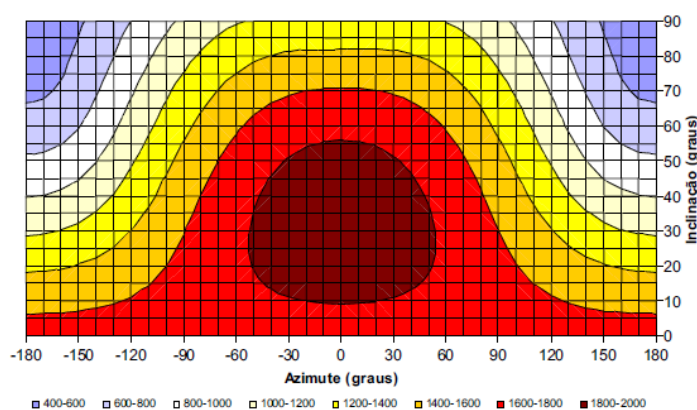


Figura 8 - Irradiação solar global para diferentes orientações da superfície recetora [14]

A orientação da instalação solar, tem por resultado diferentes níveis de irradiação. Em Portugal, a orientação ótima de uma instalação é a direção Sul, com um ângulo de 35° de inclinação.

Neste caso, o nível de irradiação é quinze por cento maior do que numa área horizontal (ângulo de inclinação:  $\beta = 0$ ) [14].

A construção de instalações solares em telhados inclinados, com orientações diferentes à da posição ótima, traduz-se numa menor produção de energia devido à redução da radiação. Uma orientação para Sudoeste ou Sudeste dos telhados, ou uma inclinação entre 20° e 50°, implicam uma redução máxima da energia produzida de dez por cento [14].

Os telhados com uma orientação que varie ainda mais da posição ótima, podem também ser explorados, mas nesta situação a menor irradiação deverá ser equacionada. A utilização das fachadas para a integração de tecnologias solares (ângulo de inclinação  $\beta = 90^\circ$ ) implica uma produção de energia menor, devido à redução significativa da irradiação [14].

Neste caso, a boa visibilidade da instalação solar, aspetos de design, entre outros fatores, têm um papel vital para a decisão final sobre a construção da fachada com este material [14].

Como pode-se ver na figura 9 o semestre do Verão (de abril a setembro) apresenta a maior proporção do total da irradiação anual global, aproximadamente 77 % e perto de 1 120 kWh/m<sup>2</sup> [14].

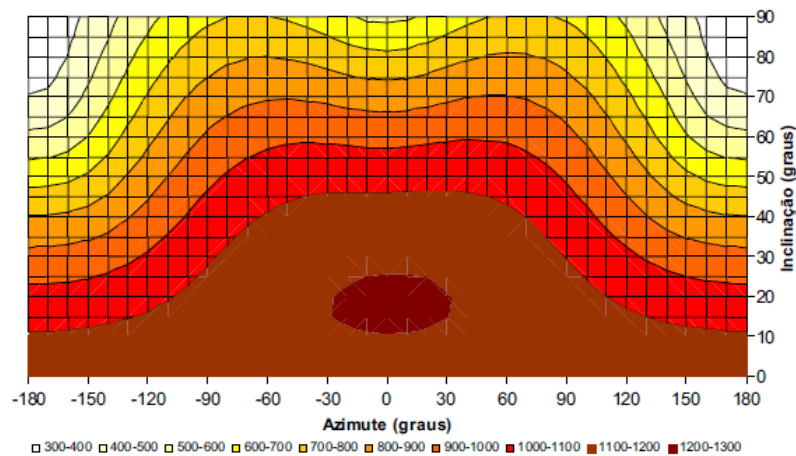


Figura 9 - Irradiação solar global no semestre de Verão, com diferentes orientações da superfície recetora (kWh/m<sup>2</sup>) [14]

Na latitude média Europeia de 52° (como por exemplo Berlim, Londres, Amsterdão), o ângulo ótimo de inclinação em termos da energia produzida é de 27°. No semestre do Inverno, na mesma localização, o ângulo mais favorável de inclinação é de 50° e tem como resultado apenas 260 kWh/m<sup>2</sup>. Na figura 10 pode-se observar a irradiação solar global total em Lisboa, no semestre de Inverno, para diferentes orientações da superfície recetora.

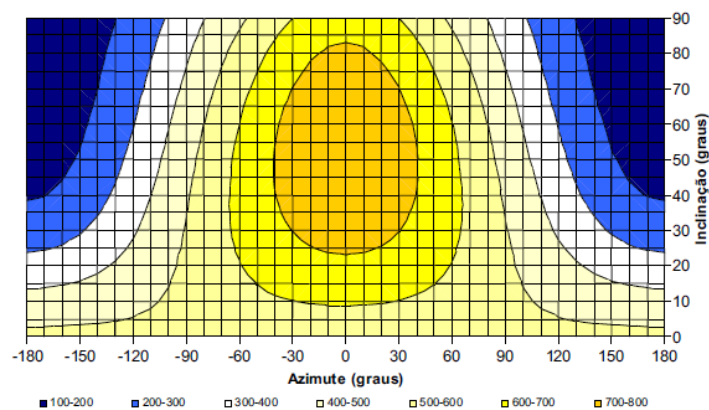


Figura 10 - Irradiação solar global total em Lisboa, no semestre de Inverno, para diferentes orientações da superfície recetora (kWh/m<sup>2</sup>) [14]

Desta forma, um sistema autónomo utilizado apenas no Verão, tem um pequeno ângulo de inclinação. Sistemas fotovoltaicos ajustáveis podem tomar em consideração ambas as posições solares ideais (posição diária e posição sazonal) [14].

## 2.5. Energia solar – uma visão para o futuro

É de salientar que em partes ensolaradas do mundo, os preços médios da energia solar devem chegar a US \$ 0,01/kWh até 2035, de acordo com uma análise do defensor da energia limpa Ramez Naam "Em um mercado puramente aberto, esses preços incrivelmente baixos levariam à falência as centrais de carvão do mundo e roubariam algumas das horas de operação mais lucrativas até mesmo de centrais de gás natural baratas" [16].

As previsões de preços da energia solar em países ensolarados nas próximas décadas variam de menos de \$ 0,01/kWh a \$ 0,025/kWh, o que ainda está bem abaixo do custo de funcionamento das centrais de carvão existentes.

As redes de eletricidade também devem corrigir problemas de intermitência, disse Auke Hoekstra, investigador de veículos elétricos da Universidade de Tecnologia de Eindhoven, como o céu fica mais escuro à noite e no inverno, a atratividade da energia solar depende de quão bem uma rede elétrica pode gerir a procura e armazenar a energia [4].

Devido ao crescimento populacional e desenvolvimento industrial nas últimas décadas, a procura mundial de energia cresce significativamente a cada dia fomentando o risco de uma crise energética. A energia acessível obtida através de combustíveis fósseis não é suficiente para atender essa crescente demanda, além de poluir fortemente os ecossistemas causando alterações climáticas que, por sua vez, podem resultar em grandes desastres naturais [17].

Com o nosso atual modelo de desenvolvimento económico a produção e o consumo de energia duplicam a cada 30 anos, esta potência terrestre total não seria suficiente para as nossas necessidades de 2050-2060 se continuássemos com o mesmo comportamento, mesmo se fosse possível capturar a energia à 100% por um processo que ainda precisa ser inventado [18].

## 2.6. Sistemas Solares Fotovoltaicos

A evolução da energia solar fotovoltaica teve início a partir da pesquisa de um físico francês, Alexandre Edmond Becquerel, em 1839, que iniciou seus estudos sobre o efeito fotovoltaico.

Além disso, Charles Fritts, um inventor de Nova York, fabricou a primeira célula fotovoltaica produzida por selênio revestido de ouro. Este marco da tecnologia fotovoltaica data do ano de 1883, quando foi possível gerar uma corrente contínua e constante para a conversão elétrica máxima de 1% (enquanto, atualmente, trabalha-se com 20% de eficiência) [19].

Mais adiante, os cientistas do *Bell Laboratories* foram os pioneiros na fabricação de células de silício que possuíam 6% de conversão, sendo mais eficientes que as anteriores.

Uma das primeiras utilizações de painéis solares ocorreu em 1958 no espaço, quando o satélite Vanguard I foi lançado, com o auxílio de um painel de 1 W para alimentar seu rádio na viagem. Além disso, foram construídas as primeiras instalações solares para casas, estabelecimentos e até mesmo para meios de transportes, como autocarros, navios e aviões [19].

Chama-se fotovoltaico ao tipo de painel solar usado para produzir energia elétrica a partir da luz solar. É isso que o distingue de um painel solar térmico, cuja função é transformar energia solar em energia térmica, para aquecimento de águas, por exemplo. Mas para produzir eletricidade não chega o painel solar [20].

Para que a eletricidade gerada seja aproveitada para os mais variados usos, um painel solar costuma ser acompanhado de um conversor de corrente contínua em corrente alternada, de um gerador e de um quadro elétrico. A este conjunto chama-se sistema fotovoltaico [20].

O principal componente de um painel solar é o silício, um elemento químico da família do carbono. Este é o componente base das células solares: células muito finas, constituídas por uma "fatia" de silício e pistas coletoras que recebem a luz solar [20].

Cada célula solar produz pouca energia, ou seja, cerca de 0,5 volts em corrente contínua. Assim, as células são habitualmente ligadas entre si em conjuntos de 60 ou 72 num módulo solar, com pistas condutoras de alumínio, que permitem conduzir a energia, ligados numa estrutura única, esses módulos formam um painel solar [20].

Tudo começa com a incidência da luz solar nas células solares, esta luz é composta por partículas minúsculas (fotões), que possuem energia e criam tensão elétrica ao embater nos painéis, e é nesta parte que o silício entra em ação [20].

Ao entrarem em contacto com os painéis, os fotões transferem a sua energia para os eletrões presentes nos átomos de silício forçando a sua deslocação, este fenómeno denomina-se "efeito fotovoltaico" e tem semelhanças com um jogo de snooker [20].

Neste caso, os fotões da luz solar são a bola branca, tal como a primeira tacada do snooker, é a chegada da bola branca ao triângulo formado pelas outras bolas coloridas, que dá início ao jogo. O impacto da bola branca permite que as bolas coloridas se dispersem, tal como os fotões estimulam o movimento dos eletrões, no entanto, uma dispersão arbitrária de eletrões não é suficiente para criar uma corrente elétrica: é preciso que o movimento seja contínuo e sempre para o mesmo lado [20].

As propriedades do silício permitem assegurar a circulação de energia, dois tipos diferentes de silício na mesma célula obtêm este efeito: de um lado, uma estrutura de silício com elétrons a mais; do outro, uma estrutura com "lacunas" para elétrons, ao receberem o impulso dos fótons, os elétrons deslocam-se da primeira para a segunda [20].

As propriedades isolantes do silício mantêm este desequilíbrio constante. Este elemento químico é um semiconductor: tem algumas propriedades dos metais, que conduzem energia e também algumas propriedades dos materiais isolantes, cria-se assim a corrente elétrica que pode ser usada como eletricidade. Assim, esta corrente elétrica depois é encaminhada até ao inversor cuja função é preparar esta energia para poder ser consumida [20].

Colocar um painel solar fotovoltaico representa um bom investimento para o futuro, pois o mesmo tem uma garantia a longo prazo, por norma 20 anos para os painéis, 10 anos para o inversor e se tiver um sistema com bateria, 7 anos de garantia [21].

São sistemas pensados para gerar eletricidade limpa durante pelo menos 20 anos, tendo em conta as manutenções periódicas, alguns podem durar mais anos. Isto significa que mesmo que o investimento seja elevado inicialmente, irá compensar ao fim de poucos anos, pois irá poupar milhares em contas de eletricidade [21].

## 2.7. Componentes do sistema fotovoltaico

- **Módulos Fotovoltaicos**

A reduzida potência das células solares individuais justifica a ligação de várias células no fabrico dos módulos fotovoltaicos (encadeamento de células). Na ligação em série, os contactos frontais de cada célula são soldados aos contactos posteriores da célula seguinte, por forma a ligar o polo negativo (parte frontal) da célula com o polo positivo (parte posterior) da célula seguinte.

Os terminais de início e de fim da fileira de células são estendidos para o exterior, tendo em vista a posterior ligação elétrica como pode-se observar na figura 11 [14].

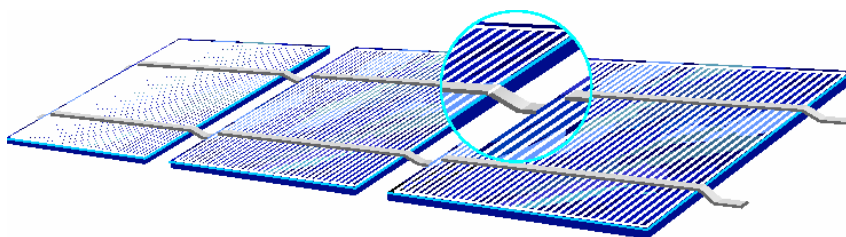


Figura 11 - Interligação em série de células cristalinas solares [14]

- **Tipos de módulos**

Comercialmente, os módulos fotovoltaicos recebem várias classificações. O termo geral “módulo” é definido de forma mais precisa pelas qualidades específicas da unidade geradora. Os módulos podem ser classificados de diversas formas, em função do material celular, material de encapsulamento, tecnologia de encapsulamento, tecnologia do substrato, estrutura da armação e funções específicas de construção. Existem ainda três distinções: - módulo standard, módulo especial e módulo feito à medida [14].

- **Equipamentos**

Por norma, a constituição dos sistemas fotovoltaicos é: Painéis PV, reguladores de carga de bateria, baterias, conversor de corrente (transformação de corrente contínua CC em corrente alternada CA), gerador e quadro. O painel produz energia elétrica em corrente contínua, que pode ser armazenada numa bateria, no caso de um sistema autónomo/isolado, sendo a carga desta, controlada pelo regulador de bateria. Os sistemas podem estar ligados diretamente à rede elétrica, onde se injeta parte ou a totalidade da energia produzida [14].

- **Inversores**

Este equipamento é responsável por converter a energia elétrica produzida pelos painéis, em corrente contínua, em corrente alternada, conforme as características da rede a que está ligado. O tipo de inversor utilizado depende do tipo de aplicação, isto é, se o sistema possui ligação à rede ou se é um sistema isolado [22].

Assim, estes podem ser inversores *grid-tie* (conexão à rede) ou *off-grid* (sistema isolado), respetivamente. Atualmente já existem inversores híbridos, que se caracterizam por terem a capacidade de funcionar em modo *grid-tie* ou *off-grid*. No caso de sistemas fotovoltaicos cuja potência instalada vá até aos 5 kWp, geralmente a alimentação é monofásica.

Esta unidade (Wp) é comumente utilizada para indicar a potência de pico (*peak*) dos painéis fotovoltaicos. Cada painel solar possui uma potência nominal, que irá variar conforme as condições a que os painéis forem submetidos, sendo fácil entender que um painel solar fornece diferentes quantidades de energia, ao longo do dia e obviamente do estado do tempo: num dia de sol, esta será máxima perto do meio-dia; e mínima no início da manhã e final da tarde. Assim, por uma questão de normalização, que permite a classificação e comparação entre equipamentos, são definidas potências de pico, em condições de teste (*STC – Standard Test*

*Conditions*): 25°C de temperatura na célula solar; 1000 W/m<sup>2</sup> de irradiação incidente; e uma massa de ar de 1,5 (AM = 1,5) [23].

Nos sistemas com potência superior, a alimentação é trifásica e, nesse caso, os inversores trifásicos estão normalmente equipados com tirístores [24].

Os inversores *grid-tie* devem funcionar no ponto de máxima potência – MPP (do inglês, *Maximum Power Point*) do gerador fotovoltaico, de modo a fornecerem o máximo de energia. O MPP corresponde ao ponto da curva característica em que a célula fotovoltaica funciona à sua máxima potência. Uma vez que as condições climáticas influenciam o MPP, o inversor deve possuir um sistema que efetue o seguimento do ponto de máxima potência – MPPT (do inglês, *Maximum Power Point Tracker*), de modo a garantir que a tensão de entrada do inversor é ajustada a cada instante, de acordo com a tensão MPP [24].

No caso dos inversores *off-grid*, o seu papel reside fundamentalmente na conversão da energia armazenada nas baterias em corrente contínua, por forma a possibilitar o uso de aparelhos elétricos que funcionam a corrente alternada [25].

Os atuais inversores solares são capazes de realizar as seguintes funções [14]:

- A conversão da corrente DC gerada pelo gerador fotovoltaico em corrente AC, de acordo com os requisitos técnicos e de segurança que estão estipulados para a ligação á rede;
- Ajuste do ponto operacional do inversor ao MPP do gerador fotovoltaico (rastreamento do ponto MPP);
- Registo de dados operacionais e sinalização (p. ex.: visualizadores, armazenamento de dados, transferência de dados);
- Dispositivos de proteção AC e DC (p. ex.: proteção de polaridade, proteção contra sobrecargas e sobre tensões e equipamento de proteção da interligação com a rede recetora).

- **Regulador de Carga**

Este equipamento é destinado a regular o processo de carga e descarga das baterias, evitando que a vida útil das mesmas fique comprometida devido a sobrecargas ou descargas profundas. É importante que estes sejam dimensionados de modo a que em altas temperaturas a tensão gerada seja suficiente para carregar as baterias, assim como deve garantir que a tensão do módulo fotovoltaico não seja superior à tensão de carga da bateria, em condições de temperatura reduzidas [22].

Um regulador de carga deve assegurar a carga da bateria, prevenir descargas indesejáveis, proteger contra sobrecargas, proteger contra descargas profundas e dar ao utilizador informação sobre o estado de carga da bateria [24].

Entendem-se por descargas indesejáveis, situações em que as baterias estejam a fornecer energia quando não é necessário, provocando pequenos ciclos de carga e descarga. Se não existisse o regulador de carga entre o gerador fotovoltaico e as baterias, as baterias poderiam, erradamente, fornecer energia ao gerador fotovoltaico durante a noite, enquanto o gerador não está a produzir. Neste caso, o regulador impede que a energia das baterias flua em sentido inverso, garantido o seu funcionamento correto [26].

Após atingida a carga total da bateria, se esta continua a carregar, ocorre um aumento brusco de tensão e se o fornecimento de energia à bateria não é interrompido, ocorre o fenómeno de sobrecarga, prejudicando a vida útil da bateria [24].

Quanto ao modo de funcionamento, os reguladores de carga controlam a carga da bateria analisando a sua tensão, interrompendo o fornecimento de energia às cargas quando é atingido o valor limite de profundidade de descarga (a profundidade de descarga é a percentagem de carga retirada da bateria numa determinada descarga). No caso do carregamento, o fornecimento de energia à bateria é interrompido quando é atingido o valor de carga máxima [27].

Assim, é o regulador que determina o processo de carga da bateria, de modo a que o sistema tenha a capacidade de satisfazer os consumos, garantindo o bom funcionamento e os ciclos de vida útil da bateria [27].

- **Baterias**

As baterias utilizam processos químicos para acumular energia elétrica sob a forma de energia química. No caso de sistemas isolados, sempre que a necessidade de energia elétrica não está limitada ao período de exposição solar, usam-se baterias como meio de acumulação de energia para suprir essas necessidades e por isso, são muito importantes nos sistemas fotovoltaicos. As baterias de ácido-chumbo são as mais utilizadas nos sistemas fotovoltaicos [28].

Tal deve-se ao seu baixo custo em termos de armazenamento de energia. Para soluções estáticas o seu peso não é um fator limitativo.

Para além das baterias de ácido-chumbo, existem outros tipos de baterias, constituídas por diferentes materiais como: baterias de níquel-cádmio, baterias de hidretos metálicos de níquel, baterias de iões de lítio, baterias de polímeros de lítio e baterias de ar-zinco.

As baterias são escolhidas e projetadas consoante as condições de funcionamento, pelo que alterações a este nível podem influenciar o comportamento das mesmas e condicionar o seu tempo de vida. As principais condicionantes do funcionamento das baterias são:

- Temperatura;

A temperatura pode ser considerada um fator de grande importância relativamente à influência no comportamento das baterias. Devido à possibilidade das baterias serem instaladas em países onde as temperaturas são muito diferentes, os fabricantes normalmente especificam uma gama de temperaturas onde garantem as características de funcionamento das baterias. Alterações significativas da temperatura podem causar alterações permanentes no funcionamento e reduzir a vida útil das mesmas [25].

- Envelhecimento

O envelhecimento das baterias normalmente traduz-se pela perda de capacidade disponível para extração e resulta de fatores como a decomposição do eletrólito e dissolução do material ativo. Isto resulta num aumento da resistência interna da célula, podendo chegar à falha total da bateria, impossibilitando o bom funcionamento dos equipamentos dependentes [25].

- Extremos de carga

Quando o limite máximo de tensão de uma bateria é ultrapassado, diz-se que a bateria fica em estado de sobrecarga. Este estado acaba por causar danos à bateria por se continuar a fornecer energia, provocando a quebra de componentes que não podem voltar a ser recombinados. Na situação contrária, isto é, quando existe uma descarga excessiva levando a que a tensão aos terminais da bateria desça abaixo do limite estipulado pelo fabricante, também são causados danos, acelerando significativamente o envelhecimento da bateria. Assim, qualquer um dos extremos é prejudicial [25].

- Profundidade de descarga

A profundidade de descarga é traduzida pela percentagem de capacidade retirada à bateria, relativamente à capacidade estipulada. Quando ocorrem profundidades de descarga elevadas e de forma frequente, o tempo de vida útil da bateria diminui significativamente. Pelo contrário, quando as profundidades de descarga e, conseqüentemente, de carga são apenas parciais, a redução do número de ciclos de vida é menor [25].

## Capítulo 3

### 3. Sistemas de Iluminação: LED

#### 3.1. Tecnologias de iluminação comercializadas

As fontes de luz que são atualmente comercializadas (as lâmpadas incandescentes já sofreram uma ordem de *phase out* na UE (MEMO/09/368, Comissão Europeia) são agrupadas em função da tecnologia utilizada para a geração de luz da seguinte forma [29]:

**Lâmpada incandescente:** É um dispositivo capaz de transformar a energia elétrica em luminosidade e calor. No seu interior, existe um pequeno filamento de tungsténio. Quando uma corrente elétrica passa por ele, os átomos são aquecidos e a energia é transformada em luz [30].

Os valores dos rendimentos luminosos obtidos pelas lâmpadas de incandescência variam aproximadamente entre os 9 a 20 lm/W [31].

Na figura 12 é possível observar a composição de uma lâmpada incandescente comum.



Figura 12 - Composição de uma lâmpada incandescente [31]

**Lâmpada de descarga (CFL):** Este tipo de lâmpada possui um par de elétrodos em cada um dos seus extremos. O seu tubo de vidro é coberto com um material elaborado com fósforo, que é excitado com radiação ultravioleta gerada pela ionização dos gases, produzindo a luz. Além de serem revestidas de fósforo, as lâmpadas possuem elétrodos em forma de filamentos nas suas extremidades, cuja função é aquecer o seu interior e reduzir a tensão elétrica necessária para a ionização. A intensidade de corrente elétrica que passa através dos gases emite grande quantidade de radiação ultravioleta no comprimento de onda de emissão do vapor de mercúrio.

Essa é convertida em luz visível pela camada de fósforo, sendo que a tonalidade da luz pode variar [30]. Na figura 13 é possível observar a composição de uma lâmpada de descarga.

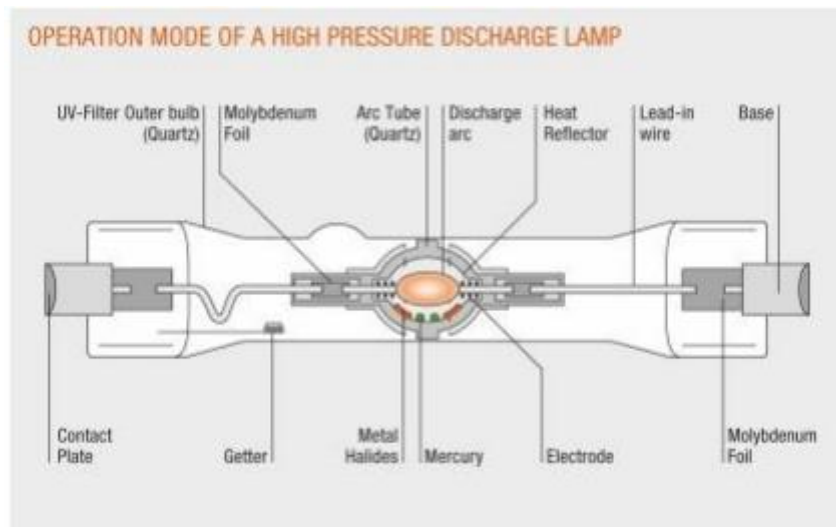


Figura 13 - Composição de uma lâmpada de descarga [29]

**Lâmpada eletroluminescente (SSL):** Outra forma de luminescência é a eletroluminescência, um fenômeno ótico e elétrico durante o qual um determinado material emite luz pela passagem de corrente elétrica ou forte campo elétrico [32]. Na figura 14 está representada a composição de um LED.

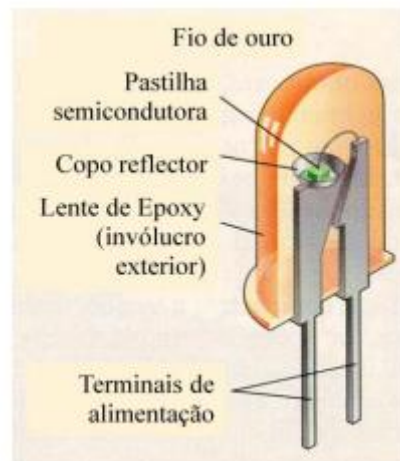


Figura 14 - Composição de um LED [33]

O nome em inglês “*Solid State Lighting*” advém do facto do feixe luminoso ser efetuado por um objeto sólido, ao invés de um gás, como acontecia nas tecnologias anteriores. Para funcionar, são necessárias corrente elétrica e um material que quando exposto à tensão aplicada, emita luz [29].

As características das lâmpadas LED são bastante atrativas aos consumidores: têm um consumo reduzido (consomem pouca energia), tem um tempo de vida útil muito maior do que as restantes lâmpadas, e não emitem radiações ultravioletas, ou seja, não produzem calor [33].

As lâmpadas incandescentes têm, pela maneira como são produzidas e pelos seus componentes, um período útil de vida muito curto. Isto implica trocas frequentes de equipamentos que não são fáceis de reciclar, acabando muitas vezes nos aterros. São também extremamente ineficientes, o que traduz num gasto de energia muito elevado. As lâmpadas Fluorescentes ou CFL contêm nelas gases tóxicos, normalmente de mercúrio, e também pó de fósforo, que são componentes muito perigosos para o ambiente e para o ser humano [29].

### 3.2. Funcionamento e composição dos LED

O LED que vem do inglês *light emitting diode* é um dispositivo semicondutor de dimensões reduzidas [34].

Caracteriza-se por ser fisicamente robusto, ser estável e apresenta uma boa relação entre fluxo luminoso e potência elétrica consumida, a qual ascende a valores acima de 100 lm/W. Sendo um dispositivo monocromático, o comprimento de onda associado à sua cor está relacionado com o tipo de material usado na sua construção [34].

A composição AlGaInP é utilizada para fabricar LED de cor vermelha, amarela e alguns tons de verde. Por sua vez, o AlInGaN permite fabricar LED entre o azul e os restantes tons de verde [35].

A aplicação de uma tensão direta numa estrutura semicondutora P-N promove a recombinação entre portadores de carga negativa e as lacunas em redor da junção, estreitando significativamente a zona de depleção [36].

Uma junção P-N é formada pela união de dois semicondutores, um tipo P (lado positivo) e outro N (lado negativo).

Esta recombinação consiste, na realidade, na passagem de eletrões da banda de condução para a banda de valência e com isto é libertada energia na forma de fótons de luz, como pode-se observar na figura 15.

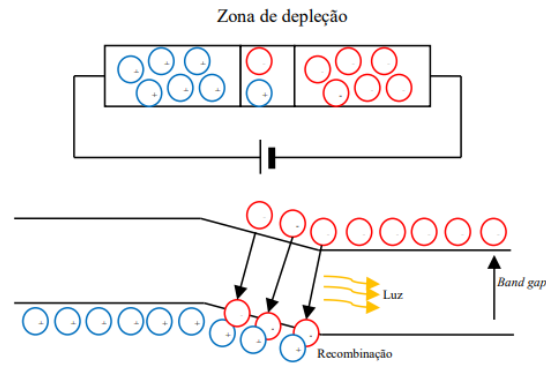


Figura 15 - Aplicação de tensão direta, em cima. Recombinação elétron-lacuna, em baixo [35]

A quantidade de energia libertada determina a cor e a intensidade de luz, dependendo do tipo de material constituinte da junção e do potencial de *band gap*. O *band gap* representa a diferença de energia entre duas bandas (valência e condução), sendo dada habitualmente em eV (electronvolt). A energia do fóton libertado é dada pela expressão (1) [35]:

$$E = hf \text{ [eV]} \quad (1)$$

onde  $h$  é a constante de *Planck* e  $f$  a frequência em hertz. A energia do fóton libertado é proporcional à sua frequência [36]. O diagrama de radiação da luz a partir de um semiconductor é determinado pelo cone de escape que é colocado junto à zona de transição ar-semiconductor. Para isso tem-se em consideração os ângulos de reflexão internos, sendo que todos os fótons emitidos num ângulo menor que o ângulo de reflexão interna crítica ( $\alpha_c$ ), são encaminhados. A figura 16 ilustra um exemplo deste processo [35]:

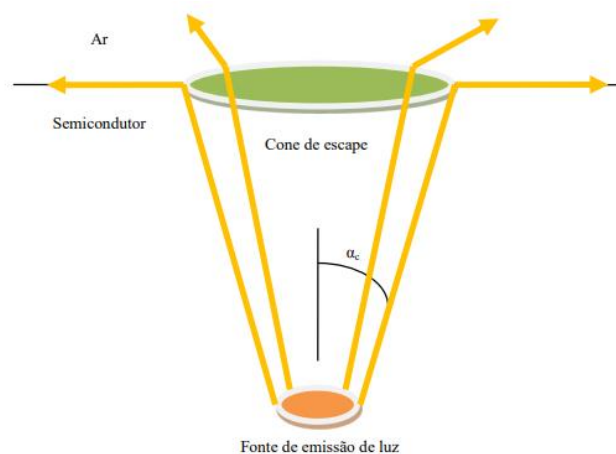


Figura 16 - Cone de escape de luz emitida [35]

Os índices de refração dos semicondutores atingem valores elevados, o que se reflete em ângulos de reflexão interna críticos pequenos. Como exemplo, o índice de refração do arseneto de gálio (*GaAs*) é de 3,4 [36].

A emissão de luz pode ser otimizada através do uso de encapsulamentos de *epoxy*, visto possuir um grande índice de refração [36].

Assim, o semiconductor fica em contacto com a *epoxy* e não com o ar. O uso deste tipo de encapsulamento permite também que o ângulo de saída do fluxo luminoso seja ajustado [36].

### 3.2.1. Características elétricas do LED

As características elétricas de um LED são semelhantes às de um diodo normal. É um componente não linear dado a relação tensão-corrente que o caracteriza [37].

A figura 17 ilustra uma característica generalista deste tipo de dispositivo semiconductor.

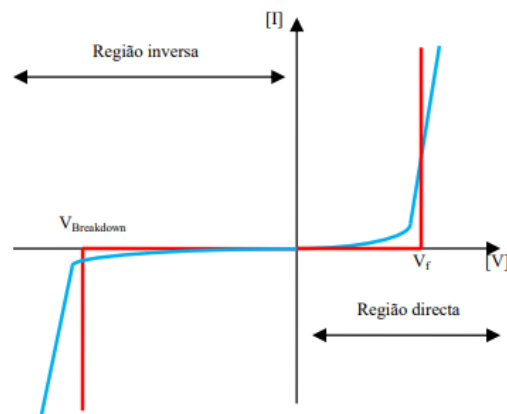


Figura 17 - Curva característica de um LED [35]

O funcionamento ideal de um LED baseia-se num modelo linear por troços [37]. O circuito da figura 18 mostra o circuito equivalente deste modelo:



Figura 18 - Circuito equivalente de um diodo ideal [35]

A característica real é do tipo exponencial, pelo que a expressão que permite calcular a corrente é dada pela expressão (2) [35]:

$$I_D \approx I_{ss} \times e^{\frac{V_d}{n \times V_T}} \quad (2)$$

onde  $I_D$  é a corrente do diodo,  $I_{ss}$  é a corrente inversa de saturação,  $V_d$  é a tensão aos terminais do diodo e  $V_T$  é a tensão térmica. Um deles é a resistência incremental que pode ser calculada pela equação (3) [37]:

$$r_D = \frac{n \times V_T}{I_D} \quad (3)$$

Outro elemento parasita é a sua capacidade. Esta capacidade pode ser dividida em duas, capacidade de difusão e a capacidade de depleção [37]. Com isto o circuito equivalente de um diodo real será o da figura 19.

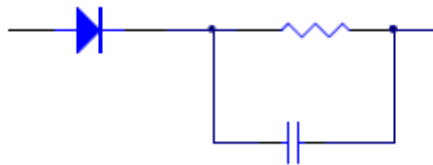


Figura 19 - Circuito equivalente de um diodo real [35]

Devido à variação de tensão relativamente à corrente como visto no ponto anterior, a forma ideal de fornecer energia a um LED é provocar uma corrente constante aos seus terminais.

Uma outra forma de fornecer energia a um LED, é aplicar um sinal de PWM (*Pulse Width Modulation*). Com a variação do *duty cycle* do PWM conseguimos regular a corrente média fornecida ao LED. Esta é uma forma muito usada na iluminação para fazer o *dimming*, que é o controlo de brilho de um LED [35].

### 3.2.2. Características térmicas do LED

O aumento excessivo da temperatura da junção do LED provoca variações no fluxo luminoso e diminui a duração da vida útil do dispositivo, razão pela qual é utilizado dissipadores apropriados. A temperatura de funcionamento de um LED poderá ser calculada a partir da expressão (4) [35]:

$$T_j = T_{ps} + (R_{th} \times V_f \times I_f) \quad (4)$$

onde  $T_j$  é a temperatura da junção [°C],  $T_{ps}$  é a temperatura no ponto de solda do LED,  $R_{th}$  é a resistência térmica entre a junção e o ponto de solda do LED,  $V_f$  é a tensão direta do LED e  $I_f$  é corrente que o atravessa.

### 3.2.3. Emissão de luz de cor branca utilizando o LED

Existem várias formas de gerar luz branca usando LED, nomeadamente:

- Por combinação de três cores.

Uma forma de gerar luz branca consiste na utilização de três LED distintos associados a cores primárias, designadamente o azul (440 nm), o verde (525 nm) e o vermelho (605 nm), conforme se ilustra na figura 20 [35]:

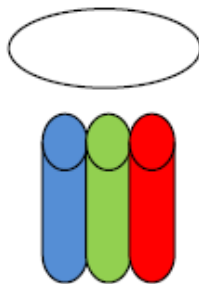


Figura 20 - Luz branca a partir de três cores primárias [35]

Esta estrutura permite atingir níveis de CRI elevados apesar de apresentar elevada sensibilidade à temperatura. Esta sensibilidade condiciona o fluxo luminoso podendo, por isso, originar desvios na temperatura de cor [36].

Uma forma alternativa de obter a cor branca baseia-se na conversão do comprimento de onda emitido pelo LED com cor base. A conversão é obtida pela ação de fósforo de modo a obter fótons com um segundo comprimento de onda apropriado para que, quando misturados com os gerados pela base, formem luz branca. A figura 21 mostra como isso pode ser atingido [35]:

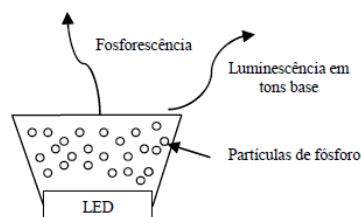


Figura 21 - Conversão do comprimento de onda [35]

O LED base poderá ser de cor azul (GaNN/GaN). A figura 22 apresenta a densidade espectral de potência óptica da luz emitida por um LED azul ao qual foi aplicado um conversor de comprimento de onda para o amarelo, como por exemplo fósforo [35].

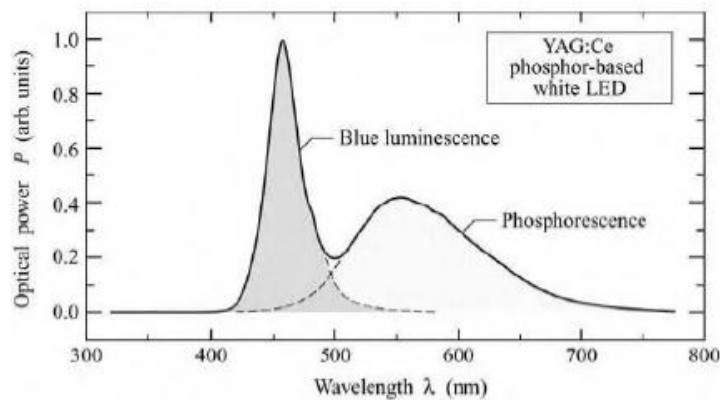


Figura 22 - Comprimento de onda resultante da conversão com base em LED azul [36]

A diversidade da temperatura de cor bem como de CRI é obtida através do ajuste da densidade do fósforo. Este tipo de conversão é a mais usada nos LED disponíveis no mercado, dado o seu elevado desempenho [35].

### 3.3. Os LED no âmbito da Política de Combate às Alterações Climáticas

Como é afirmado pelo Painel das Nações Unidas Para as Alterações Climáticas, “a influência humana no sistema climático é clara e as emissões recentes de gases com efeito de estufa estão no seu valor histórico mais alto” [38].

Isto significa que se está a verificar, nos dias que correm, uma alteração dos padrões climáticos com raiz nas emissões antropogénicas de CO<sub>2</sub>.

Em dezembro de 2019 foi estabelecido o Pacto Ecológico Europeu para a União Europeia (UE) e os seus cidadãos. Este pacto redefine o compromisso da Comissão de enfrentar os desafios climáticos e ambientais, tarefa determinante desta geração [39].

O Pacto Ecológico Europeu é uma resposta a estes desafios. Trata-se de uma nova estratégia de crescimento que visa transformar a UE numa sociedade equitativa e próspera, dotada de uma economia moderna, eficiente na utilização dos recursos e competitiva, que, em 2050, tenha zero emissões líquidas de gases com efeito de estufa e em que o crescimento económico esteja dissociado da utilização dos recursos [39].

Em junho de 2021 é divulgado o Regulamento (UE) 2021/1119 do Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia, que cria o regime para alcançar a neutralidade climática, reduzir

as emissões de gases com efeito de estufa e aumentar as remoções até 2030 de modo a reduzir internamente as emissões líquidas de gases com efeito de estufa, ou seja, as emissões após dedução das remoções, em toda a economia em, pelo menos, 55% até 2030, em comparação com os níveis de 1990 [40].

Juntamente com os seus Estados-Membros, a UE é o maior contribuinte a nível mundial em termos de financiamento da luta contra as alterações climáticas. Os fundos apoiam projetos e ações no domínio do clima nos países em desenvolvimento para facilitar a sua transição ecológica e combater os efeitos adversos das alterações climáticas [41].

Como forma de poupar energia, os LED apresentam-se como uma grande evolução nos sistemas de iluminação. Os seus baixos consumos quando comparados com tecnologias alternativas, que são menos eficientes que esta, permitem-lhe destacar-se no leque de alternativas numa altura em que a eficiência energética é tão importante. Mas não é só com a poupança de energia elétrica que os LED se destacam. É importante realçar a diminuição das externalidades provocadas pelo consumo de energia destinado à iluminação [29].

Segundo a EPA, a Agência de Proteção do Ambiente (do inglês *Environment Protection Agency*) dos Estados Unidos, um kWh de energia consumida corresponde ao equivalente a 0,70 kg de CO<sub>2</sub> emitido para a atmosfera [42].

As alternativas ao LED têm um consumo energético por lúmen superior àquele apresentado pelo LED, existindo assim uma grande poupança no que às emissões diz respeito [29].

Com a implementação do mercado de licenças de emissão, foi imposto aos países industrializados limites à quantidade de CO<sub>2</sub> passível de ser emitida. Quando o limite é ultrapassado, existem alternativas a que os países ou entidades privadas podem recorrer, sendo elas a compra de mais créditos de carbono ou a implementação de medidas de desenvolvimento limpo (CDM, do inglês *Clean Development Mechanism*) [29].

Estas medidas permitem às entidades proponentes receber CERs (créditos de redução de emissões) à razão de 1:1. Mais uma vez os LED assumem uma posição relevante, uma vez que várias destas medidas estão a ser implementadas em África e na Índia como substitutos das formas de iluminação tradicionalmente usadas nessas regiões [29].

Dependendo do local onde são implementados, estas tecnologias LED vêm substituir fontes de iluminação que provinham da queima de combustíveis fósseis como carvão ou *fuel oil*, que para além da produção de gases de efeito de estufa durante a sua queima, prejudicam fortemente a saúde humana devido ao impacte da poluição produzida [29].

## Capítulo 4

### 4. Operações que promovem o desempenho ambiental de edifícios

#### 4.1. Utilização de energias renováveis

As energias renováveis ganham cada vez mais maior abrangência e começam, paulatinamente, a dar cartas em território nacional. Seja a energia solar, eólica ou a das marés, a verdade é que Portugal é um país repleto de bons exemplos na utilização destas tecnologias [43].

A utilização de energias renováveis enquadra-se no leque de operações que promovem o desempenho ambiental de edifícios através da instalação de sistemas que trazem benefícios energéticos e financeiros, nomeadamente:

- **Instalação de sistemas de energia renovável para climatização e produção de água quente sanitária**

Um sistema solar térmico para preparação de água quente sanitária permite reduzir significativamente a fatura de energia, dado que um sistema corretamente dimensionado pode suprir perto de 70% das necessidades de energia. A opção de sistemas solares térmicos pode igualmente ser uma opção amiga do ambiente para responder às necessidades de aquecimento ambiente, sendo que as necessidades de aquecimento ambiente não se fazem sentir todo o ano, apenas 5 a 6 meses pelo que em termos económicos o período de retorno do investimento é muito superior ao da solução para aquecimento de água sanitária [44].

- **Instalação de sistemas de produção de energia renovável para autoconsumo**

A opção por um sistema fotovoltaico como instalação de autoconsumo permite reduzir a eletricidade adquirida à rede elétrica nacional, reduzindo assim a fatura do comercializador, na medida em que parte das necessidades são produzidas pela instalação local. De notar que por si só o sistema fotovoltaico não reduz o consumo de eletricidade, nem é uma medida de eficiência energética, pode sim despoletar uma consciência do lado do produtor que o alerta para consumos desnecessários e o impelem a reduzir as suas necessidades [44].

#### 4.2. Medidas de eficiência energética

Existe igualmente um conjunto de intervenções nos edifícios que proporcionam o aumento da eficiência energética, nas quais se inclui:

- **Intervenções na envolvente opaca dos edifícios, exterior ou interior, com o objetivo de reforçar o isolamento térmico.**

A envolvente opaca dos edifícios (paredes, coberturas e pavimentos) é responsável por uma percentagem significativa das trocas de calor por condução entre o ambiente interior e o ambiente exterior. Quando se pretende atingir níveis elevados de conforto térmico e eficiência energética reveste-se de especial importância a garantia de uma elevada resistência térmica da envolvente opaca [45].

Chama-se isolante térmico a um material ou estrutura que dificulta a dissipação de calor. Estabelece uma barreira à passagem do calor entre os dois meios que, naturalmente, tenderiam rapidamente a igualarem as suas temperaturas [46].

Existem vários tipos de isolamento térmico como por exemplo o aglomerado de cortiça expandida, polistireno extrudido, polistereno moldado, lã mineral, etc. O desempenho destes materiais é avaliado através da condutibilidade térmica do material utilizado, quanto menor for esse valor, melhor. Os isolamentos térmicos podem ser aplicados em paredes, coberturas, pavimentos, caixas de estores, etc. [44].

As envolventes sem isolamento térmico são responsáveis por elevadas perdas (ou ganhos) de calor e podem conduzir ao desenvolvimento de focos de condensação, fungos e bolores [44].

A solução mais comum no período de construção entre 1960 e 1990 era a parede de alvenaria de tijolo sem isolamento térmico, ou seja, se a data de construção do edifício é anterior a 1990, provavelmente não tem isolamento térmico. A indicação atual para maior eficiência energética seria a aplicação do isolamento tanto no interior como no exterior, colocado na caixa de ar entre os dois panos de alvenaria. Com a aplicação de isolamento térmico nas coberturas é possível reduzir em 30% as perdas térmicas, melhorando o conforto térmico.

Relativamente ao isolamento térmico nas coberturas este pode ser aplicado na laje de esteira (diretamente sobre a laje), aplicado nas vertentes (na vertente inclinada) ou no caso de coberturas horizontais aplicado sobre a laje e após a impermeabilização [44].

A instalação de coberturas e fachadas verdes também permite melhorar as características térmicas de um edifício assim como aumentar a humidade, melhorar a qualidade do ar e também servir de barreira sonora para os ruídos citadinos.

A desvantagem da instalação de coberturas e fachadas verdes é que este investimento obriga a necessidade de manutenção regular, o que pode ser financeiramente menos vantajoso.

- **Intervenções na envolvente envidraçada dos edifícios e respetivos dispositivos de sombreamento.**

A intervenção na envolvente envidraçada prevê as seguintes tipologias [44]:

- Substituição de janelas por outras mais eficientes do ponto de vista energético, com classe energética igual ou superior a “B”, de acordo com o Sistema de Etiquetagem Energética de Produtos CLASSE+;
- Reparação de janelas existentes, com recuperação das caixilharias e vidros;
- Instalação de proteções solares e dispositivo de sombreamento que minimizem a incidência de radiação solar nos vãos envidraçados.

Até ao final de 2016 o cenário relativo à eficiência energética dos edifícios portugueses, no que respeita ao contributo das janelas, era preocupante. Apenas 6 a 7% dos edifícios portugueses tinham vidros duplos e isolantes, enquanto que 19 a 23% tinha vidros duplos e 72 a 75% tinham vidros simples, constituindo janelas de fraca qualidade, maioritariamente com classe F (a mais baixa) [47].

As janelas pouco eficientes podem favorecer a condensação nos vidros e perfis, situação visível quando ocorrem diferenças de temperatura significativas entre o interior e o exterior [47].

Em janelas com forte exposição solar, principalmente orientadas a Sul é recomendada a adoção de medidas de controlo da radiação solar, proteções solares ou dispositivos de sombreamento, de forma a minimizar o efeito do sobreaquecimento no edifício [44].

As proteções solares têm como principal objetivo controlar a entrada do calor do sol (radiação solar) e da luz na habitação. No inverno é importante que estas proteções possam ser abertas para maximizar a entrada de ganhos solares, melhorando assim o conforto. E no verão as proteções solares deverão permitir o controlo sobre a entrada excessiva da energia solar, evitando o sobreaquecimento dos espaços [48].

As proteções solares mais utilizadas em Portugal são as persianas ou estores, sendo que as portadas também são vulgarmente utilizadas. Os ganhos de calor pelos vãos envidraçados correspondem a 35% dos ganhos de calor numa habitação. As proteções solares exteriores mais eficazes evitam os ganhos de calor até 96%, enquanto os interiores apenas 62%. A existência de proteções solares pode reduzir a temperatura interior entre 1º C e 10º C [44].

A componente ultravioleta da radiação solar degrada os materiais de construção, pelo que se arranjar soluções qualificadas e duráveis. Se as proteções solares criarem um espaço de ar com o envidraçado, o isolamento térmico é melhorado [44].

- **Intervenções nos sistemas de iluminação interior ou exterior**

O consumo de energia em iluminação representa um valor de cerca de 14% da eletricidade consumida nos edifícios e por esse motivo é uma intervenção que pode trazer benefícios de poupança de energia. É também uma das medidas mais fáceis de realizar e que permite uma verificação simples da redução de consumo [44].

A intervenção nos sistemas de iluminação interior ou exterior podem englobar a instalação de lâmpadas LED, luminárias/projetores, balastros de alto rendimento, detetores de movimento nas zonas comuns, sistemas de aproveitamento de iluminação natural e a instalação de sistemas de controlo [44].

A lâmpada LED destaca-se pela positiva entre as várias opções disponíveis no mercado. Apesar de ser mais cara, o investimento vale a pena uma vez que permite poupar até 80% da energia consumida, a durabilidade é muito superior bem como a poupança [49].

Uma forma de melhorar a eficiência global da iluminação passa também pela troca do balastro convencional por um balastro de alto rendimento (balastro eletrónico). O balastro eletrónico consiste num retificador e um modelador de alta-frequência, à volta de 30 kHz, com as principais vantagens a seguir descritas [50]:

- Perdas reduzidas (a operação de substituição de balastros magnéticos por estes de alto rendimento tem um potencial de economia de energia de até 25%);
- As lâmpadas fluorescentes quando associadas aos balastros eletrónicos produzem mais 20%;
- Impõem arranques suaves das lâmpadas, o que permite que estas tenham um período de vida útil maior e com custos de manutenção mais reduzidos;
- Não existe a necessidade de arrancadores;
- Podem operar duas vezes mais lâmpadas que o balastro convencional;
- Apresentam um controlo mais preciso em termos da potência da lâmpada e corrente;
- A tremulação dos balastros magnéticos corresponde à frequência de 50 ciclos/segundo, nos eletrónicos é cerca de 40 000 ciclos/segundo, não sendo assim visível;
- São mais leves, eliminam ruídos e reduzem o consumo de energia.

Em contrapartida os balastros eletrónicos são mais caros que os seus congéneres, apesar dos preços terem vindo a decrescer [50].

Nos edifícios residenciais a iluminação nas zonas comuns, que inclui hall de entrada e escadas e patamares de piso, existem soluções pouco eficientes que consistem em interruptores com um temporizador para ligar e desligar a iluminação. Estes sistemas de funcionamento dependem do tempo definido do temporizador que pode ser em demasiado longo ou demasiado curto, o que

provoca um aumento do consumo de energia da iluminação. Uma solução que permite reduzir o consumo energético passa pela colocação de detetores de movimento e presença nos vários espaços para o controlo da iluminação [44].

Os detetores de movimento e presença são uma importante ferramenta para redução do consumo de eletricidade, já que podem controlar os interruptores a fim de iluminar os compartimentos somente quando detetam movimento ou presença de alguma pessoa; ao mesmo tempo podem apagar as luzes automaticamente quando detetarem que não há atividade ou movimento no ambiente em que estiverem instalados. Entretanto se forem instalados produtos não adequados, ou de baixa qualidade, pode gerar desligamentos e acendimentos não desejados, diminuindo a vida útil das lâmpadas, provocando falta de controle e aumentando o consumo de energia [51]. Os sistemas de integração do controlo permitem reduzir o consumo de energia até 70% [50].

O posicionamento das janelas e claraboias também tem uma grande importância na eficiência energética já que influenciam na quantidade e qualidade da luz natural. Como regra, quanto maior for a altura a que se encontram as janelas e claraboias mais quantidade de luz é recebida. Para além disso, quanto mais luz natural e raios de sol entrarem, menos necessidades de iluminação artificial é utilizada durante o dia [44].

- **Intervenções nos sistemas de elevação, nas quais se inclui a instalação e ou otimização dos sistemas de controlo, de iluminação e de tração.**

Trata-se da intervenção nos sistemas de elevação, nas quais se inclui a instalação e ou otimização dos sistemas de controlo, de iluminação e de tração como por exemplo a substituição do ascensor, remodelação do sistema de controlo e gestão do ascensor [44].

O melhoramento dos ascensores é benéfico quer em termos de segurança, mas também de redução de consumo de energia porque ambas as tecnologias dos ascensores, tração elétrica ou hidráulica, necessitam de consumir energia elétrica para o seu funcionamento e tem vários sistemas responsáveis pelo consumo de energia [44]:

- Sistemas de acionamento;
- Iluminação da cabina;
- Sistemas de controlo e dispositivos de segurança;
- Painéis, visualizadores e botoneiras;
- Portas;
- Ventilação.

A substituição total ou de determinados componentes do ascensor por alternativas mais recentes pode melhorar significativamente a poupança de energia [44].

- **Intervenção nas condições de ventilação**

A ventilação num edifício é muito importante porque garante a qualidade do ar e a salubridade do local. São várias as fontes de poluição do ar interior, desde o equipamento mal conservado, atividades humanas, tais como produtos de bricolage, casas de banho e cosméticos, humidades, velas, preparação de comida, fumo do tabaco, existência de plantas e animais [52].

Apesar de renovar o ar interior ser importante, uma renovação de ar em excesso provoca elevadas perdas térmicas, obrigando a recorrer a aparelhos de climatização para manter a temperatura interior. O objetivo desta medida é promover a eficiência energética dos sistemas de ventilação, melhorando os existentes ou instalando novos sistemas [44].

A intervenção nas condições de ventilação como medida de eficiência energética inclui todas as tipologias de intervenção que contribuem para a melhoria das condições de ventilação natural como por exemplo a instalação de grelhas de ventilação autorregulável e a melhoria das condições de ventilação mecânica (através da instalação de ventiladores eficientes, instalação de variadores de velocidade em motores, instalação de ventilação com recuperação de calor e substituição e isolamento de condutas de ventilação). [44].

- **Instalação de sistemas de gestão de consumos de energia**

Inclui a instalação de sistemas de controlo e gestão de consumos de energia que avaliem o consumo de energia em tempo real e identifiquem eventuais problemas no edifício, permitindo assim efetuar ações corretivas e alterar a forma de utilização de alguns dos equipamentos e soluções construtivas, por exemplo, se a temperatura no interior de uma divisão estiver inferior à temperatura de referência o sistema de aquecimento será ligado. A domótica é a instalação de comandos digitais que permitem controlar os vários recursos de um edifício e estabelecer padrões de utilização que podem ser controlados remotamente [44].

A instalação de um sistema de gestão de consumos de energia dá aos proprietários uma ferramenta importante para analisar a respetiva fatura, verificar quais os equipamentos mais consumidores, verificar o consumo de energia em tempo real, confirmar a produção de energia renovável, entre outros [52].

A instalação destes sistemas pode ser efetuada em qualquer habitação residencial e o controlo dos consumos de energia pode ser efetuada apenas em alguns equipamentos ou com maior

detalhe em todas as zonas, iluminação, tomadas de eletricidade, janelas, proteções solares, equipamentos de AQS e climatização, portas, entre outros [52].

- **Intervenções nas redes prediais de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais e pluviais que visem a eficiência energética quando aplicável.**

As tipologias de intervenção nesta medida consistem na promoção da eficiência energética nas redes prediais de abastecimento de água e nas redes de drenagem de águas residuais e pluviais, como por exemplo a substituição de bombas por outras mais eficientes do ponto de vista energético, o isolamento de tubagens e instalação de dispositivos de recuperação de calor [44].

No caso das bombas estima-se que possam economizar até 60% de energia com a instalação de um conversor de frequência, pois grande parte dos motores funciona continuamente na sua velocidade máxima independentemente das necessidades reais, pelo que se estima que apenas necessitem de funcionar nessa velocidade em 5% do tempo. Redes de distribuição de água quente mal isoladas também são responsáveis por elevadas perdas térmicas. Os dispositivos de recuperação de calor são essencialmente utilizados para pré aquecer a água utilizada para banhos, reduzindo assim o consumo de energia necessária para aquecer a água [44].

## Capítulo 5

### 5. Caso de Estudo

#### 5.1. Apresentação da empresa

A João Jacinto Tomé SA (JJTOMÉ) é a filial portuguesa da EIFFAGE ÉNERGIE SYSTÈMES, empresa do Grupo EIFFAGE especializada na realização e gestão de projetos “chave na mão” no domínio da energia, incluindo instalações elétricas e mecânicas (AVAC e outros fluídos), bem como em manutenção multitécnica. Nestes domínios, a JJTOMÉ dispõe de uma ampla gama de soluções sendo capaz de oferecer um serviço global que abrange todas as fases de um projeto, desde a conceção até a manutenção, de acordo com as necessidades do cliente [53]. Na figura 23 pode-se observar o logótipo da empresa.



Figura 23 - Logótipo da empresa

##### 5.1.1. Missão, Visão e Valores

A empresa tem como missão gerar valor, produzindo serviços globais de engenharia em instalações técnicas especiais, promovendo a sustentabilidade social, ambiental e a segurança dos seus colaboradores. Para além da responsabilidade social, ambiental e a segurança dos seus colaboradores, esta empresa também tem como valores a ambição, audácia, o rigor, a ética, a exemplaridade, a inovação e melhoria contínua, e o espírito de equipa [53].

##### 5.1.2. Principais Áreas de Negócio

A empresa tem uma vasta linha de atividade que englobe instalações elétricas e sistemas em edifícios industriais e grandes edifícios públicos e particulares; infraestruturas de comunicações; infraestruturas elétricas em urbanizações; mobilidade elétrica (postos de carregamento de veículos elétricos); redes de distribuição subterrâneas e aéreas em baixa, média e alta tensão; montagem de subestações e de postos de transformação; montagem de parques fotovoltaicos; instalações de micro-geração (solar térmico, solar fotovoltaico e micro turbinas eólicas); instalações de ar condicionado, aquecimento e ventilação; e manutenção multitécnica [53].

A Eficiência Energética é uma área de atividade pluridisciplinar. A JJTOMÉ considera-se particularmente bem habilitada dado contar nas suas diversas áreas de negócio com a experiência e as competências técnicas que são relevantes para a sua abordagem. A empresa propõe soluções integradas, à medida, com ou sem financiamento incluído [53].

### 5.1.3. Apresentação do caso de estudo

Foi adjudicado a esta empresa em concurso público uma empreitada num edifício público de saúde para a implementação de um sistema fotovoltaico e iluminação Retrofit LED, no anexo A apresenta-se a descrição dos trabalhos da empreitada.

Este caso de estudo tem como objetivo demonstrar a evolução energética alcançada com a instalação do fotovoltaico e da tecnologia LED, e a avaliação da significância ambiental relativa à mudança efetuada, serão considerados no plano ambiental a sustentabilidade dos novos materiais e também os custos ambientais dos resíduos produzidos.

## 5.2. Localização do local da empreitada

O edifício público de saúde onde foi desenvolvido este caso de estudo é um organismo público integrado na administração indireta do Estado, sob a tutela do Ministério da Saúde, dotado de autonomia científica, técnica, administrativa, financeira e património próprio.

Esta instituição desenvolve uma tripla missão como laboratório de Estado no setor da saúde, laboratório nacional de referência e observatório nacional de saúde.

Esta instituição está organizada, em termos técnico-científicos, em seis grandes departamentos.

O complexo onde se insere pode ser dividido em cinco edifícios:

- **Zona de Serviços e Anfiteatro:** desenvolve-se em três alas (formando um corpo em U com o anfiteatro no meio) com dois pisos e destina-se essencialmente a serviços de apoio à instituição, como sejam os serviços administrativos, financeiros, académicos, culturais, atendimento ao público, refeitório, etc. Assim, os espaços são maioritariamente do tipo gabinetes, salas de reuniões, biblioteca, refeitório, bar, salas de colheita, zonas de circulação e instalações sanitárias. O Anfiteatro é um pequeno corpo de um piso e que se localiza no meio do corpo “U”, sendo o acesso efetuado por meio deste;

- **Laboratórios:** corpo constituído por 6 pisos, do Piso 1 ao Piso 6. Nos Pisos 1 a 5 funcionam maioritariamente laboratórios de investigação científica e o Piso 6 consiste numa galeria técnica.

Destacam-se na Torre de Laboratórios as duas salas de contenção de risco biológico, de nível P3, encontrando-se uma no Piso 4, dedicada à análise do vírus da tuberculose, e a outra no Piso 5 onde se procede a análises, maioritariamente, relacionadas com o vírus HIV;

- **DSA** (Departamento de Saúde Ambiental): composto na sua totalidade por 4 pisos, incluindo uma galeria técnica no último piso. O piso -1 destina-se a armazenamento de material e arquivos. Nos restantes pisos funcionam maioritariamente gabinetes e laboratórios de investigação técnico-científica, desenvolvimento e análise, complementados por instalações sanitárias, zonas de circulação e biblioteca;

- **GH** (departamento de Genética Humana): está fisicamente junto ao Edifício do DSA e é em tudo semelhante a este no que diz respeito à conceção arquitetónica (4 pisos com galeria técnica no último piso) e espaços funcionais. No entanto, por razões históricas, uma vez que foram construídos em momentos diferentes são considerados separadamente;

- **LEMES**: trata-se de um corpo independente, com alimentação de energia elétrica própria, composto por três pisos (Piso 1 e Piso 2 e uma pequena cave), com espaços do tipo gabinetes, salas de formação e laboratório nos 2 pisos, encontrando-se as zonas técnicas na cave.

### 5.3. Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos

Esta instituição de saúde investiu nos últimos 4 anos mais de 2,3 milhões de euros na implementação de medidas de eficiência energética e energias renováveis aprovadas pela autoridade de gestão do Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos (PO SEUR) no seu edifício-sede em Lisboa. Este investimento permitiu a substituição do sistema de AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado), a substituição da iluminação interior e exterior por LED e a instalação de uma central fotovoltaica. Do investimento realizado 2,2 milhões de euros foram financiados por fundos comunitários, o que corresponde a uma taxa de cofinanciamento de 95%, sendo o restante valor assegurado pela própria instituição.

O sistema de AVAC e a iluminação deste instituto eram baseadas em soluções técnicas pouco eficientes, mais gastadoras e poluentes, representavam cerca de 40% do consumo energético do edifício-sede, um valor que será consideravelmente reduzido após a implementação deste projeto integrado de gestão e racionalização energética.

A intervenção realizada também permitiu reduzir a dependência da instituição face a energia proveniente de combustíveis fósseis, através da instalação de painéis fotovoltaicos para

produção de energia em autoconsumo, assim como outros benefícios indiretos tais como a poupança em manutenção, o conforto dos utilizadores e a segurança no abastecimento.

A empreitada 1 deste programa decorreu entre novembro de 2018 e janeiro de 2019 e dotou todos os edifícios de um Retrofit de LED interior. Nesta empreitada foi também executada uma unidade de produção para autoconsumo de energia elétrica, através da colocação de uma central de painéis fotovoltaicos com uma potência de 130Kw.

Em setembro de 2020 iniciou-se a realização da empreitada 2, que visava a substituição do AVAC dos edifícios dos Serviços Administrativos, Departamento de Saúde Ambiental, do Departamento de Genética Humana, do edifício Lemes e a Iluminação exterior em Retrofit LED, no polo de Lisboa.

A fase 3 decorrerá no ano de 2021 e visa a substituição do AVAC do edifício da Torre de Laboratórios. De acordo com a candidatura aprovada pela autoridade de gestão do Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos (PO SEUR), as medidas a implementar permitirão uma poupança energética anual de mais de 100 mil euros.

O PO SEUR é o Programa Nacional Temático dedicado ao Ambiente que pretende contribuir para a afirmação da Estratégia Europa 2020, especialmente na prioridade de crescimento sustentável, respondendo aos desafios de transição para uma economia de baixo carbono, assente numa utilização mais eficiente de recursos. Este programa estrutura-se em três eixos basilares: - apoiar a transição para uma economia com baixas emissões de carbono em todos os sectores; promover a adaptação às alterações climáticas e a prevenção e gestão de riscos; proteger o ambiente e promover a eficiência dos recursos.

#### 5.4. Implementação dos painéis solares fotovoltaicos

De modo a satisfazer as crescentes necessidades energéticas deste edifício público de saúde e também de forma a adotar esta vertente sustentável o projeto da instalação da central foi enquadrado nas seguintes premissas:

- A produção da Central foi injetada no barramento geral do Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT);
- Não contemplou a injeção na rede;
- Não interferiu na RESP ao nível das harmónicas;

- E o projeto contemplou que fosse garantido o deslastre da Central aquando da falta de tensão na RESP.

Em relação ao local de implementação da solução fotovoltaica para uma potência de pico de 130 kWp considerou-se uma distribuição por três zonas distintas numa das coberturas do edifício como representada na figura 24.

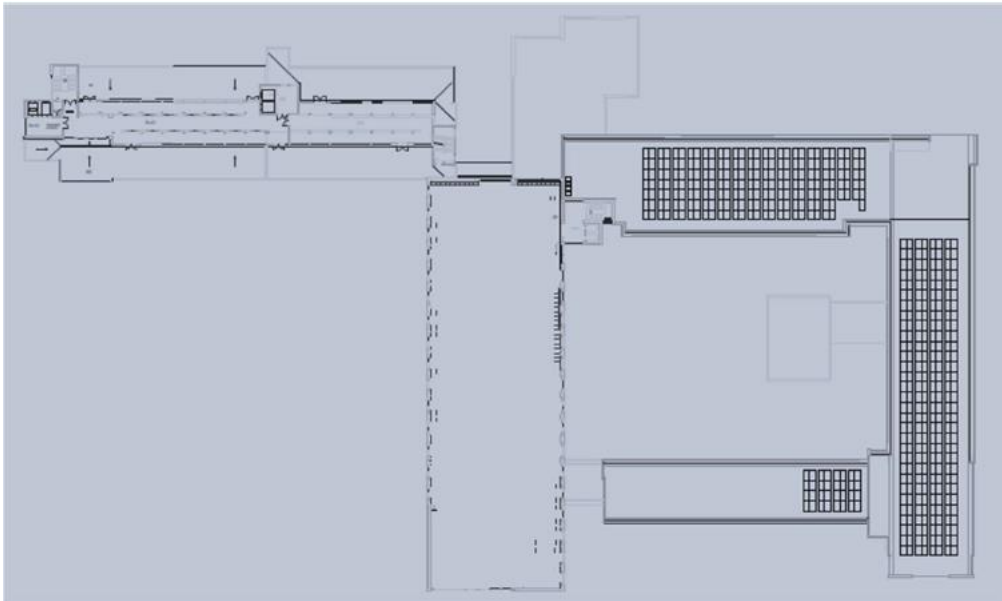


Figura 24 - Planta da distribuição dos painéis [Projeto de execução]

#### 5.4.1. Especificações técnicas dos principais equipamentos do sistema fotovoltaico

No anexo B está representado o esquema unifilar da central fotovoltaica instalada. Foram instaladas 482 unidades de módulos fotovoltaicos tipo *JinkoSolar – JKM270P* e obedeceram aos seguintes critérios de qualidade e características técnicas:

- Largura standard equivalente a módulos de 60 células: <1 000 mm;
- Comprimento standard equivalente a módulos de 60 células: <1 700 mm;
- Eficiência mínima do módulo (não da célula) em STC: >16%;
- Potência mínima Wp do módulo: 265 Wp;
- Tolerância de potência: > 0 (*positive sorting*);
- Massa do módulo: < 19 kg;
- Coeficiente de temperatura sobre potência PMPP: > - 0,40 %/°C;
- Tensão máxima a suportar em string: 1 000 V;

- Tensão nominal do módulo em circuito aberto: < 38 V;
- Normas IEC a cumprir: 61215; 61730;
- Normas ISO a cumprir: 9001 e 14001;
- Garantia contra defeitos de fabrico: Mínimo legal;
- Garantia de rendimento linear: Perdas <0,8% por ano, ao longo de 25 anos no mínimo.

Foram instalados inversores de 30 kW tipo *Huawei* – SUN2000 33KTL e que obedeciam aos seguintes critérios de qualidade e características técnicas:

- a) Eficiência segundo norma Europeia: > 97,5%;
- b) Potência máxima DC: > 30 kW;
- c) Tensão máxima DC: 1000V
- d) Gama de funcionamento MPPT: < 500 V a > 750 V;
- e) Corrente máxima por entrada MPPT: >= 20 A
- f) Número de entradas MPPT: >= 3
- g) Potência Nominal de saída AC: >= 30 kW;
- h) Número de fases de saída AC: 3;
- b) Nível de proteção IEC 60529: IP65;
- c) Interruptor de corte DC;
- d) Monitorização de terra e fuga de corrente;
- e) Proteção contra polaridade DC invertida;
- f) Proteção contra curto-circuitos AC;
- g) Descarregadores de sobretensão DC;
- h) Descarregadores de sobretensão AC.

#### 5.4.2. Resultado obtidos

Durante a execução da empreitada de acordo com as exigências do cliente foi fornecido, instalado, e configurado uma plataforma informática de monitorização e controlo de consumos energéticos em tempo real, baseado em plataforma WEB, em conformidade com as características técnicas definidas no caderno de encargos.

A plataforma permite consultar os consumos energéticos das instalações por tipologia de energia. As leituras começaram a ser realizadas ainda no ano 2019, logo no início do arranque do sistema. Na figura 25 pode-se observar a instalação na cobertura finalizada e já em funcionamento.



Figura 25 - Instalação fotovoltaica [Fonte própria, 2019]

- **Ano 2019**

O ano 2019 foi o ano do arranque do sistema, e a produção média mensal foi de 14 909,21 kWh, totalizando 178 910,50 kWh como está indicado na figura 26.

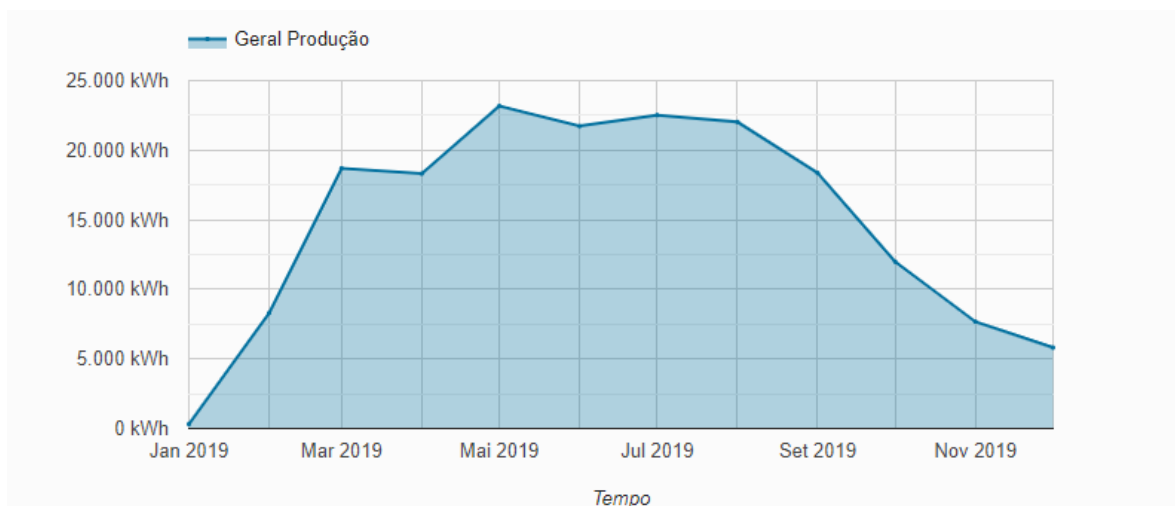


Figura 26 - Produção no ano 2019 [54]

Os meses mais ensolarados são os meses com maior produção (maio, junho, julho e agosto). Maio foi o mês com maior produção, aproximadamente 23 000 kWh produzidos.

A extensão do dia é uma condição significativa, visto que quanto mais tempo o sol fica exposto, mais alta é a produção de energia pelo sistema. O dia 21 de junho de 2019 foi o dia mais longo do ano, com a maior duração de luz solar: 14 horas, 53 minutos e sete segundos no território nacional.

A chuva apesar de colaborar bastante com a limpeza dos painéis solares é também responsável por afetar a produção de energia do sistema. Na verdade, não se trata especificamente da chuva, mas sim da nebulosidade, que causa a diminuição dos níveis de irradiação. E a consequência de menos irradiação é a queda na produção de energia [55].

Ainda de acordo com o IPMA, no ano de 2019 o valor médio de precipitação total anual foi de 755,6 mm, o que corresponde a cerca de 86% do valor normal. Valores de precipitação inferiores aos registados em 2019 ocorreram em cerca de 30% dos anos desde 1931.

Durante o ano de 2019, apenas 3 meses registaram valores superiores ao normal (abril, novembro e dezembro), nos restantes meses o valor médio da precipitação foi sempre inferior ao normal sendo de realçar os meses janeiro, fevereiro e maio com anomalias negativas muito significativas [56].

De acordo com o sistema de leitura os meses com menor produção solar foram dezembro, novembro e fevereiro (o mês de janeiro não possuiu leitura).

O sistema de leitura aponta que o consumo geral foi de 1 971 041 kWh, com uma média mensal de 164 253 kWh como pode-se observar na figura 27. Os meses com maior consumo foram fevereiro, novembro e dezembro. O mês de janeiro apresenta um valor atípico, com um consumo baixo, mas que é justificado pelo arranque do sistema que aconteceu precisamente durante este mês.

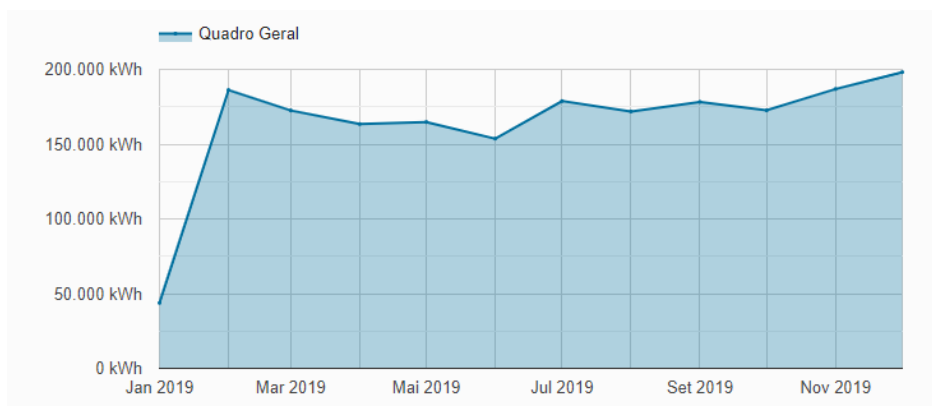


Figura 27 - Consumo geral no ano 2019 [54]

Estes meses possuem maior consumo porque com temperaturas mais baixas a tendência natural é que aumente a procura por equipamentos, como o ar-condicionado, aquecedores, etc. que garantem mais conforto durante o inverno.

Relativamente ao custo, em média o preço do kWh em 2021 é de 0,15252€/kWh (tendo em conta o preço do kWh de eletricidade na opção simples para uma potência contratada de 6,9 kVA). Este valor tem em conta as tarifas base de eletricidade dos principais comercializadores de energia em Portugal. Portugal é o quarto país com a eletricidade mais cara da União Europeia. Ainda assim, segundo a Eurostat, foi o terceiro país da União Europeia onde o preço da energia elétrica mais baixou no segundo semestre de 2019 [57]. Deve-se ter em conta que, independentemente de se tratar do preço do kWh da energia elétrica os valores sofrem alterações, não só dependendo da fornecedora, como também da tarifa contratada.

A tarifas contratadas podem ser em termo fixo que é quando depende da potência contratada e, tal como o nome indica, é um valor fixo, ou o termo de energia em que para cada kWh que é consumido pelo cliente é aplicado um valor. A tarifa simples tem o mesmo preço durante todas as horas do dia e todos os dias da semana, a tarifa bi-horária divide-se em duas partes do dia com dois preços distintos e a tarifa tri-horária divide-se em três horários e ainda pratica preços diferentes no verão e inverno [57].

A mesma comercializadora de energia pode apresentar preços de kWh diferentes, consoante o tipo de contrato, de ciclo horário e de faturas contratadas [57].

Tabela 1 - Custo de produção geral e compensação no ano 2019

| <b>Ano 2019</b> | <b>Consumo geral</b> | <b>Produção geral</b> | <b>Custo do consumo geral em euros</b> | <b>Custo da compensação da produção geral em euros</b> | <b>% de compensação</b> |
|-----------------|----------------------|-----------------------|--|--|-------------------------|
| jan/19          | 43 818,20 kWh        | --- kWh               | 6 683,20 €                             | 0,00 €   | ---                     |
| fev/19          | 186 182,40 kWh       | 8 350,50 kWh          | 28 396,50 €                            | 1 273,60 €   | 4%                      |
| mar/19          | 172 531,50 kWh       | 18 750,10 kWh         | 26 314,50 €                            | 2 859,80 €   | 11%                     |
| abr/19          | 163 455,70 kWh       | 17 100,50 kWh         | 24 930,30 €                            | 2 608,20 €   | 10%                     |
| mai/19          | 164 777,20 kWh       | 22 980,30 kWh         | 25 131,80 €                            | 3 505,00 €   | 14%                     |
| jun/19          | 153 714,60 kWh       | 21 650,90 kWh         | 23 444,60 €                            | 3 302,20 €   | 14%                     |
| jul/19          | 178 775,80 kWh       | 22 500,10 kWh         | 27 266,90 €                            | 3 431,70 €   | 13%                     |
| ago/19          | 171 892,20 kWh       | 22 188,50 kWh         | 26 217,00 €                            | 3 384,20 €   | 13%                     |
| set/19          | 178 265,70 kWh       | 18 240,10 kWh         | 27 189,10 €                            | 2 782,00 €   | 10%                     |
| out/19          | 172 605,20 kWh       | 11 700,30 kWh         | 26 325,70 €                            | 1 784,50 €   | 7%                      |
| nov/19          | 186 888,70 kWh       | 7 580,20 kWh          | 28 504,30 €                            | 1 156,10 €   | 4%                      |
| dez/19          | 198 133,90 kWh       | 6 350,10 kWh          | 30 219,40 €                            | 968,50 €   | 3%                      |

No ano 2019 foram consumidos 1 971 041 kWh que equivale a uma despesa de 300 623 € tendo em conta o preço do kWh de 0,15252 €. A produção total do fotovoltaico foi de 177 392 kWh, que equivale ao valor de 27 056 € tendo em conta o preço do kWh também considerado no consumo. O custo da compensação que a produção gerou no consumo geral foi de 9%.

- **Ano 2020**

No ano 2020 o software de leitura da produção sofreu uma anomalia, de março até novembro não houve leituras de produção. Como é indicado pela figura 28 a produção média mensal foi de 1 359,30 kWh totalizando 16 311,60 kWh produzidos, mas dada a ausência de dados durante 9 meses não é possível retirar qualquer conclusão.

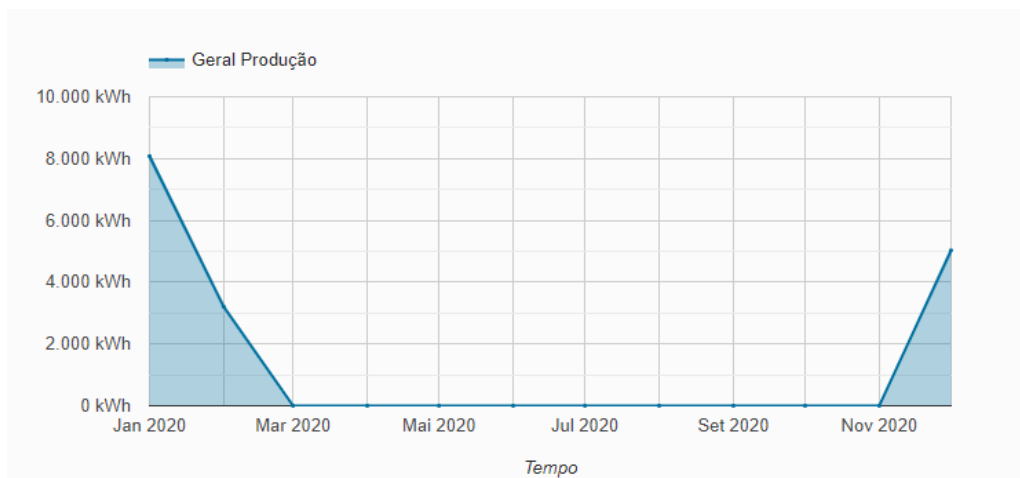


Figura 28 - Produção no ano 2020 [54]

Como descrito na figura 29 o consumo geral foi de 2 164 963,40 kWh, com uma média mensal de 180 413,62 kWh. Os meses com maior consumo foram os meses de janeiro, julho e agosto.

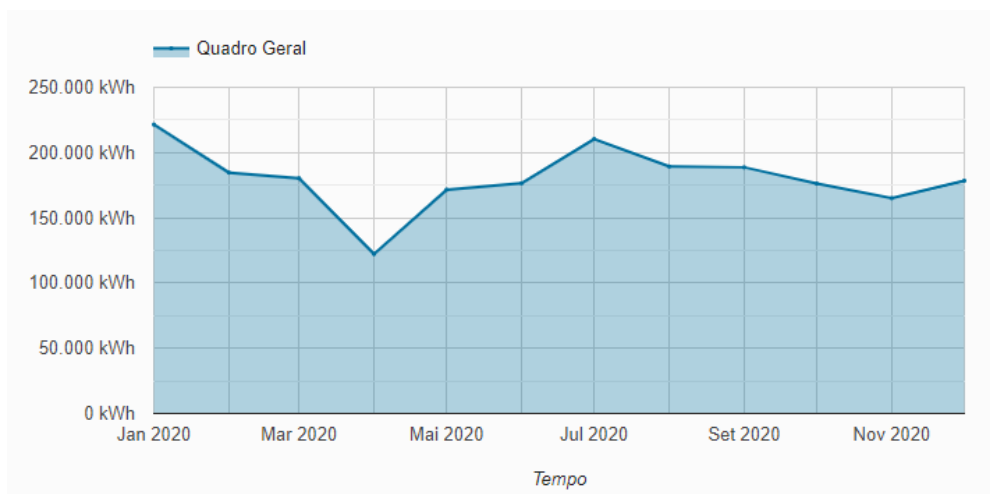


Figura 29 - Consumo geral no ano 2020 [54]

Os meses com menor consumo foram os meses de abril, novembro e maio. Devido a anomalia nas leituras da produção não é possível determinar o custo da compensação que a produção gerou no consumo geral durante a maioria dos meses deste ano.

Tabela 2 - Custo de produção geral e compensação no ano 2020

| Ano 2020 | Consumo geral  | Produção geral | Custo do consumo geral em euros | Custo da compensação da produção geral em euros | % de compensação |
|----------|----------------|----------------|---------------------------------|---|------------------|
| jan/20   | 221 491,40 kWh | 8 000,10 kWh   | 33 781,90 €                     | 1 220,20 €                                      | 4%               |
| fev/20   | 184 652,30 kWh | 2 320,60 kWh   | 28 163,20 €                     | 353,90 €  | 1%               |
| mar/20   | 180 288,30 kWh | --- kWh        | 27 497,60 €                     | ---   | ---              |
| abr/20   | 122 319,50 kWh | --- kWh        | 18 656,20 €                     | ---   | ---              |
| mai/20   | 171 553,20 kWh | --- kWh        | 26 165,30 €                     | ---   | ---              |
| jun/20   | 176 514,20 kWh | --- kWh        | 26 921,90 €                     | ---   | ---              |
| jul/20   | 210 420,80 kWh | --- kWh        | 32 093,40 €                     | ---   | ---              |
| ago/20   | 189 345,60 kWh | --- kWh        | 28 879,00 €                     | ---   | ---              |
| set/20   | 188 680,20 kWh | --- kWh        | 28 777,50 €                     | ---   | ---              |
| out/20   | 176 204,40 kWh | --- kWh        | 26 874,70 €                     | ---   | ---              |
| nov/20   | 165 064,60 kWh | --- kWh        | 25 175,70 €                     | ---   | ---              |
| dez/20   | 178 428,90 kWh | 5 070,10 kWh   | 27 214,00 €                     | 773,30 €  | 3%               |

Comparativamente com 2019 pode-se verificar que o consumo em 2020 aumentou 9,83%. Relativamente a produção apenas existem dados para os meses de janeiro, fevereiro e dezembro, comparando estes meses com os equivalentes de 2019 (a exceção de janeiro de 2019 em que não há dados de leituras) pode-se verificar que a produção baixou.

- **Ano 2021**

No ano 2021 (de janeiro até maio) a produção média mensal é de 4 051,60 kWh, totalizando 20 258,00 kWh produzido até final de maio como pode-se observar na figura 30. Maio também foi o mês com maior produção – 17 967,60 kWh produzidos.

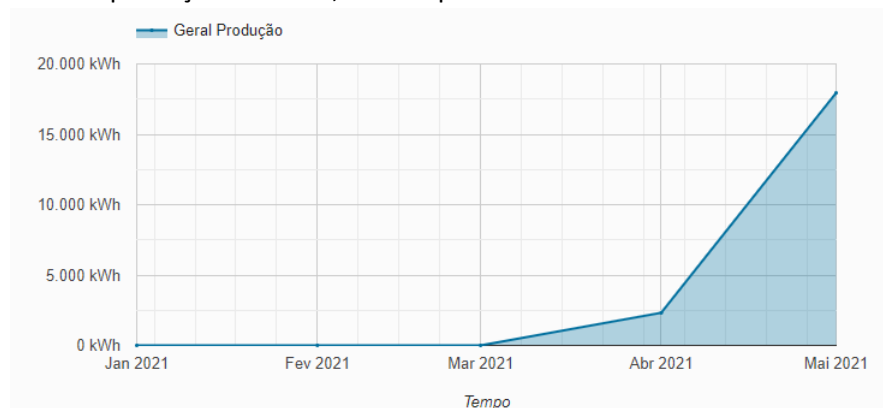


Figura 30 - Produção no ano 2021 [54]

Em 2021 (de janeiro até maio) o consumo geral foi de 819 080,30 kWh, com uma média mensal de 163 816,06 kWh como indicado pela figura 31. Considerando o período equivalente em 2019 e 2020 pode-se concluir que:

- 2020 foi o ano de maior consumo e 2019 o ano de menor consumo;
- O aumento do consumo em 2020 relativamente à 2019 foi de 20,46%;
- A diminuição do consumo em 2021 relativamente à 2020 foi de 6,95%.

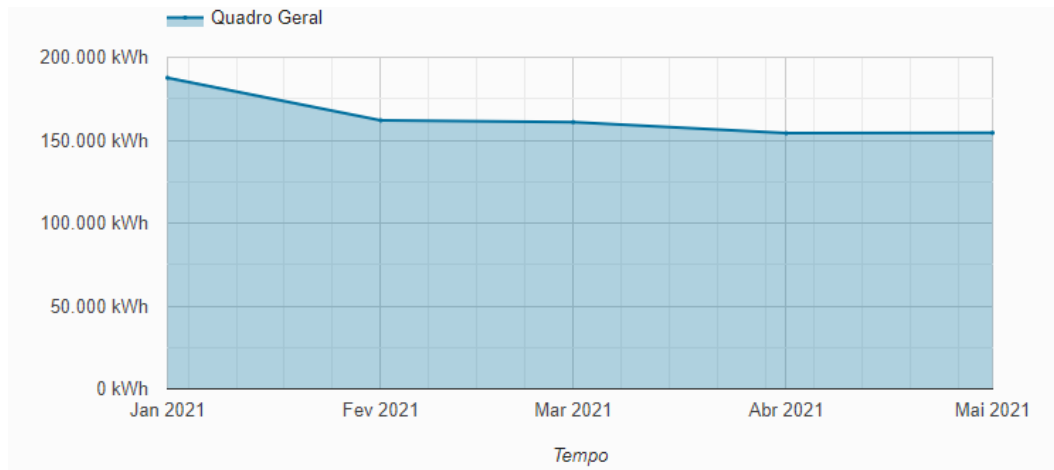


Figura 31 - Consumo geral no ano 2021 [54]

O custo do consumo geral nestes 5 meses é de 124 926,13 €. Devido a anomalia nas leituras da produção durante os meses de janeiro, fevereiro e março não é possível determinar o custo da compensação que a produção gerou no consumo geral durante 3 meses deste período.

Tabela 3 - Custo de produção geral e compensação no ano 2021

| Ano 2021 | Consumo geral  | Produção geral | Custo do consumo geral em euros | Custo da compensação da produção geral | % de compensação |
|----------|----------------|----------------|---------------------------------|--|------------------|
| jan/21   | 187 626,20 kWh | --- kWh        | 28 616,70 €                     | ---                                    | ---              |
| fev/21   | 161 941,50 kWh | --- kWh        | 24 699,30 €                     | ---                                    | ---              |
| mar/21   | 160 942,90 kWh | --- kWh        | 24 547,00 €                     | ---                                    | ---              |
| abr/21   | 154 172,70 kWh | 2 318,10 kWh   | 23 514,40 €                     | 3 586,40 €                             | 15%              |
| mai/21   | 154 397,00 kWh | 22 624,10 kWh  | 23 548,60 €                     | 3 591,60 €                             | 15%              |

- **Balanço geral dos resultados obtidos**

Devido a anomalia no sistema de leituras da produção, de janeiro de 2019 até maio de 2021 (29 meses) apenas obteve-se 16 leituras mensais, ou seja apenas 55% das leituras aplicáveis durante

este período. O balanço da compensação que a produção gerou no consumo geral realizou-se apenas para o ano 2019, em que há uma quase totalidade dos dados (apenas não houve leituras no mês de janeiro), neste ano o custo da compensação que a produção gerou no consumo geral foi de 9%. Para determinar o grau de rentabilidade deste tipo de infraestrutura é necessário ter em conta o período de amortização. É necessário calcular o custo e benefícios finais por ano, tendo em conta o custo bruto da instalação. Para além do custo dos equipamentos, é necessário considerar os custos associados à instalação e a manutenção. Quando se opta por um produto “chave na mão”, além dos próprios equipamentos, deve-se ter em consideração que:

- Além dos painéis solares, o sistema de autoconsumo exige também o inversor, o gerador e o quadro elétrico;
- Estrutura;
- Instalação (custo para colocar os painéis no local prontos a gerar energia);
- Manutenção (para um bom funcionamento os painéis necessitam estar limpos e receber manutenção periódica e preventiva);
- Cablagem (custo associado a forma em como será transferida a energia elétrica desde a origem, nos painéis solares, até o quadro elétrico).

Todos estes fatores determinam o custo final real da instalação e do seu funcionamento.

Na tabela 4 é apresentado o custo aproximado dos equipamentos que integraram o sistema fotovoltaico do caso de estudo.

Tabela 4 - Custo aproximado dos equipamentos

| <b>Nome do equipamento</b>  | <b>Valores aproximados</b> |
|---|----------------------------|
| Painéis Fotovoltaicos 270W tipo Jinko Solar Policristalino ou equivalente   | 144 600 €                  |
| Inversor 30 kWn tipo <i>Huawei</i>  | 4500 €                     |
| Inversor 20 kWn tipo <i>Huawei</i>  | 2 900 €                    |
| Estrutura de superfície plana vertical em liga de alumínio para colocação em cobertura orientada a Sul com inclinação de 5º Graus fixada por maciços, tipo IZIWALKER ou equivalente | 48 200 €                   |
| Cabo solar PVF1   | 1500 €                     |
| Cabo RV-K incluindo fornecimento de calha técnica ou equivalente  | 730 €                      |
| Contador de Produção tipo <i>Itron SL7000</i> ou equivalente com <i>Modem GSM</i>   | 345 €                      |
| Quadro elétrico fotovoltaico - PV   | 300 €                      |
| Interruptor diferencial Tetrapolar de 63A / 0,3A  | 1500 €                     |
| Disjuntor Tripolar de 50A e poder de corte (pdc) de 4,5 kA  | 270 €                      |
| Interruptor diferencial Tetrapolar de 40A / 0,3A  | 430 €                      |
| Disjuntor Tripolar de 32A e poder de corte (pdc) de 4,5 kA  | 30 €                       |
| Valor total (aproximado)  | 205 305 €                  |

No ano 2019 o valor poupado em consumo de energia foi de 27 056 euros, relativamente a mudança efetuada pelo sistema fotovoltaico. Se todos os anos tivessem um valor equivalente ao ano 2019 seriam necessários 7,9 anos para pagar o valor do custo dos equipamentos contabilizando a perda de eficácia dos painéis ao longo dos anos (sem contabilizar os encargos relativos a mão-de-obra empregada na instalação, verificação e os testes do sistema).

Tabela 5 - Perda de eficácia dos painéis ao longo dos anos

| Anos | Produção estimada com a perda da eficácia |
|------|---|
| 2019 | 177 392 kWh                               |
| 2020 | 172 070 kWh                               |
| 2025 | 166 131 kWh                               |
| 2030 | 160 397 kWh                               |
| 2035 | 154 862 kWh                               |
| 2040 | 149 517 kWh                               |
| 2043 | 146 399 kWh                               |

*\* Considerando que os painéis tendem a perder até 3% no primeiro ano e depois em média 0,7% ao ano.*

### 5.5. Implementação de solução de iluminação LED

Para além da implementação do sistema fotovoltaico a empreitada também incluiu a remoção das luminárias e lâmpadas existentes e de grande ineficiência energética por soluções de iluminação através de tecnologia LED de fluxo regulável, com agregada instalação de componentes relacionados com um sistema inteligente de gestão iluminação, visando adequá-la às necessidades de cada sector ao longo das 24 horas, tendo em conta fatores como a usabilidade do espaço e a luz natural.

Toda a empreitada teve como base uma solução luminotécnica e uma solução de gestão adequada e económica, através do cumprimento dos inerentes normativos e adequados processos construtivos. A tecnologia instalada possibilitou a gestão de uma forma inteligente dos consumos energéticos nos edifícios referenciados, com foco na temática da iluminação.

A tabela 6 demonstra o tipo de equipamento instalado e a respetiva quantidade.

Tabela 6- Quantidade de equipamentos LED

| Equipamento tipo <i>Homeled</i> ou equivalente         | Quantidade |
|--|------------|
| Lâmpada LED T8 G13, 9W, 900lm, 4000K                   | 5 495      |
| Lâmpada LED T8 G13, 23W, 2300Lm, 4000K                 | 571        |
| Lâmpada LED PQF 24W, PLAF SUP, 1900Lm, 4000K           | 66         |
| Bloco de emergência (BE) 3W, 160LM, Perm, 3H Autonomia | 97         |

### 5.5.1. Resultado obtidos

- **Ano 2019**

No ano 2019 o consumo geral da iluminação foi de 12 799,30 kWh, com uma média mensal de 1 066,61 kWh.

- **Ano 2020**

No ano 2020 o consumo geral da iluminação foi de 3 780,98 kWh, com uma média mensal de 315,08 kWh.

- **Ano 2021**

No ano 2021 o consumo geral da iluminação foi de 2 619,83 kWh com uma média mensal de 523,97 kWh.

- **Balanco geral**

Na figura 32 é apresentado o balanço geral do consumo da iluminação nos 3 anos estudados.

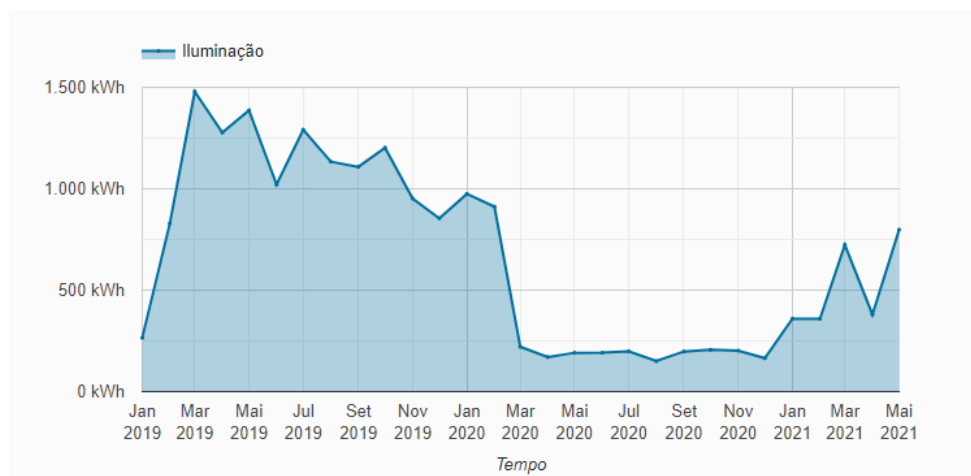


Figura 32 - Consumo geral da iluminação nos três anos [54]

O mês de março de 2019 foi o mês com maior consumo de iluminação nos três anos – 1 479,37 kWh. No gráfico pode-se observar que dos 3 anos 2019 foi o ano com maior consumo, e 2020 o ano com menor consumo (uma diminuição de 70 % face à 2019) possivelmente justificado pela diminuição da presença de pessoas no edifício devido ao panorama que se viveu durante este período - a pandemia da COVID-19, em que uma das medidas do governo no combate à pandemia foi a instituição do teletrabalho obrigatório.

## Capítulo 6

### **6. Aspectos Ambientais e Avaliação da Significância dos Impactes em projetos de eficiência energética durante a etapa da construção**

A limitação conhecida dos combustíveis fósseis e a necessidade de combater as alterações climáticas tem vindo a pressionar a diversificação dos sistemas de energia e a melhoria da eficiência da produção, armazenamento, distribuição e consumo de energia. É neste último ponto que entra a otimização dos consumos de energia e a eficiência energética [58].

Ao implementarmos melhorias de eficiência, onde as estratégias de gestão de energia sobressaem, as empresas tornam-se mais flexíveis e mais resilientes [59].

Todos os projetos que visam a implementação de melhorias de eficiência devem ser encarados com uma visão multidisciplinar. Para além da redução de custos, geração de receitas, inovação e antecipação de oportunidades de mercado, nestas medidas devem ser também consideradas o consumo de novos materiais e a avaliação da significância dos impactes ambientais da fase de execução.

A medição de projetos, estratégias ou modelos de negócio que demonstram a contribuição da sustentabilidade eram assuntos tratados de forma isolada dentro das empresas, hoje em dia os temas são cada vez mais transversais e, por este motivo, envolvem novas pessoas.

A sustentabilidade deve estar presente em todas as etapas do ciclo de vida de um empreendimento, desde sua conceção, projeto, construção e manutenção até sua demolição, considerando sempre as três dimensões da sustentabilidade: econômica, social e ambiental.

A etapa de construção, no ciclo de vida de um empreendimento, responde por uma parcela significativa dos impactes causados pela construção civil no meio ambiente [60].

O local de obra é o ambiente onde é realizada a principal atividade da construção civil, além de ser o momento e local de maior interação entre a maioria dos elementos da cadeia produtiva, incorrendo em importantes impactes ambientais e sociais. Na prática deve ser um processo dinâmico e adaptável, um ambiente propício para a aplicação de ações de melhorias, uma vez que nele estão envolvidos os principais recursos financeiros e humanos [61].

As interferências causadas nos locais de obra não têm merecido a devida atenção das empresas e dos profissionais e académicos, embora também causem impactes significativos, como incômodos à vizinhança (sonoros, visuais, etc.) e poluição (ao solo, à água e ao ar), impactes ao

local da obra (ecossistemas, erosões, assoreamentos, trânsito, entre outros aspetos) e consumo de recursos (principalmente água e energia) [60].

Além disso, a maioria das investigações prioriza impactes da construção civil apenas na seleção de material e na fase de operação de edificações [62].

Durante a execução de uma obra se verifica boa parte dos impactes causados pela construção civil, o que justifica a necessidade de se conhecerem as intensidades desses impactes, pois, uma vez priorizados, podem ser reduzidos ou eliminados por meio de ações específicas.

Alguns estudos apenas abordam medidas mitigadoras em obras que envolvem construção, ampliação e demolição de edificações, não havendo, portanto, um direcionamento para obras orientadas para a aplicação de medidas de eficiência energética.

Destes estudos que abordam medidas mitigadoras para a fase construtiva das edificações, muitas consideram apenas a gestão de resíduos sólidos da construção civil. Não obstante, os desafios para o setor da construção são diversos, devendo, entre outros, buscar soluções que potencializem o uso racional de energia e de outras energias renováveis e a gestão ecológica da água [63].

De forma a identificar os aspetos ambientais e avaliar a significância dos impactes em projetos de eficiência energética é importante determinar uma metodologia.

Uma avaliação assertiva destes projetos deverá ser feita visualizando o período de vida útil da instalação, porque para além dos impactes da fase construtiva existem novos impactes ou agravamento dos impactes já existentes, como por exemplo os impactes gerados da manutenção, do próprio funcionamento da instalação, e da produção de resíduos originada pelo tempo de vida útil dos materiais.

Neste caso de estudo a identificação dos aspetos ambientais e a avaliação da significância dos impactes está orientada para a fase construtiva.

### **6.1. Metodologia para Avaliação da significância dos Impactes Ambientais**

A avaliação dos aspetos ambientais da obra do estudo de caso foi efetuada utilizando a metodologia descrita num procedimento interno da empresa, tendo em conta a sensibilidade ambiental do local em causa, assim como as características específicas desta obra.

Sempre que se inicia uma nova obra a empresa elabora o “Mapa de Identificação de Aspetos Ambientais e Avaliação da Significância dos Impactes”, de modo a contemplar os requisitos

particulares identificados para a obra em questão, através da análise do caderno de encargos ou outros documentos. Este mapa é um documento dinâmico que está sistematizado por área/atividade, e nele estão todos os aspetos ambientais e respetivos impactes identificados como aplicáveis.

Os aspetos ambientais podem ser identificados através de resultados de auditorias, reclamações externas, relatórios de vistoria, revisão ao Sistema de Gestão, sugestões dos trabalhadores, subcontratados e visitantes, instalações, equipamentos, materiais, condições específicas de obra, documentos legais e normativos aplicáveis, cadernos de encargos, fichas de dados de segurança de produtos químicos e os resultados da avaliação de exposição de trabalhadores a riscos físicos, químicos, biológicos, etc.

Para a prevenção de impactes ambientais, a empresa comprometeu-se a apresentar a documentação que evidencie a capacidade para dotar a obra de um Sistema de Gestão Ambiental, através da apresentação do Plano de Monitorização e Prevenção e do Plano de Verificação da Conformidade Legal a implementar em obra, com base na legislação em vigor, na análise do Caderno de Encargos, na análise do Plano de Prevenção e Gestão de Resíduos da Construção e Demolição (PPG-RCD) da fase de projeto e no seu desenvolvimento para a fase de obra, e ainda nas restantes componentes ambientais, tais como: ruído produzido pelos equipamentos usados no exterior e a incomodidade provocada na vizinhança (Decreto-Lei n.º 221/2006, de 8 de novembro e Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de janeiro), ocupação do solo, tratamento dos efluentes líquidos provenientes das instalações sociais ou dos trabalhos a executar, e prevenção da contaminação de solos ou aquíferos durante o abastecimento de combustíveis, mudanças de óleo e reparações de equipamentos no estaleiro.

O processo de avaliação dos impactes associados é elaborado levando em conta:

- **Etapas do Ciclo de Vida da empresa**

É realizado a classificação da aplicabilidade das atividades, equipamentos ou tarefas às etapas do Ciclo de Vida do produto da empresa conforme se apresenta na tabela 7.

Tabela 7 - Perspetiva do Ciclo de Vida [64]

| Perspetiva do Ciclo de Vida |   |   |
|-----------------------------|---|---|
| Etapa                       |   | Descrição   |
| 1                           | Orientação Estratégica                    | Decisão de avançar com a atividade para determinados clientes, áreas ou zonas geográficas                   |
| 2                           | Abordagem Comercial                       | Apresentação de proposta, negociação  |
| 3                           | Seleção fornecedor de produto/equipamento | Escolha do fornecedor produto/equipamento; Planeamento /previsão das quantidades a adquirir                 |
| 4                           | Seleção fornecedor de serviço             | Escolha do fornecedor serviço; Planeamento /previsão dos serviços a adquirir                                |
| 5                           | Contratação Recursos Humanos              | Adequação dos recursos humanos às necessidades.   |
| 6                           | Planeamento do Serviço (Obra/Contrato)    | Preparação das equipas, dos recursos e dos equipamentos para assegurar o serviço ao cliente.                |
| 7                           | Execução do Serviço (Obra/Contrato)       | Desenvolvimento do serviço de acordo com a proposta apresentada ao cliente.                                 |
| 8                           | Conclusão do Serviço (Obra/Contrato)      | Retirada da instalação do cliente e conclusão do serviço. Realocação dos recursos humanos noutros projetos. |
| 9                           | Pós-Venda Obra                            | Acompanhamento ao Cliente após conclusão do serviço até entrega definitiva.                                 |

- **Situação operacional**

Os aspetos ambientais, abrangem as seguintes situações em que ocorrem ou podem ocorrer:

Tabela 8 - Situação operacional dos aspetos ambientais [64]

| SITUAÇÃO |                               | DESCRIÇÃO   |
|----------|-------------------------------|---|
| R        | Rotina - Regime Normal        | Relativos às atividades de carácter operacional (de execução ao longo do dia).  |
| NR       | Não Rotina - Regime Ocasional | Associados a operações não rotineiras (operações de manutenção não regulares, paragem de processos, alterações em rotinas por motivo específico), mas que não configurem emergência.  |
| E        | Emergência                    | Associados a situações de emergência (acidentes, colapso de estruturas, equipamentos ou instalações, falha operacional, manifestações da natureza, etc.) inerentes à tarefa, que possam causar impactes no ambiente, e/ou na segurança e saúde. |

- **Incidência**

Os aspetos ambientais, são classificados segundo a sua incidência:

- Direta - aspeto ambiental diretamente associado ao processo/atividade ou serviço executado sob controlo da empresa.

- Indireta - aspeto ambiental associado à atividade, fora da responsabilidade direta da empresa, mas sobre a qual esta pode exercer influência, ou seja, não pode controlar, mas pode influenciar.

- **Natureza**

A natureza dos impactes pode ser positiva quando a alteração é benéfica para o ambiente e negativo quando é adversa.

- **Avaliação da significância dos Impactes Ambientais**

A avaliação da significância dos impactes ambientais é determinada pelo produto de 3 critérios:

$$\text{Severidade (S)} \times [\text{Frequência (F) ou Probabilidade (P)}] \times \text{Medidas Controlo (MC)}$$

**NOTA:** o critério Probabilidade (P) é utilizado somente para aspetos ambientais que decorrem de uma situação de Emergência. Para os aspetos ambientais que decorrem de uma situação de Rotina ou Não Rotina, é utilizado o critério Frequência (F).

O grau de impacte relativo a cada critério é atribuído numa escala de 1 a 3, em que:

Tabela 9 - Grau de impacte relativo a cada critério [64]

| Escola                | 1  | 2  | 3  |
|-----------------------|--|--|--|
| <b>Critério</b>       | <b>Baixa</b>   | <b>Média</b>   | <b>Alta</b>  |
| <b>Severidade (S)</b> | ESGOTAMENTO RECURSOS NATURAIS  |  |  |
|                       | Recurso renovável.<br>Recurso não renovável, mas não há possibilidade de esgotamento do mesmo. | Recurso não renovável, e há perspectiva de esgotamento do mesmo a médio prazo.   | Recurso não renovável, e há perspectiva de esgotamento do mesmo a curto prazo.   |
|                       | CONTAMINAÇÃO SOLO, ÁGUA OU AR  |  |  |
|                       | Contaminação do solo, água ou ar, por substâncias inertes.                                     | Contaminação por material orgânico não perigoso.<br>Degradação da qualidade do ar.<br>Descargas de efluentes domésticos em rede de saneamento. | Contaminação por substâncias perigosas (inflamáveis, corrosivas, tóxicas patogénicas ou outras).<br>Descargas de efluentes em rede sem saneamento.<br>Depleção da camada de ozono. |

| Escola<br>Critério | 1  | 2  | 3   |
|--------------------|--|--|---|
|                    |  |  | Efeito estufa (aquecimento global).   |
|                    | <b>DANOS À VIZINHANÇA</b>  |  |   |
|                    | Sem danos.<br>Libertação de odores.<br>Ruído em conformidade legal.  | Danos materiais.<br>Incomodidade acústica na proximidade de zonas habitacionais (ruído em inconformidade legal).<br>Perturbação.<br>Libertação de poeiras.                                   | Incomodidade acústica na proximidade de hospitais e escolas (ruído em inconformidade legal).<br>Ferimentos graves de pessoas.<br>Óbito de pessoas.                    |
|                    | <b>DANOS À FLORA/FAUNA</b>   |  |   |
|                    | Supressão de espécies abundantes e não protegidas por lei.   | Supressão de espécies pouco abundantes e não protegidas por lei.   | Supressão de espécies raras ou protegidas por lei.  |
|                    | <b>CONSUMOS</b>  |  |   |
|                    | Consumo de água:<br>≤ 700 m <sup>3</sup> /ano<br>Consumo de energia:<br>≤ 26 TEP/ano<br>Consumo combustível:<br>≤ 250 TEP/ano<br>Consumo de papel:<br>≤ 1,5 Ton./ano | Consumo de água:<br>700 < m <sup>3</sup> /ano < 1200<br>Consumo de energia:<br>26 < TEP/ano < 30<br>Consumo combustível:<br>250 < TEP/ano < 500<br>Consumo de papel:<br>1,5 < Ton./ano < 3,5 | Consumo de água:<br>≥ 1200 m <sup>3</sup> /ano<br>Consumo de energia:<br>≥ 30 TEP/ano<br>Consumo combustível:<br>≥ 500 TEP/ano<br>Consumo de papel:<br>≥ 3,5 Ton./ano |
|                    | <b>PRODUÇÃO DE RESÍDUOS</b>  |  |   |
|                    | Reutilização potencial.<br>Resíduos recicláveis.<br>Valorização de resíduos não perigosos.<br>(impactes indiretos da reciclagem)                                     | Recuperação potencial.<br>Resíduos não recicláveis.<br>Envio para aterro de substâncias não perigosas.<br>(Ocupação de Solos)  | Resíduos perigosos.<br>Valorização de resíduos perigosos.<br>Eliminação e envio para aterro de substâncias perigosas.<br>(Ocupação de Solos)                          |

Tabela 10 - Descrição da frequência e da probabilidade [64]

| Escala<br>Critério             | 1  | 2  | 3  |
|--------------------------------|--|--|--|
|                                | Baixa  | Média  | Alta   |
| <b>Frequência<br/>(F)*</b>     | Ocorre 1 vez por mês ou menos  | Ocorre mais que 1 vez por mês e menos que 1 vez por semana   | Ocorre mais que 1 vez por semana, contínua ou diariamente                              |
| <b>Probabilidade<br/>(P)**</b> | Pouco provável de ocorrer. Histórico de ocorrências é muito baixo ou não há registo de ocorrência. Impacte sem ocorrência nos últimos 5 anos, ou ocorrência superior a 5 anos. | Provável de ocorrer ou não frequente. Impacte com ocorrência nos últimos 3 anos, ou número pequeno de ocorrências. | Regular ou número elevado de ocorrências. Frequências constantes. Até 5 vezes por ano. |

\* - critério usado para aspetos ambientais que decorrem de uma situação de Rotina ou Não Rotina.

\*\* - critério usado para aspetos ambientais que decorrem de uma situação de Emergência.

A significância dos impactes ambientais é classificada de acordo com a combinação dos critérios que se encontram na tabela seguinte:

Tabela 11 - Classificação da significância dos impactes [64]

|            |   | FREQUÊNCIA / PROBABILIDADE |   |   |    |    |    |    |    |    |
|------------|---|----------------------------|---|---|----|----|----|----|----|----|
|            |   | 1                          |   |   | 2  |    |    | 3  |    |    |
|            |   | MC                         |   |   | MC |    |    | MC |    |    |
|            |   | 1                          | 2 | 3 | 1  | 2  | 3  | 1  | 2  | 3  |
| SEVERIDADE | 1 | 1                          | 2 | 3 | 2  | 4  | 6  | 3  | 6  | 9  |
|            | 2 | 2                          | 4 | 6 | 4  | 8  | 12 | 6  | 12 | 18 |
|            | 3 | 3                          | 6 | 9 | 6  | 12 | 18 | 9  | 18 | 27 |

- Um impacte ambiental não significativo é todo aquele que apresenta uma pontuação igual ou inferior a 3.

- Um impacte ambiental pouco significativo é todo aquele que apresenta uma pontuação igual ou superior a 4.

- Um impacte ambiental muito significativo é todo aquele que apresenta uma pontuação igual ou superior a 18.

Sempre que um impacte ambiental seja significativo devem ser tomadas medidas de gestão ambiental, como a definição de ações para minimizar os impactes ambientais.

Os impactes significativos devem ser associados a medidas de gestão ambiental, à exceção dos que a empresa apenas tenha incidência indireta.

## 6.2. Definição de Ações para Minimizar os Impactes Ambientais

Para os impactes pouco e muito significativos definem-se ações para a sua minimização, de acordo com a avaliação do respetivo impacte. Definem-se os seguintes critérios:

- Objetivos e Metas – Propostas de objetivos e planos de prevenção a estabelecer pela empresa numa atitude de melhoria constante;
- Controlo Operacional – Medidas de controlo e prevenção práticas, estabelecidas de forma a reduzir os impactes;
- Sensibilização e formação – Acompanhamento da situação através da realização de sensibilização e formação aos intervenientes.
- Medição e monitorização
- Procedimentos de emergência

De referir ainda que para impactes ambientais muito significativos é criado um plano de controlo específico (Plano de Inspeção e Prevenção - PIP) no qual são identificadas as medidas específicas e os responsáveis.

A revisão dos aspetos e reavaliação da significância dos impactes é efetuada sempre que sejam identificados novos aspetos ambientais, ocorram alterações ou propostas de alterações de instalações, equipamentos e/ou atividades, e quando as condições que determinam um dos critérios da metodologia se alteram.

## 6.3. Âmbito geral do desenvolvimento das frentes de Obra e Gestão de Estaleiros

As obras visando a eficiência energética podem ser divididas por diversas categorias, uma delas é a dimensão:

- Projetos de pequena dimensão (tipologia I) como por exemplo as obras do Programa de Apoio a Edifícios Mais Sustentáveis, destinado a dar a hipótese ao consumidor de este ser reembolsado (ainda que parcialmente), por exemplo, ao reforçar os índices de eficiência energética da sua casa ou adotar sistemas de climatização e produção de água quente sanitária baseados em fontes de energia renováveis. Como exemplo desta tipologia está

enquadrada uma obra que visava a instalação de painéis solares num edifício particular como pode-se observar na figura 33.



Figura 33 - Painel solar de um edifício particular [Fonte própria, 2019]

- Projetos de média dimensão (tipologia II), como por exemplo instituições públicas que adotam projetos de substituição das lâmpadas pela tecnologia LED, instalação de sistemas fotovoltaicos, etc. Como exemplo desta tipologia está enquadrada a obra do caso de estudo, como pode-se observar na figura 34.



Figura 34 - Central fotovoltaica de uma instituição pública de saúde [Fonte própria, 2021]

- Mas também projetos de dimensão macro (tipologia III) como por exemplo a central Solar Fotovoltaica de Amareleja, com uma capacidade instalada de 46,41 MW pico e 35 MW de potência de injeção na rede construída num terreno de 250 hectares. Como exemplo desta tipologia pode-se apontar a obra da instalação da central fotovoltaica da Amareleja como pode-se observar na figura 35.



Figura 35 - Central Fotovoltaica da Amareleja [Fonte própria, 2020]

Estas tipologias segundo a dimensão apresentam necessidades diferentes no que diz respeito à mão de obra, a ocupação de espaço, o consumo de materiais, a produção de resíduos, a montagem de estaleiro, e toda a generalidade de aspetos e impactes ambientais.

Na tipologia I tratam-se de pequenas obras, de execução célere, como é o caso das intervenções enquadradas no programa das ações a desenvolver em edifícios habitacionais existentes, que contribuam para as metas definidas no Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030 (PNEC 2030) e na Estratégia de Longo Prazo para a Renovação dos Edifícios (ELPRE), bem como para outros objetivos ambientais. Estas intervenções na sua maioria não necessitam de montagem de estaleiro, já que o volume de trabalho não justifica uma instalação de apoio à obra.

Os projetos da tipologia II dependendo da zona de intervenção na sua maioria necessitam de estaleiro de apoio, mas com a vantagem da utilização da instalação já existente do cliente, ao contrário dos projetos da tipologia III, em que é necessário a montagem de estaleiros de grande dimensão, e muitas vezes em proximidade com zonas sensíveis.

O primeiro passo para prevenir e minimizar potenciais impactes ambientais de uma obra é o desenvolvimento adequado das frentes de obra e da gestão dos estaleiros.

Alguns dos projetos de tipologia III recaem em grande parte sobre áreas não urbanas nomeadamente áreas florestais. Nestes cenários a escolha da localização de estaleiros, de depósito de aterros e de depósito temporário de materiais devem respeitar os condicionamentos da zona envolvente, dando-se preferência a zonas relativamente degradadas. As localizações dos estaleiros devem respeitar as áreas definidas nos projetos de execução. Caso se opte por outras localizações estas deverão respeitar todas as condicionantes de ordenamento do território, bem como as áreas legalmente protegidas, servidões e restrições de utilidade pública, etc. [65].

A localização dos estaleiros deverá permitir a salvaguarda do maior número de vertentes ambientais possíveis, nomeadamente [65]:

- Evitar a afetação de áreas sensíveis em termos ecológicos, paisagísticos ou visuais, nomeadamente baixas aluvionares, locais onde existam vestígios de património arqueológico, envolvente das linhas de água, permanentes ou temporárias, numa distância mínima de 10 metros, zonas de proteção de águas subterrâneas (áreas de elevada infiltração), zona de proteção de captações, zonas de elevada densidade de coberto vegetal arbustivo e/ou arbóreo, nomeadamente quercíneas e proximidade de áreas urbanas e/ou turísticas, preferencialmente deverá ser selecionada uma área anteriormente intervencionada ou/e cuja vegetação seja maioritariamente herbácea ruderal;
- A localização dos estaleiros deverá situar-se fora de áreas de recarga de sistemas aquíferos e de áreas de influência direta de nascentes e dos perímetros de proteção de captações de abastecimento público, também não deverão estar localizados nas proximidades de habitações ou de outras zonas de utilização sensível, dado os impactos ao nível do ruído.

Os estaleiros deverão localizar-se o mais próximo possível das frentes de obra, de modo a reduzir as áreas afetadas pelas deslocações entre o estaleiro e a frente de obra, com consequente minimização das deslocações de veículos, bem como as emissões difusas de partículas em caminhos com pavimento de terra batida [65].

A área afeta aos estaleiros deverá ainda ser reduzida ao mínimo possível, selecionando as áreas estritamente indispensáveis para a sua correta implementação, deverá também ser evitado o abate de árvores. Em certas áreas a implantação dos estaleiros deverá ser precedida de trabalhos de prospeção arqueológica, devendo proceder-se à alteração de localização, caso ocorram áreas de interesse arqueológico [65].

Todas as áreas dos estaleiros devem estar vedadas ou na sua impossibilidade, delimitação da área afeta ao mesmo com sinalização visível, na vedação deverão ser colocadas placas

avisadoras que incluam as regras de segurança a observar assim como a calendarização das obras. O planeamento dos trabalhos a implementar deve contemplar, entre outros, os seguintes aspetos [65]:

- Prever a realização dos trabalhos de forma a reduzir ao mínimo o período de tempo em que ocorram movimentos de terras, devendo esta fase decorrer preferencialmente na época seca (entre maio e setembro), de modo a minimizar a erosão dos solos e o transporte sólido nas linhas de água;
- Concentrar no espaço e no tempo a realização de todos os trabalhos de forma a evitar a sua dispersão pela envolvente do perímetro;
- A localização dos parques de materiais, locais de depósitos de terras e todas as infraestruturas de apoio à obra, não podem afetar áreas sensíveis e devem estar sinalizadas e/ou vedadas;
- Deverá ser protegida e preservada a vegetação arbórea e arbustiva existente na envolvente dos locais da obra e acessos, através da implementação de medidas cautelares a definir no início da obra;
- Os estaleiros e as frentes de obra deverão estar equipados com todos os materiais e meios necessários que permitam responder em situações de incidentes/acidentes ambientais, nomeadamente derrames acidentais de substâncias poluentes;
- As áreas afetadas às oficinas, parque de máquinas e armazenamento de produtos químicos deverão ser impermeabilizadas e com drenagem eficaz. Os locais destinados ao abastecimento de combustível e armazenamento temporário de óleos e combustíveis, bem como a manutenção e reparação de veículos devem ser impermeabilizados, planos e preferencialmente cobertos. Estes locais devem ser em áreas técnicas devidamente infraestruturadas para o efeito, de fácil acesso, de forma a facilitar a operação de trasfega de resíduos e devem estar equipados com contenção secundária;
- Previamente a qualquer intervenção nas áreas de empréstimo deve ser efetuada um reconhecimento e levantamento das situações consideradas potencialmente instáveis.
- As movimentações de terras e máquinas devem, tanto quanto possível, privilegiar o uso de acessos existentes ou menos sensíveis à compactação e impermeabilização dos solos, evitando a circulação de máquinas indiscriminadamente por todo o terreno;
- Nas zonas em que sejam executadas obras que possam afetar as linhas de água, deverão ser implementadas medidas que visem interferir o mínimo possível no regime hídrico, no

coberto vegetal preexistente e na estabilidade das margens. Nunca deverá ser interrompido o escoamento natural da linha de água. Todas as intervenções em domínio hídrico devem ser previamente licenciadas;

- Na fase inicial das obras devem ser identificados os locais a intervencionar, por forma, a minimizar a área afetada. Nestas áreas, deve proceder-se à decapagem e recolha das camadas de solo e ao seu armazenamento adequado em camadas, para posterior utilização e recobrimento das zonas cuja recuperação venha a ser considerada necessária;

- As ações de desarborização e de desmatção deverão restringir-se à área estrita de intervenção, devendo ser delimitada por piquetagem e/ou por sinalização bem visível;

- As operações de desmatção em áreas onde não é necessário efetuar movimentações de terras e, conseqüentemente, não sejam sujeitas a mobilização do solo, deverão ser efetuadas por corte raso, com corta-matos, e recarga do material cortado. Em zonas onde seja necessário realizar movimentações de terras, as operações de desmatção deverão ser efetuadas por gradagem, com mistura do mato cortado na camada superficial do solo. Esta camada de solo poderá ser armazenada em pargas e é adequada para recobrimento de taludes, contendo um volume de sementes que contribuirá para a sua revegetação;

- As ações que impliquem a remoção ou degradação do coberto vegetal, a decapagem do terreno ou a escavação, movimentação e depósito de materiais, deverão limitar-se às áreas estritamente necessárias à execução dos trabalhos.

- O material resultante de ações de desmatção e/ou desarborização, deverá ser armazenado em local afastado dos cursos de água, devendo ser privilegiada a sua valorização e comercialização, sempre que possível e economicamente viável;

- Deverá ser evitado o abate de árvores;

- É proibida a queima a céu aberto de qualquer tipo de resíduo;

- Caso ocorram incidentes/acidentes ambientais deverão ser ativados os procedimentos necessários para a rápida resolução destes. Deverá ainda proceder-se à recuperação imediata da zona afetada.

#### **6.4. Identificação dos Aspetos Ambientais durante a fase de construção**

Durante a fase da execução da obra do caso de estudo foram identificados como aspetos ambientais o consumo de energia, consumo de água, consumo de papel, produção de resíduos,

efluentes líquidos, emissão de gases para a atmosfera e material particulado, emissão de ruído, e derrame de produtos.

#### 6.4.1. Consumo de energia

O setor da construção civil utiliza frequentemente a energia de forma pouco eficiente, existindo um potencial elevado para sua redução. No entanto, o setor ainda enfrenta um grande desafio ao tentar aumentar a eficiência energética durante e após a execução da obra, pois é responsável por um dos maiores consumos energéticas do mundo [66].

A energia operacional tem sido objeto de muitas pesquisas quanto à conservação e eficiência, incluindo usos para aquecimento, refrigeração, ventilação, iluminação, transporte vertical e outras formas de consumo [67]. A maior parte de pesquisas concentra-se em avaliações de impactes energéticos da construção civil quanto ao ciclo de vida de matérias-primas e serviços, e na fase de operação e uso de edificações, considerando na fase de execução apenas avaliações de consumo de energia relacionada a combustíveis e emissões de dióxido de carbono [63].

Na execução da obra do estudo de caso foram utilizados vários equipamentos elétricos e máquinas como por exemplo um guincho elétrico para a elevação dos materiais da montagem dos painéis para a cobertura, rebarbadoras, tornas, aspiradores, aparafusadoras, etc.

A obra possuía um estaleiro (no próprio local/instalação do cliente) com dois contentores (estilo marítimo) que serviam de escritório e ferramentaria/sala de refeições. Ambos os contentores estavam ligados à rede elétrica do cliente, o contentor escritório possuía uma impressora e um ar condicionado, e o contentor ferramentaria/sala de refeições possuía um micro-ondas.

Tabela 12 - Identificação dos impactes ambientais do consumo de energia e medidas de controlo

| Equipamento / Tarefa ou atividade                             | Aspeto Ambiental                  | Impacte Ambiental  | Medidas de Controlo  | Natureza Impacte    |
|---|-----------------------------------|--|--|---------------------|
|   |                                   |  |  | Positivo / Negativo |
| Utilização de equipamentos elétricos e outros nas instalações | Consumo de Energia - Eletricidade | Consumo de recursos naturais (não renováveis e renováveis)   | - Boas práticas de redução: desligar as luzes e equipamentos no fim do dia;<br>- Equipamentos em bom estado de conservação (manutenção periódica). | N                   |
|   |                                   | Esgotamento de recursos naturais renováveis e não renováveis |  | N                   |

Tabela 13 - Identificação do grau dos impactes ambientais do consumo de energia

| Impacte Ambiental  | Classificação do Aspeto Ambiental |                          |  | Avaliação do Grau do Impacte Ambiental | Significância do Impacte Ambiental |
|--|-----------------------------------|--------------------------|--|--|------------------------------------|
|  | Severidade                        | Frequência Probabilidade | Grau Implementação Medidas de Controlo |  |                                    |
| Consumo de recursos naturais (não renováveis e renováveis)   | 1                                 | 3                        | 2                                      | 6                                      | Impacte Pouco Significativo        |
| Esgotamento de recursos naturais renováveis e não renováveis | 1                                 | 3                        | 2                                      | 6                                      | Impacte Pouco Significativo        |

Relativamente ao consumo de energia durante a fase de construção nas obras de eficiência energética as medidas de controlo estão diretamente relacionadas a disponibilização dos recursos, havendo vários cenários como por exemplo se o consumo elétrico no estaleiro é independente ou por meio de gerador, ou se está ligado diretamente a instalação do cliente.

As obras de eficiência energética, como são na sua maioria realizadas em edifícios já existentes, assim como ocorre no caso de estudo, os estaleiros de obra estão localizados nas instalações do cliente. As medidas de controlo indicadas foram a adoção das boas práticas de redução, nomeadamente desligar as luzes e equipamentos no fim do dia e a manutenção periódica dos equipamentos. Quando o consumo elétrico do empreiteiro é assegurado pela já existente instalação elétrica do cliente não se consegue adotar medidas que mitigam o consumo e o esgotamento de recursos naturais renováveis e não renováveis na fonte, tal acontece porque geralmente não se consegue quantificar a energia consumida ao cliente devido a múltiplos pontos de acesso e inexistência de quadros específicos. Quando o consumo elétrico é independente poder-se-á assegurar que a energia que se consome é renovável, os planos de energia verde garantem que a eletricidade é produzida a partir de fontes 100% renováveis, como a energia hídrica, eólica ou solar. Com baixas emissões de dióxido de carbono este tipo de energia garante impactes ambientais bem mais baixos face às fontes de energia não renováveis.

No caso de estudo o impacte do consumo e do esgotamento de recursos naturais (renováveis e não renováveis) derivado do consumo de energia foi avaliado como pouco significativo devido a natureza, a dimensão da empreitada e consequentemente um consumo de energia pouco significativo.

#### 6.4.2. Consumo de água

A indústria da construção civil demanda uma grande quantidade de utilização de recursos como materiais, energia e água. No entanto com a redução de alguns recursos naturais e a degradação do ecossistema o processo de consumo tem que ser criterioso e sem desperdício [68].

A procura por materiais alternativos e utilização das energias renováveis é apontada como solução de resposta para fazer frente as limitações atuais. O consumo de água na construção civil ainda é pouco documentado o que impossibilita uma visão realista deste consumo.

O consumo de água na construção civil está diretamente relacionado com materiais e processos como produção de betão, supressão de poeira e corte e indiretamente relacionada com a água incorporada em todos os produtos utilizados na construção civil [69].

A água consumida durante a fabricação de bens e serviços requeridos na construção pode ser significativa no contexto do ciclo de vida de uma edificação. Existem vários estudos que se concentram em mensurar o consumo de água incorporada na fase de construção das edificações. Considerando a etapa construtiva dos edifícios, o volume de água requerida no processo principal de construção é mínimo, alguns casos de estudos apontam um volume máximo de 20,1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> de área construída [70].

Um estudo realizado na Índia apresenta valores de consumo de água em locais de obra de 1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> a 2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> de área construída, ou seja, de 5% a 10% do valor total de água incorporada ao processo de construção de uma obra, considerando o ciclo de vida das matérias-primas e serviços inseridos [68].

Num estudo realizado no estado de Pernambuco no Brasil encontraram um volume consumido de água de 0,83 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> [71]. Estes estudos revelam valores que variam em função das metodologias de levantamento utilizadas e dos contextos das obras.

Estes estudos estão maioritariamente direcionados as obras com processos construtivos de edificação, isto porque o sistema construtivo tradicional predominante é aquele com elevados consumos de betão e argamassas, que possuem alta representatividade nos excessivos volumes de água consumidos. Nos estaleiros e nas frentes de trabalho, as etapas críticas de consumo dão-se nos serviços de fundação e acabamentos.

A avaliação de consumo de água em locais de obra possibilita identificar possíveis falhas no sistema, como vazamentos, e até mesmo verificar padrões de consumo dos mais diversos processos, auxiliando, então, na busca, cada vez mais intensa, por soluções mais sustentáveis, que podem ser aplicadas em locais de obra durante a execução de empreendimentos [72].

Em Portugal todos os anos 3 100 milhões de metros cúbicos de água são desperdiçados, o que equivale a cerca de 41% da procura total de água. Dados preocupantes, já que o nosso país está inserido numa zona de risco de aquecimento global, o aumento gradual da temperatura poderá, por isso, significar uma diminuição dos recursos hídricos que obrigará a reformular os modelos atuais de consumo [73].

O projeto do estudo de caso não necessitou de um processo construtivo de edificação, porque tratava-se de um edifício já construído e em funcionamento, e é esta é realidade de várias obras que visam a eficiência energética, a montagem dos painéis fotovoltaicos foi realizada numa das coberturas do edifício, e a troca das lâmpadas também não exigiu mudanças construtivas, logo não houve consumo de água em processos como produção de betão, supressão de poeira e corte, etc. O consumo de água durante a fase de execução derivou-se da utilização por parte dos trabalhadores das casas de banho nas instalações de apoio e nas instalações do cliente.

Tabela 14 - Identificação dos impactes ambientais do consumo de água e medidas de controlo

| Equipamento / Tarefa ou atividade              | Aspeto Ambiental | Impacte Ambiental                    | Medidas de Controlo  | Natureza Impacte    |
|--|------------------|--------------------------------------|--|---------------------|
|  |                  |                                      |  | Positivo / Negativo |
| Uso de casas de banho nas instalações de apoio | Consumo de água  | Consumo de recurso não renovável     | Boas práticas na utilização da água: fechar torneiras e diminuir gastos nos autoclismos. | N                   |
|  |                  | Esgotamento de recurso não renovável |  | N                   |

Tabela 15 - Identificação do grau dos impactes ambientais do consumo de água

| Impacte Ambiental                    | Classificação do Aspeto Ambiental |                          |  | Avaliação do Grau do Impacte Ambiental | Significância do Impacte Ambiental |
|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|--|--|------------------------------------|
|                                      | Severidade                        | Frequência Probabilidade | Grau Implementação Medidas de Controlo |  |                                    |
| Consumo de recurso não renovável     | 1                                 | 3                        | 2                                      | 6                                      | Impacte Pouco Significativo        |
| Esgotamento de recurso não renovável | 2                                 | 3                        | 2                                      | 12                                     | Impacte Pouco Significativo        |

A medida de controlo implementada foi a adoção de boas práticas na utilização da água: fechar torneiras e diminuir gastos nos autoclismos. O desperdício de água é um dos principais problemas relacionados com a disponibilidade e utilização dos recursos hídricos na atualidade.

No caso de estudo o impacto do consumo e do esgotamento de recursos naturais (renováveis e não renováveis) derivado do consumo de água foi avaliado como pouco significativo devido a natureza, a dimensão da empreitada e consequentemente um consumo de água pouco significativo.

#### 6.4.3. Consumo de papel

Quando manuseamos uma leve e frágil folha de papel, não imaginamos o pesado processo industrial que torna possível a sua produção. E pouco refletimos sobre os impactos deste processo fabril no meio ambiente [74].

Para se produzir uma folha de papel A4 são necessários, em média, 10 litros de água [75].

A fabricação de uma folha de papel A4 consome 0,013% do tronco de uma árvore de eucalipto, um tronco inteiro, portanto, gera 7 550 folhas de papel [76].

Enquanto que em 1990 as florestas cobriam 31,6 por cento das áreas terrestres do planeta, o que corresponde a 4,128 milhões de hectares, em 2015 a sua área diminuiu para 30,6 por cento, ou 3,999 milhões de hectares. Entretanto, a taxa líquida anual de desflorestação diminuiu de 0,18 por cento em 1990, para 0,08 por cento durante o período de 2010-2015 [77].

A maioria da área florestal global é de floresta natural: uma categoria que inclui as áreas de floresta primária, onde a perturbação humana tem sido minimizada, e as áreas de floresta secundária, que foram regeneradas naturalmente. A floresta plantada, outra subcategoria, corresponde atualmente a 7 por cento do total da área florestal do planeta, tendo aumentado mais de 110 milhões de hectares desde 1990 [77].

Ao contrário das previsões mais pessimistas, a indústria do papel continua a crescer, na Europa apesar do flagelo dos incêndios, a área florestal aumentou 17 milhões de hectares entre 1990 e 2015 [78].

Em 2020 a produção de pasta de fibra virgem se reduziu em 2,6% face a 2019, foram produzidas 1,9 milhões de toneladas de papel e cartão, contra 2,0 milhões de toneladas em 2019. Portugal cotou-se, assim, como o 3º produtor europeu de pastas químicas (9,3% do total produzido na Europa) e o 2º produtor europeu de papel e cartão não revestido (UWF), com 18,1% do total da

produção europeia. As vendas das associadas da CELPA representaram cerca de 1,2% do PIB [79].

Em termos ambientais, as empresas associadas da CELPA mantiveram o caminho da redução da utilização de água por tonelada de produto final, tendo este indicador reduzido 11% nos últimos 10 anos. Em relação a 2019, a carga orgânica total nas águas residuais (medida em carência química de oxigénio) reduziu-se em 13%. A emissão de GEE reduziu-se em 7% face ao ano de 2019, e o consumo de energia manteve igualmente um padrão de aumento de sustentabilidade, cifrando-se em 71% o total de combustíveis consumidos provenientes de fonte renovável. As empresas associadas da CELPA foram responsáveis, em 2019, por 6,1% do total da energia produzida em Portugal [79].

A indústria moderna de papel não utiliza madeira proveniente de florestas naturais, pelo que a matéria-prima por si transformada resulta de árvores plantadas especificamente para esse fim.

As empresas associadas da CELPA são responsáveis pela gestão direta de 191,9 mil hectares, em propriedades próprias e arrendadas, o que corresponde a 2,1% do território nacional. Destes, 163,9 mil estão ocupados com floresta, o que representa 5,0% da floresta nacional [79].

De acordo com o ICNF, a grande maioria da área florestal no território nacional, cerca de 86%, está na posse de proprietários privados não industriais. A restante área está repartida pelo Estado, em cerca de 3%, pelas comunidades locais, os “baldios” (6%) e pelas empresas associadas da CELPA (5%). Em Portugal continental, as empresas associadas da CELPA são responsáveis pela gestão de 17,4% do eucaliptal, 0,5% do pinhal-bravo, 1,0% do montado de sobro e 0,6% das áreas ocupadas com outras espécies [79].

No domínio da fertilização, a CELPA tem dinamizado o Programa Limpa e Aduba que, inserido no “Projecto Melhor Eucalipto” e numa parceria conjunta entre a indústria e os produtores florestais, tem como objetivos reduzir o risco de incêndio e melhorar a produtividade do eucaliptal numa área de 100 mil hectares até 2024, através da promoção da gestão florestal ativa. Neste programa, os proprietários efetuam o controlo da vegetação e a seleção de varas e o Programa Limpa e Aduba oferece o adubo e apoia o serviço de adubação [79].

No caso de estudo foram consumidos 67,5 kg de papel apenas em tarefas administrativas como por exemplo dossiês de obra, projetos, folhas de presença, vitrine de exposição, e sinalização em obra.

Tabela 16 - Papel consumido em tarefas administrativas para execução da obra

| <b>Papel consumido em tarefas administrativas e outros</b> |           |                    |                    |                   |                      |
|--|-----------|--------------------|--------------------|-------------------|----------------------|
|  |           | Resmas de papel A4 | Resmas de papel A3 | Total mensal (kg) | Total trimestre (kg) |
| 2018   | Outubro   | 5                  | 1                  | 17,5              | 49,5                 |
|  | Novembro  | 4                  | 1                  | 15                |                      |
|  | Dezembro  | 5                  | 1                  | 17                |                      |
| 2019   | Janeiro   | 2                  | 1                  | 10                | 17,5                 |
|  | Fevereiro | 1                  | 1                  | 7,5               |                      |
| <b>Total</b>   |           | 17                 | 5                  | 67                | 67                   |

Para além do papel consumido em tarefas administrativas existiu também o consumo de papel/cartão das embalagens das lâmpadas LED e dos painéis fotovoltaicos, o operador licenciado recolheu da obra 300 kg de resíduos de papel/cartão.

Os 233 kg a mais são efetivamente originados pelas embalagens dos produtos utilizados em obra.

Tabela 17 - Identificação do grau dos impactes ambientais do consumo de papel

| Equipamento / Tarefa ou atividade  | Aspeto Ambiental | Impacte Ambiental                                 | Medidas de Controlo   | Natureza Impacte    |
|--|------------------|---|---|---------------------|
|  |                  |   |   | Positivo / Negativo |
| Tarefas administrativas nas instalações de apoio/ embalagens de papel/cartão | Consumo de papel | Consumo de recursos naturais (não renováveis)     | - Boas práticas de impressão (frente e verso).<br>- Reutilização de papel para folhas de rascunho.<br>- Maior utilização de arquivo digital.<br>- Reutilização das embalagens de papel/cartão das lâmpadas LED. | N                   |
|  |                  | Danos à Flora                                     |   | N                   |
|  |                  | Esgotamento de recursos naturais (não renováveis) |   | N                   |

Tabela 18 - Identificação dos impactes ambientais do consumo de papel e medidas de controlo

| Impacte Ambiental                    | Classificação do Aspeto Ambiental |                          |  | Avaliação do Grau do Impacte Ambiental | Significância do Impacte Ambiental |
|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|--|--|------------------------------------|
|                                      | Severidade                        | Frequência Probabilidade | Grau Implementação Medidas de Controlo |  |                                    |
| Consumo de recurso não renovável     | 2                                 | 3                        | 2                                      | 12                                     | Impacte Pouco Significativo        |
| Danos à flora                        | 2                                 | 3                        | 2                                      | 12                                     | Impacte Pouco Significativo        |
| Esgotamento de recurso não renovável | 2                                 | 3                        | 2                                      | 12                                     | Impacte Pouco Significativo        |

As medidas de controlo recomendadas durante a fase de construção do projeto do caso de estudo relativamente ao consumo do papel foram as boas práticas de impressão (frente e verso), reutilização de papel para folhas de rascunho, maior utilização de arquivo digital, e reutilização das embalagens de papel/cartão das lâmpadas LED (usadas para acondicionar as lâmpadas antigas que foram retiradas do edifício).

Os impactes ambientais gerados pelo consumo de papel no caso de estudo foram avaliados como pouco significativos.

#### 6.4.4. Produção de resíduos

Muitos materiais utilizados na atividade da construção civil são desperdiçados antes de estarem completamente esgotadas todas as suas possibilidades de aplicação, o que se traduz numa maior necessidade de materiais e num conseqüente aumento da quantidade de resíduos gerados [80].

Estes resíduos impõem-se também como um grande desafio porque a maioria não recebe tratamento e destino adequados.

Os resíduos podem ser reutilizáveis na própria obra, ou recicláveis e darem origem a novos materiais da mesma natureza, ou ainda podem ser resíduos que deem origem a materiais secundários [81].

Os produtos gerados pela reciclagem podem ter diversos fins como por exemplo a fabricação de pré-moldados, betão, revestimentos, sub-camadas de pavimentação, etc.

Os resíduos reutilizáveis, são constituídos principalmente por componentes estruturais de aço, elementos de madeira de qualidade e/ou recuperados em bom estado, peças de fábricas (tijolo, bloco de alvenaria), telhas (cerâmica e ardósia) e escavação da terra [81].

Na construção civil a redução das perdas e desperdícios passou a ser importante fator para a sobrevivência das construtoras e para a adequação ao mercado, porém a necessidade de minimizar a produção dos resíduos não resulta apenas na questão económica, pois trata fundamentalmente de uma ação importante para a preservação ambiental [82].

Nas obras de eficiência energética pode haver uma grande variedade de tipos de resíduos produzidos consoante a natureza dos trabalhos. Nas obras de substituição por lâmpadas LED existe a necessidade da recolha das lâmpadas antigas e o seu correto encaminhamento.

Na tabela 19 pode-se observar os resíduos produzidos e recolhidos na obra do caso de estudo.

Tabela 19 - Resíduos que saíram da obra

| Código LER    | Nome Comum       | Quant. produzida (Ton.) | Valor do resíduo à data (€/Ton.) | Valor total do resíduo (€) | Proveito (€) | Custo (€) | Saldo (€) | Destino |
|---------------|------------------|-------------------------|----------------------------------|----------------------------|--------------|-----------|-----------|---------|
| 20 01 21*     | Lâmpadas         | 0,36                    | 0                                | 0                          | 0            | 80        | -80       | R 13    |
| 15 01 01      | Papel/cartão     | 0,3                     | 50                               | 6                          | 6            | 80        | -65       | R 12    |
| 16 02 16      | REEE (balastros) | 0,48                    | 182,24                           | 87,48                      | 87,48        | 0         | 87,48     | R 12    |
| <b>Totais</b> |                  | 1,14                    | --                               | --                         | 93,48        | 160       | -57,52    | --      |

Todos os resíduos estavam devidamente triados, identificados e acondicionadas. No anexo C estão descritas as operações de valorização de resíduos segundo o Anexo III da Portaria n.º 209/2004 de 3 de março, no caso deste operador é indicado o R 13 e o R 12.

A execução da empreitada gerou 1,14 ton de resíduos. No anexo D pode-se observar as E-gar de recolha das lâmpadas, balastros e papel/cartão produzidos na obra.

A separação seletiva dos resíduos é efetuada por cada trabalhador. O peso das lâmpadas que foram recolhidas totalizaram 360 kg, tratavam-se das lâmpadas de menor eficiência energética que foram retiradas e substituídas pelas lâmpadas LED, foram ainda recolhidos 480 kg de balastros (REEE).

O balastro é um limitador de corrente utilizado nas lâmpadas fluorescentes e em outros dispositivos elétricos que necessitam limitar a intensidade da corrente elétrica que os atravessa durante o funcionamento, é constituído por um tipo especial de transformador, que converte a

tensão de entrada na tensão de saída necessária para o acionamento da(s) lâmpada(s) e, normalmente, utiliza um arrancador, ou dispositivo de partida, para dar ignição ao sistema [83].

O operador licenciado que efetua a recolha dos resíduos da empresa integra a rede Eletrão (antiga Amb3E) como Centro de Receção de REEE Fora de uso e Operador Logístico.

O operador receciona, separa e classifica, em função da tipologia, os equipamentos fora de uso ou obsoletos, dando-lhes o destino final de acordo com as normas e as regras de reciclagem aplicáveis na legislação. Os REEE são triados e divididos em duas partes, as matérias não recicláveis como por exemplo tubos de raios catódicos e as matérias que podem ser recicladas e reutilizadas (cobre, alumínio, ferro, plástico, borracha, papel, etc.) [84].

O operador recupera estes materiais e encaminha-os para destinos finais que os podem reutilizar. Na figura 36 pode-se observar o acondicionamento realizado na obra de alguns REEE.



Figura 36 - REEE produzidos na obra [Fonte própria, 2019]

Todos os resíduos são recolhidos pelo operador licenciado orientado para a valorização de resíduos em geral e focado na obtenção de soluções de reciclagem, são convertidos em matéria-prima e encaminhadas para o destino final adequado.

O outro resíduo que também foi produzido e recolhido foi o papel/cartão, um total de 30 kg. Este papel/cartão era maioritariamente das embalagens dos painéis fotovoltaicos e das lâmpadas. A otimização do processo de remoção e triagem permite a recuperação de resíduos, a sua transformação e a sua posterior comercialização.

Na figura 37 pode-se observar o acondicionamento realizado na obra dos resíduos de papel/cartão.



Figura 37 – Papel/cartão produzido na obra [Fonte própria, 2019]

Tabela 20 - Identificação dos impactes ambientais da produção de resíduos e medidas de controlo

| Equipamento / Tarefa ou atividade | Aspetto Ambiental                            | Impacte Ambiental  | Medidas de Controlo                 | Natureza Impacte    |
|-----------------------------------|--|--|-------------------------------------|---------------------|
|                                   |  |  |                                     | Positivo / Negativo |
| Produção de resíduos              | Produção de resíduos - 15 01 01 Papel/Cartão | Impactes Indiretos da Reciclagem/Recuperação/Valorização | Encaminhar para operador autorizado | N                   |
|                                   | Produção de resíduos - 16 02 16 Balastros    | Ocupação de Solos (Eliminação)                           | Encaminhar para operador autorizado | N                   |
|                                   |  | Impactes Indiretos da Reciclagem/Recuperação/Valorização | Encaminhar para operador autorizado | N                   |
|                                   | Produção de resíduos - 20 01 21 (*) Lâmpadas | Ocupação de Solos (Eliminação)                           | Encaminhar para operador autorizado | N                   |
|                                   |  | Impactes Indiretos da Reciclagem/Recuperação/Valorização | Encaminhar para operador autorizado | N                   |

Tabela 21 - Identificação do grau dos impactes ambientais da produção de resíduos

| Impacte Ambiental  | Classificação do Aspeto Ambiental |                          |  | Avaliação do Grau do Impacte Ambiental | Significância do Impacte Ambiental |
|--|-----------------------------------|--------------------------|--|--|------------------------------------|
|  | Severidade                        | Frequência Probabilidade | Grau Implementação Medidas de Controlo |  |                                    |
| Impactes Indiretos da Reciclagem/Recuperação/Valorização | 2                                 | 3                        | 2                                      | 12                                     | Impacte Pouco Significativo        |
| Ocupação de Solos (Eliminação)                           | 2                                 | 3                        | 2                                      | 12                                     | Impacte Pouco Significativo        |

As medidas de controlo recomendadas relativamente a produção de resíduos foi o devido encaminhamento para operador licenciado. Os impactes ambientais gerados foram avaliados como pouco significativos.

O único resíduo perigoso produzido durante a empreitada foram as lâmpadas de menor eficiência energética (lâmpadas fluorescentes) que foram retiradas e substituídas pelas lâmpadas LED. O maior problema com as lâmpadas fluorescentes acontece por conta do mercúrio presente na sua composição, ao serem descartadas no lixo comum, acabam parando em aterros sanitários e, quando quebradas, liberam o metal tóxico no solo. Então, o mercúrio chega até os lençóis freáticos e contamina os rios, plantações, animais, e, finalmente, os seres humanos. Um dos meios mais comuns de intoxicação por mercúrio é através da ingestão de peixes ou frutos do mar infetados. Outra forma muito conhecida é por meio da inalação (caso uma lâmpada quebre, a poeira liberada por ela contém altos níveis de toxicidade, sendo o vapor de mercúrio um dos mais nocivos) [85].

Os efeitos para a saúde humana da exposição ao mercúrio subdividem-se entre exposição crónica e aguda, uma vez que, ambas têm consequências diferentes, assim como a diferença de reação para cada tipo de mercúrio. Na exposição aguda, a exposição dá-se num curto período de tempo e em elevadas concentrações de substância, já na crónica, as exposições repetem-se durante um período prolongado de tempo (meses, anos ou ao longo da vida) a baixas concentrações, ocorrendo acumulação da substância tóxica no organismo [86].

Os efeitos para a saúde provenientes da inalação de elevadas concentrações de mercúrio são inicialmente respiratórios. Estes podem incluir pneumonite, bronquiolite, edema pulmonar e

morte. Pode também ter origem a efeitos cardiovasculares, gastrointestinais e neurológicos como falta de ar, dor torácica, tosse, náuseas, vômitos e diarreia [86].

A exposição durante períodos prolongados pode causar efeitos neuro-comportamentais, incluindo alterações de humor, tremores, ansiedade, distúrbios no sono e depressão. Existe igualmente a associação com doenças neurodegenerativas, como a doença de Alzheimer ou Parkinson. No geral, os efeitos da exposição de mercúrio para a saúde são [86]:

- Síndromes neurológicas;
- Síndromes Renais;
- Síndromes oftalmológicas;
- Síndromes dermatológicas.

O procedimento mais comum de reciclagem das lâmpadas fluorescentes em diversas partes do mundo é a moagem com tratamento térmico, que envolve basicamente duas fases: a de esmagamento e a de destilação do mercúrio. Para o esmagamento, as lâmpadas usadas são inseridas em processadores especiais, e, então, seus materiais são separados em cinco tipos: terminais de alumínio; pinos metálicos/componentes ferro-metálicos; vidro; poeira fosforosa rica em mercúrio e isolamento baquelítico [85].

Depois de separados, estes materiais podem ser encaminhados para empresas específicas que fazem sua reciclagem. O vidro pode ser reciclado para ser reutilizado na fabricação de produtos que não envolvam alimentos, por exemplo. O alumínio e os pinos metálicos, depois de devidamente higienizados, podem ser enviados para reciclagem em indústrias de fundição [85].

A poeira de fósforo é, normalmente, enviada para uma unidade de destilação, onde o mercúrio é extraído. O mercúrio, então, é recuperado e pode ser reutilizado. O pó de fósforo resultante deste processo pode ser reciclado e usado na indústria de tintas ou reutilizado em fábricas de cimento, por exemplo. O isolamento baquelítico, existente nas extremidades da lâmpada, é o único componente que não pode ser reciclado [85].

Na obra do caso de estudo das lâmpadas que foram retiradas para serem substituídas por LED não haviam lâmpadas incandescentes.

As lâmpadas incandescentes, compostas basicamente de vidro, metal e um filamento de tungstênio, não são recicláveis. Isso porque a composição de seu vidro é diferente dos demais: ele contém pequenas partículas de metal. A vantagem que este tipo de lâmpadas apresenta é não possuir nenhum componente tóxico [85].

Atendendo a que a maior quantidade de resíduos produzidos foram as lâmpadas fluorescentes substituídas e que totalizaram cerca de 360 kilos, pelo impacte deste resíduo foi estudada, em particular, a composição destas lâmpadas para avaliar o impacte ambiental dos seus componentes.

Para estudar a composição material das lâmpadas fluorescentes foram destruídas cinco destas lâmpadas e analisados e quantificados os diversos componentes. Os ensaios foram realizados em laboratório com condições de segurança controladas para os operadores e para o ambiente.

Foram usadas lâmpadas fluorescentes de 36 W (L36W/10) com 1,20 m de comprimento. Todos os ensaios foram repetidos para as cinco lâmpadas e os números apresentados referem-se aos valores médios obtidos. Não foram identificados valores aberrantes durante os ensaios.

As lâmpadas foram pesadas e posteriormente quebradas. A quebra foi realizada em *hotte* com a lâmpada encapsulada em dois sacos de plástico de tipo tubular e que são vulgarmente usados em embalagem de posters (figura 38). A quebra foi realizada com maço de borracha de modo a realizar uma quebra progressiva e razoavelmente controlada. Os componentes foram recolhidos e desmontados também na *hotte* e sobre um tabuleiro plástico de modo a recuperar todos os pedaços das lâmpadas.



Figura 38 - Encapsulamento da lâmpada para quebra [Fonte própria, 2021]

Foram identificados os diversos componentes da lâmpada como mostrado na figura 39. Identificaram-se as seguintes partes da lâmpada:

- Tubo de vidro revestido (a);
- Dois topos de Alumínio (b);
- Quatro terminais de contacto em cobre (c);
- Dois suportes dos terminais em baquelite (d);

- Dois cilindros (e);
- Quatro suporte dos filamentos (f);
- Dois filamentos (g);
- Massa amarela de suporte.

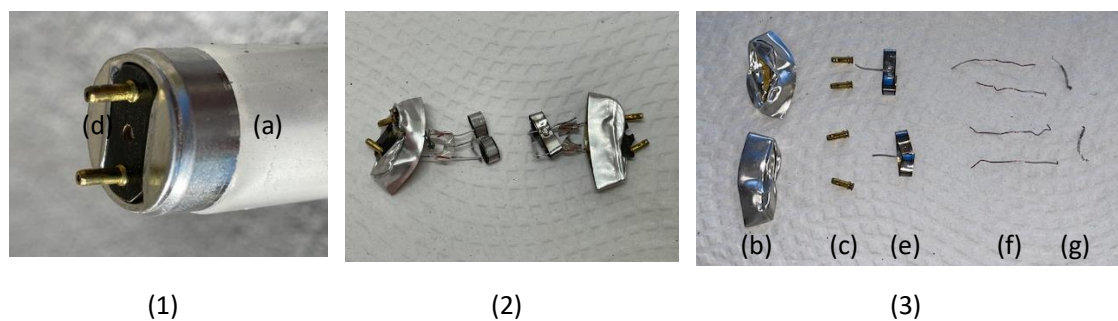


Figura 39 - Componentes da lâmpada [Fonte própria, 2021]

(1) topo e tubo de vidro, (2) elétrodos interiores, (3) componentes dos topos e elétrodos.

As massas de cada uma das partes das lâmpadas foram avaliadas por pesagem e os resultados obtidos são mostrados na tabela 22.

Tabela 22 - Massas de cada uma das partes das lâmpadas

| Componente                                | Peso Médio (g) | Desvio Padrão (g) |
|---|----------------|-------------------|
| Peso total da lâmpada                     | 159,9          | 1,5               |
| Tubo de vidro revestido (um por lâmpada)  | 154,2          | 1,4               |
| Topos de Alumínio (dois)                  | 1,68           | 0,021             |
| Terminais de contacto em cobre (quatro)   | 0,898          | 0,013             |
| Suporte dos terminais em baquelite (dois) | 0,875          | 0,012             |
| Cilindros (dois)                          | 0,740          | 0,011             |
| Suporte dos filamentos (quatro)           | 0,195          | 0,004             |
| Filamentos (dois)                         | 0,0286         | 0,0023            |
| Massa amarela de suporte                  | 0,9            | 0,2               |

Pelas pesagens das lâmpadas individualmente face aos resíduos, conclui-se que se enviaram para reciclagem cerca de 1500 lâmpadas fluorescentes.

Atendendo ao peso dos componentes em cada uma das lâmpadas podemos estimar a quantidade dos diferentes tipos de materiais enviados para a reciclagem como é mostrado na tabela 23.

Tabela 23 - Quantidade estimada dos diferentes tipos de materiais enviados para a reciclagem

| <b>Componente</b>                  | <b>Peso Médio (kg)</b> |
|------------------------------------|------------------------|
| Tubo de vidro revestido            | 231                    |
| Topos de Alumínio                  | 2,52                   |
| Terminais de contacto em cobre     | 1,35                   |
| Suporte dos terminais em baquelite | 1,31                   |
| Cilindros                          | 1,11                   |
| Suporte dos filamentos             | 0,293                  |
| Filamentos                         | 0,0429                 |
| Massa amarela de suporte           | 1,35                   |

#### 6.4.5. Produção de efluentes líquidos

Os efluentes líquidos gerados na construção civil são: esgoto domiciliar e água residual resultante da lavagem das betoneiras. No caso de estudo a produção de efluentes líquidos foi gerada pela utilização dos WC químicos, e pela utilização das casas de banho nas instalações de apoio.

Os WC químicos constituem-se de uma cabine plástica com sanita, mictório, tanque de armazenamento de dejetos e tubo de ventilação como mostrado na figura 40. A capacidade do tanque de armazenamento de dejetos pode variar de 180 a 280 litros, nestes tanques, em geral são adicionadas substâncias desodorizantes [87].



Figura 40 - WC químico [87]

Nessa perspectiva, os desodorizantes dos WC químicos são utilizados para inibir a atividade microbiana no meio e dessa maneira minimizar a liberação de maus odores gerados pelo metabolismo microbiano, tornando assim o ambiente propício ao uso [88].

No passado o formaldeído por ser um produto bastante eficaz na minimização do odor e na higienização era muito utilizado neste tipo de sanitário, atualmente os produtos químicos utilizados são mais seguros para o usuário e menos danosos para o meio ambiente.

Atualmente os desodorizantes possuem na sua composição surfactantes, essências aromáticas, corantes e biocidas [89].

Além das substâncias mencionadas, os desodorizantes ainda podem conter na sua composição outros tipos de compostos químicos tóxicos e nocivos à saúde e ao meio ambiente, tais como álcool etílico, hipoclorito de sódio, ácido dodecil benzeno sulfonato de sódio, cloreto de benzalcônio, nonil fenol etoxilado, propilenoglicol, sulfato de magnésio e glutaraldeído [88].

O lançamento indevido desse material em meio hídrico pode gerar danos ambientais graves, tais como contaminação das águas superficiais, diminuição da biodiversidade e até a mortalidade de organismos aquáticos, em função de sua elevada carga orgânica e tóxica [88].

Além disso, devido à sua elevada concentração de organismos patogênicos, estes efluentes apresentam elevado risco à saúde pública e seu manuseamento deve ser controlado e fiscalizado [88].

Os impactos ambientais e à saúde humana decorrentes da gestão inadequada de efluentes de WC químicos ainda são desconhecidos e ainda são ausentes os estudos que indiquem as características dos efluentes e a sua toxicidade.

Tabela 24 - Identificação dos impactos ambientais da produção de efluentes líquidos e medidas de controle

| Equipamento / Tarefa ou atividade              | Aspetto Ambiental              | Impacte Ambiental                               | Medidas de Controlo  | Natureza Impacte    |
|--|--------------------------------|---|--|---------------------|
|  |                                |   |  | Positivo / Negativo |
| Uso de casas de banho nas instalações de apoio | Produção de efluentes líquidos | Contaminação da água (Produção águas residuais) | Garantir que as descargas estão a ser efetuadas em coletor municipal   | N                   |
| Uso de WC químicos no estaleiro da obra        |                                | Contaminação da água                            | Evidência do correto encaminhamento dos efluentes líquidos (proveniente da empresa de aluguer do WC químicos). | N                   |

Tabela 25 - Identificação do grau dos impactes ambientais da produção de efluentes

| Impacte Ambiental                               | Classificação do Aspeto Ambiental |                          |  | Avaliação do Grau do Impacte Ambiental | Significância do Impacte Ambiental |
|---|-----------------------------------|--------------------------|--|--|------------------------------------|
|   | Severidade                        | Frequência Probabilidade | Grau Implementação Medidas de Controlo |  |                                    |
| Contaminação da água (Produção águas residuais) | 2                                 | 3                        | 2                                      | 12                                     | Impacte Pouco Significativo        |
| Contaminação da água                            | 2                                 | 3                        | 2                                      | 12                                     | Impacte Pouco Significativo        |

Relativamente a utilização dos WC químicos a medida de controlo apresentada foi a apresentação da evidência do correto encaminhamento dos efluentes líquidos (proveniente da empresa de aluguer de WC químicos). Os impactes ambientais gerados foram avaliados como pouco significativos.

#### 6.4.6. Emissão de gases para a atmosfera e material particulado

As atividades de construção civil são grandes fontes potenciais de emissão para a atmosfera, em todas as fases do ciclo de vida dos seus produtos.

A circulação de materiais, equipamentos, máquinas e veículos, pode causar diversos impactes, entre eles estão: a deterioração da qualidade do ar pela emissão de gases ou material particulado.

São muitas as substâncias tóxicas emitidas pelos veículos. A emissão de gases poluentes pelos veículos afeta principalmente as vias respiratórias; os gases com maior potencial são o material particulado e os hidrocarbonetos não metanos. Os efeitos podem impactar negativamente a saúde em longo prazo [90].

O material particulado resulta essencialmente das emissões do tráfego automóvel, do aquecimento doméstico e das atividades industriais, sendo ao nível dos grandes aglomerados populacionais onde a exposição a este poluente é mais preocupante. As emissões naturais são também uma fonte de partículas, como é o caso das poeiras provenientes dos desertos do Norte de África e as resultantes dos incêndios florestais, podendo ter uma contribuição significativa no incremento dos níveis de partículas em território nacional [91].

Os efeitos das partículas inaláveis na saúde humana manifestam-se sobretudo ao nível do aparelho respiratório, dependendo da sua composição química, mas também do local onde estas se depositam. Assim, as partículas de maiores dimensões são normalmente filtradas, ao nível do nariz e das vias respiratórias superiores, podendo estar relacionadas com irritações e hipersecreção das mucosas. Já as partículas de menores dimensões, com um diâmetro aerodinâmico equivalente inferior a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>) são normalmente mais nocivas dado que se depositam ao nível das unidades funcionais do aparelho respiratório [91].

A fase de construção de um edifício, assim como em outros tipos de obras como por exemplo de eficiência energética, apresenta uma grande variedade de atividades, bastante diferenciadas entre si. Isso faz com que, dentro de uma única obra, ao longo da sua execução sejam criadas fontes de emissão de material particulado de características diversificadas, sob vários aspetos (concentração produzida, tamanho de partícula, composição de partícula, tempo de emissão, entre outros). Esta diversidade, também cria uma variedade de medidas de controle, adaptada a cada uma das situações. As características de emissão podem ser alteradas, fazendo com que cada caso seja um caso. Embora possam ser previstas regras gerais, cada novo projeto vai necessitar de uma avaliação específica, mesmo porque, as obras mudam sua localização e, conseqüentemente, podem mudar as características do meio ambiente afetado. Além disso, o tempo de execução é variável, gerando efeitos nocivos por mais ou menos tempo [92].

Existe uma grande variedade de atividades na construção civil que são potenciais fontes de emissão de material particulado [92]:

- Demolições;
- Movimentação de terra e serviços preliminares;
- Serviços de construção.

Dentro destes grupos há conjuntos de atividades que são comuns a todos eles e que possuem características particulares de emissão, por isso, além da divisão acima existem mais dois grupos de classificação: - transporte, armazenagem e remoção de materiais e resíduos, veículos e equipamentos de produção e transporte [92].

As atividades de demolição, geralmente, ocorrem em curto período de tempo, porém, a produção de material particulado nestas atividades é bastante significativa [93].

As partículas geradas são em grande parte de fração grossa, mas também são encontradas partículas de fração fina, provenientes principalmente da combustão de motores dos veículos e equipamentos utilizados durante a demolição [92].

Tabela 26 - Atividades emissoras e medidas de prevenção e controlo durante atividades de demolição [93]

| Fonte potencial                              | Medidas de controlo   |
|--|---|
| Emissão de partículas de atividades diversas | - Cercar a obra ou pontos de emissão com telas de poliéster de malha fina ou outras barreiras físicas, como chapas de madeira, tecidos, entre outros, de modo a garantir que as partículas mesmo quando movimentadas pelos ventos não passem dos limites da obra.   |
| Materiais biológicos                         | - Todo o tipo de material biológico presente que apresente riscos ao meio, deve ser removido antes do início da demolição. Deve-se evitar que o material se torne um aerossol, quando removido;<br>- Aspergir água com mangueiras de alta vazão, ou dispositivos associados aos equipamentos, antes e durante a demolição.  |
| Descarga e transporte de materiais           | - O lançamento de materiais em contentores ou camiões deve ser feito da menor altura possível, evitando maior dispersão na atmosfera;<br>- Os contentores e camiões devem ser humedecidos e cobertos para evitar dispersão de partículas;<br>- Evitar atividades de demolição quando as velocidades do vento estiverem elevadas;<br>- Manter a área humedecida após o término da demolição. Em períodos grandes, utilizar estabilizadores químicos. |
| Armazenamento de resíduos na obra            | - Os resíduos devem ser removidos o quanto antes da obra, evitando sua exposição a ventos e chuvas. Quando não for possível, devem ser cercados, humedecidos e cobertos.  |
| Cortes com maçarico                          | - É recomendável a utilização de exaustores localizados, conforme a intensidade de utilização.  |
| Trânsito de veículos                         | - As rotas de veículos devem estar sempre humedecidas com água ou estabilizadores químicos biodegradáveis.  |

Na maioria dos casos, a movimentação de terra e serviços de preparação do terreno são realizados por equipamentos mecânicos, com capacidade para movimentar quantidades de material muito maiores do que com o uso de ferramentas manuais, isso faz com que a emissão seja elevada [92].

Em muitas obras de eficiência energética visando a instalação de painéis fotovoltaicos as atividades de movimentação de terra procedem-se à abertura de valas para instalação dos cabos elétricos, controlo e comando de interligação entre os *strings* e os PT/Inversores, mas também a transporte de terra, carga e descarga a partir de veículos e equipamentos.

Outra fonte de produção de material particulado relacionada às atividades de movimentação de terra é o transporte de lama aderida a pneus de veículos, que é espalhada pelas vias públicas. Essa lama, depois de seca, é ressuspensa pelos ventos, constituindo em uma importante fonte de produção de aerossóis [92].

Tabela 27 - Atividades emissoras e medidas de prevenção e controle durante atividades de movimentação de terras e serviços preliminares [93]

| <b>Fonte potencial</b>                   | <b>Medidas de prevenção e controle</b>  |
|--|---|
| Durante a movimentação de terra em geral | <ul style="list-style-type: none"> <li>- A vegetação existente deve ser removida conforme o avanço das atividades de movimentação de terra, evitando exposição do solo;</li> <li>- Serviços de escavação devem ser evitados durante períodos muito secos e com ventos fortes;</li> <li>- A remoção de terra da obra deve ser feita, preferencialmente, logo após sua escavação/movimentação;</li> <li>- Sempre que possível, humedecer o solo periodicamente;</li> <li>- Prever barreiras físicas ao redor da obra ou das áreas de trabalho para diminuir as emissões além do limite da obra;</li> <li>- Caso possível, manter as áreas em escavação humedecidas e cobertas nos períodos de paralisação;</li> <li>- Controlar a altura de lançamento de terra nos trabalhos de carga e descarga;</li> <li>- Esvaziar os caminhões lentamente, evitando formação de nuvens de poeira.</li> </ul> |
| Término da movimentação de terra         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sempre que possível, aplicar vegetação sobre o solo logo que forem finalizados os serviços de movimentação de terra;</li> <li>- Sempre que possível, aplicar pavimentação definitiva ou provisória sobre o solo para evitar sua exposição;</li> <li>- Quando não for possível nenhuma das opções acima, recomenda-se humedecer o solo periodicamente ou ainda aplicar estabilizadores químicos.</li> </ul>   |
| Armazenamento de terra                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Devem ser humedecidos periodicamente e cobertos com lona;</li> <li>- Outra opção é molhar a superfície com estabilizadores químicos.</li> </ul>  |
| Transporte de material                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Os caminhões transportadores devem ser cobertos com lona ou outra barreira física;</li> <li>- Os pneus dos caminhões devem ser lavados sempre que deixarem a obra. A água de lavagem deve ser adequadamente recolhida para impedir danos ao meio ambiente.</li> </ul>  |

Tabela 28 - Controle e prevenção de emissões provenientes de veículos de construção e transporte nas obras [93]

| <b>Atividade geradora</b> | <b>Medidas de controle</b>  |
|---------------------------|---|
| Combustão de motores      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Realizar inspeção visual: veículos não devem emitir gases de escape pretos durante suas atividades;</li> <li>- Realizar manutenção periódica dos veículos de modo a manter suas emissões dentro dos padrões legais;</li> <li>- Veículos não devem permanecer ligados quando não estiverem a trabalhar;</li> <li>- Preferencialmente a saída de exaustão dos veículos deve se localizar o mais alto possível e virada para cima para facilitar a dispersão;</li> <li>- Evitar a operação de veículos próximo a áreas sensíveis;</li> <li>- Sempre que possível, dar preferência a motores elétricos ou de baixa emissão de poluentes;</li> <li>- Diminuir ao máximo a necessidade de operações e movimentações dos veículos dentro do estaleiro.</li> </ul> |
| Durante a movimentação    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Humedecer periodicamente ou utilizar estabilizadores químicos nas vias de circulação de terra ou de outros materiais sujeitos a suspensão;</li> <li>- Realizar limpezas periódicas nas áreas de entrada e saída de veículos no estaleiro, procurando mantê-las sempre livres de partículas;</li> </ul>   |

|  |   |
|--|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- É recomendável que diariamente, ou conforme necessidade, seja feita limpeza nas vias próximas ao estaleiro;</li> <li>- A limpeza pode ser feita por lavagem ou equipamentos especiais de varredura e limpeza, conforme o caso;</li> <li>- Lavar sempre os pneus e esteiras dos veículos antes da sua saída da obra. Em alguns casos, pode ser necessária a lavagem do veículo;</li> <li>- Quando houver grande movimentação de veículos, planejar uma área especial destinada à lavagem para evitar aglomerações de veículos e perda de produtividade;</li> <li>- Sempre que possível, restringir a movimentação dos veículos a vias pavimentadas dentro da obra;</li> <li>- Conceber a planta de estaleiro de modo a evitar ao máximo a circulação de veículos no seu interior;</li> <li>- Limitar a velocidade dos veículos para evitar suspensão de partículas. Recomenda-se velocidades abaixo de 30km/h;</li> <li>- Evitar a circulação de veículos próximo a áreas sensíveis.</li> </ul> |
|--|---|

E recomendável ainda antes de comprar ou alugar um equipamento, comparar a eficiência e o nível de emissões dos diferentes modelos disponíveis.

Tabela 29 - Identificação dos impactes ambientais das emissões para a atmosfera (material particulado) e medidas de controlo

| Equipamento / Tarefa ou atividade   | Aspeto Ambiental          | Impacte Ambiental             | Medidas de Controlo   | Natureza Impacte    |
|-------------------------------------|---------------------------|-------------------------------|---|---------------------|
|                                     |                           |                               |   | Positivo / Negativo |
| Veículos de construção e transporte | Emissões para a atmosfera | Degradação da qualidade do ar | Medidas de controlo e prevenção de emissões provenientes de veículos de construção e transporte nas obras (tabela 26) | N                   |
|                                     |                           |                               |   | N                   |

Tabela 30 - Identificação do grau dos impactes ambientais das emissões para a atmosfera (material particulado)

| Impacte Ambiental             | Classificação do Aspeto Ambiental |                          |  | Avaliação do Grau do Impacte Ambiental | Significância do Impacte Ambiental |
|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|--|--|------------------------------------|
|                               | Severidade                        | Frequência Probabilidade | Grau Implementação Medidas de Controlo |  |                                    |
| Degradação da qualidade do ar | 2                                 | 3                        | 2                                      | 12                                     | Impacte Pouco Significativo        |

As medidas de controlo recomendadas durante a fase de construção do projeto do caso de estudo relativamente as emissões de gases para a atmosfera e material particulado foi a adoção das medidas de controlo e prevenção de emissões provenientes de veículos de construção e

transporte nas obras apresentadas na tabela 28. Os impactes ambientais gerados pelo consumo foram avaliados como pouco significativos.

#### 6.4.7. Emissão de ruído

A exposição ao ruído ambiental pode repercutir-se na saúde de diversas formas, entre as quais se incluem: perda de audição, perturbações fisiológicas, perturbações no sono, interferência na comunicação e incomodidade, sendo este o efeito menos específico, contudo não menos sério. O sentimento de incómodo resulta não só nas perturbações do sono e interferência com a comunicação [94].

O estaleiro de uma obra altera o ambiente onde está implementado já que as suas atividades implicam a circulação de pessoas, veículos e máquinas, estas fontes juntam-se ao habitual, tráfego rodoviário e todas as atividades já existentes no local.

As atividades de uma obra ocorrem em quase toda a sua totalidade em ambientes abertos; a construção, em si só, não apresenta condições de isolamento sonoro, a não ser nas fases finais da mesma, quando as tarefas se tornam internas, como no caso dos acabamentos. Devido aos tipos e movimentação necessária dentro dos estaleiros, o enclausuramento das fontes de ruído neste panorama não é uma tarefa fácil. É possível mitigar o efeito desses ruídos para o ambiente com a colocação de barreiras temporárias, além de limitar o horário de trabalho da construção, de tal maneira que se permita o descanso adequado dos habitantes da região [95].

A “*Construction Safety Association of Ontario*” efetuou o levantamento dos níveis de ruído emitidos por algumas atividades de construção. Verificou-se que atividades como a execução de alvenarias, trabalhos de carpintaria e trabalhos realizados com maquinaria pesada apresentam níveis sonoros médios de ruído de cerca de 90 dB(A) [96].

O impacto provocado pelo ruído é especialmente sentido quando o estaleiro é implantado em áreas especialmente sensíveis a este tipo de inconveniente como proximidade de hospitais, escolas, escritórios, residências, etc. [96].

A maioria dos ruídos na construção civil provém dos equipamentos. Os equipamentos são definidos como “o conjunto de tudo aquilo que serve para equipar, prover e abastecer uma construção, sendo as ferramentas e máquinas de larga utilização na construção civil as maiores fontes de emissão de ruído” [97].

É possível enumerar as máquinas que possuem nível de ruído elevado na construção civil, como como exemplo os seguintes: serras circulares de bancada, serras circulares portáteis, lixadoras

manuais elétricas e pneumáticas, tornas elétricas, betoneiras, compressores, martelos, vibradores de betão, etc. [98].

Na obra do caso de estudo durante a execução das tarefas foram utilizados berbequins elétricos, rebarbadoras elétricas, ou seja, material elétrico sempre que possível.

Tabela 31 - Identificação dos impactes ambientais da emissão de ruído e medidas de controlo

| Equipamento / Tarefa ou atividade   | Aspeto Ambiental | Impacte Ambiental     | Medidas de Controlo   | Natureza Impacte    |
|-------------------------------------|------------------|-----------------------|---|---------------------|
|                                     |                  |                       |   | Positivo / Negativo |
| Utilização de equipamentos ruidosos | Emissão de ruído | Incomodidade acústica | - Limitar o horário de trabalho<br>- Evitar ou minimizar os trabalhos que provoquem ruído.  | N                   |
| Veículos de construção e transporte |                  |                       | - Definir uma política de aquisição de maquinaria e equipamento de trabalho de baixo ruído. | N                   |

Tabela 32 - Identificação do grau dos impactes ambientais da emissão de ruído

| Impacte Ambiental     | Classificação do Aspeto Ambiental |                          |  | Avaliação do Grau do Impacte Ambiental | Significância do Impacte Ambiental |
|-----------------------|-----------------------------------|--------------------------|--|--|------------------------------------|
|                       | Severidade                        | Frequência Probabilidade | Grau Implementação Medidas de Controlo |  |                                    |
| Incomodidade acústica | 2                                 | 3                        | 2                                      | 12                                     | Impacte Pouco Significativo        |

As medidas de controlo recomendadas relativamente a emissão de ruído foram: - a adoção de limites de horário de trabalho; - minimização dos trabalhos que provoquem ruído, e definição de uma política de aquisição de maquinaria e equipamento de trabalho de baixo ruído. Os impactes ambientais gerados foram avaliados como pouco significativos.

#### 6.4.8. Derrame de produtos

O derrame de óleo e combustível oriundo dos veículos de construção é também um aspeto ambiental que deve ser considerado na fase de construção das obras de eficiência energética. A manutenção e limpeza de ferramentas, equipamentos, máquinas e veículos, também se feita sobre solo permeável, pode gerar contaminação química do solo e alteração da qualidade de águas subterrâneas, por exemplo, pelo derramamento de óleo ou produtos de limpeza. Estes

produtos também podem causar alteração da qualidade de águas superficiais pelo escoamento superficial.

Tabela 33 - Identificação dos impactos ambientais do derrame de produtos e medidas de controlo

| Equipamento / Tarefa ou atividade   | Aspeto Ambiental    | Impacte Ambiental                  | Medidas de Controlo   | Natureza Impacte    |
|-------------------------------------|---------------------|------------------------------------|---|---------------------|
|                                     |                     |                                    |   | Positivo / Negativo |
| Veículos de construção e transporte | Derrame de produtos | Contaminação do solo               | - Inspeção visual dos veículos;<br>- Kit de contenção de derrames presente na frente de trabalho; | N                   |
|                                     |                     | Contaminação dos recursos hídricos | - Manutenção periódica dos veículos.  | N                   |

Tabela 34 - Identificação do grau dos impactos ambientais do derrame de produtos

| Impacte Ambiental                  | Classificação do Aspeto Ambiental |                          |  | Avaliação do Grau do Impacte Ambiental | Significância do Impacte Ambiental |
|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|--|--|------------------------------------|
|                                    | Severidade                        | Frequência Probabilidade | Grau Implementação Medidas de Controlo |  |                                    |
| Contaminação do solo               | 2                                 | 2                        | 2                                      | 8                                      | Impacte Pouco Significativo        |
| Contaminação dos recursos hídricos | 2                                 | 2                        | 2                                      | 8                                      | Impacte Pouco Significativo        |

As medidas de controlo recomendadas relativamente ao derrame de produtos foram: - inspeção visual dos veículos; - presença de kit de contenção de derrames na frente de trabalho (figura 41) e manutenção periódica dos veículos. Os impactos ambientais gerados foram avaliados como pouco significativos.



Figura 41 - Kit de contenção de derrames presente na frente de trabalho [Fonte própria, 2019]

## 6.5. Identificação dos Impactes Ambientais durante a fase de construção

Os impactes ambientais identificados foram a ocupação do solo (ex.: resíduos enviados para aterro sanitário etc.), contaminação do solo (ex.: produção de resíduos perigosos, etc.), contaminação dos recursos hídricos (ex.: descargas de efluentes, derrames de substâncias perigosas), degradação da qualidade do ar e depleção da camada de ozono (ex.: emissão de gases de escape, emissão de poeiras e partículas, etc.), impactes indiretos na valorização (ex.: resíduos enviados para reciclar, etc.) e a incomodidade acústica (ex. emissão de ruído).

### 6.5.1. Ocupação do solo (resíduos enviados para aterro sanitário)

A disposição final dos resíduos enquanto última etapa da gestão dos resíduos sólidos urbanos, requer atenção especial. O primeiro passo para uma disposição final adequada inicia-se com a seleção de locais favoráveis para a implementação do aterro sanitário, do ponto de vista ambiental. Áreas adequadas, além de promoverem a proteção ao ambiente e à saúde pública, representam menores gastos com as etapas de implementação, operação e encerramento do empreendimento, proporcionando economia em todo o processo [99].

Para um terreno ser adequado à disposição de resíduos, este deve apresentar as seguintes características relativas ao meio abiótico: baixo fluxo de água subterrânea nos arredores da área de disposição; baixa permeabilidade; grande espessura e homogeneidade do material geológico, alta capacidade de retenção (adsorção) de compostos; baixa solubilidade química; baixa erodibilidade do substrato. Além dos atributos do meio físico, também devem ser observadas as características dos meios biótico e socioeconômico, mesmo que em etapas distintas no processo de seleção de áreas [100].

As obras de eficiência energética estão sujeitas a causar impacte ambiental relativo a ocupação dos solos no âmbito da produção de resíduos que podem ser enviados para aterro.

Nestes resíduos estão enquadrados por exemplo as misturas de resíduos contaminados que devido a má gestão, acondicionamento e triagem incorreta os operadores de recolha não conseguem enquadrá-los num processo de reciclagem e tem como destino final os aterros sanitários. Existe também a problemáticas das lâmpadas incandescentes que não são recicláveis, a composição do vidro é feita de um modo diferente, contando com pequenas partículas de metal, as fluorescentes por sua vez já são recicláveis, porém o processo de descontaminação é caro e demorado.

Nos projetos de substituição por tecnologia LED quando a instalação é ampla e principalmente em edifícios públicos em que as plantas não são muito minuciosas existe a possibilidade dos levantamentos serem imprecisos, ou seja, muitos levantamentos feitos antes do arranque da obra identificam apenas lâmpadas fluorescentes no edifício e durante a fase de execução são identificadas algumas lâmpadas incandescentes.

Por isso a importância em identificar sempre a possibilidade da ocupação dos solos ser um dos impactes ambientais da construção, apesar de no planeamento inicial determinar-se apenas resíduos valorizáveis. Na fase de construção da obra do caso de estudo não houve produção de resíduos não valorizáveis.

### 6.5.2. Contaminação do solo

A contaminação do solo ou poluição do solo é causada pela presença de produtos químicos xenobióticos (estranhos ao organismo humano) ou outras alterações no ambiente natural do solo. É tipicamente causada por atividade industrial, produtos químicos agrícolas ou descarte inadequado de resíduos [101].

A contaminação está correlacionada com o grau de industrialização e intensidade do uso de produtos químicos [101].

Os efeitos da contaminação do solo são:

- Alterações climáticas - O desmatamento causa uma mudança no ciclo da chuva e isso é um fator que contribui para o aquecimento global e a perda de ecossistemas.
- Perda de fertilidade do solo - Os produtos químicos usados nos solos reduzem sua fertilidade de modo que a produção de alimentos diminui.
- Impacte na saúde humana - Inúmeras mortes foram causadas devido à ingestão de alimentos que são cultivados em solos tóxicos, bem como o consumo de água de aquíferos contaminados em função de contaminações do solo [101].

Os principais impactes negativos durante a fase de construção de um projeto de eficiência energética poderão resultar:

- da instalação de um estaleiro, depósitos de materiais e escombros que podem levar contaminação dos solos por óleos, combustíveis, etc. e outras substâncias tóxicas e compactação dos solos pela passagem de equipamentos pesados;
- do contacto do solo com os resíduos perigosos;

- a perda de proteção vegetal do solo nas áreas desmatadas e nas áreas a escavar (manchas de empréstimo) criará condições para um aumento da erosão dos solos, sobretudo de origem pluvial (caso ocorram chuvas fortes).

Na fase de construção da obra do estudo de caso a contaminação do solo poderia resultar da instalação do estaleiro e possíveis derrames por óleos/combustíveis das máquinas utilizadas para realizar a elevação dos módulos do fotovoltaico para a cobertura, e do contacto do solo com as lâmpadas no parque de resíduos.

As lâmpadas retiradas da instalação estavam devidamente acondicionadas nas caixas de papelão onde estavam as lâmpadas LED, o seu acondicionamento foi feito de forma que estivessem protegidas de intempéries ou de qualquer outra condição que pudesse originar escorrências para o solo. Não houve indícios de contaminação do solo, como procedimento interno da empresa, todas as frentes de trabalho deverão possuir um kit de contenção de derrames.

### 6.5.3. Contaminação dos recursos hídricos

Das diversas formas de poluição da água subterrânea pode-se mencionar o uso intensivo de adubos e pesticidas em atividades agrícolas; a deposição de resíduos industriais sólidos e líquidos ou de produtos que podem ser dissolvidos e arrastados por águas de infiltração em terrenos mais vulneráveis; a deposição de resíduos sólidos urbanos em aterros; a deposição de dejetos animais resultantes de atividades agropecuárias; a construção incorreta de fossas sépticas, entre muitos outros [102].

A poluição química das águas de superfície, representa uma ameaça para o ambiente aquático, com efeitos de toxicidade para os organismos aquáticos, acumulação de resíduos nos ecossistemas, perdas de habitats e de biodiversidade e é claro constitui uma ameaça para a saúde pública. Existindo um problema de poluição química, a solução passa por identificar a causa da mesma, tratando sempre que possível as emissões na fonte. Esta intervenção é de carácter prioritário e deverá ser resolvido da maneira mais eficaz quer em termos económicos e quer ambientais [102].

Durante a fase de construção de projetos de eficiência energética poderão ocorrer impactes negativos decorrentes de:

- Ações de desmatação e movimentação que contribuirão para o aumento do transporte de sedimentos e da turbidez nas linhas de água;

- Depósitos de materiais e escombros que podem levar a contaminação dos solos por óleos, combustíveis, etc. e outras substâncias tóxicas;
- Lançamento indevido em meio hídrico dos produtos dos WC químicos;
- Lançamento indevido em meio hídrico das águas residuais resultantes da lavagem das betoneiras.

Na fase de construção da obra do caso de estudo a contaminação dos recursos hídricos poderia ocorrer a partir do lançamento indevido em meio hídrico dos produtos dos WC químicos, estes produtos possuem em sua composição surfactantes, essências aromáticas e corantes, além de princípios ativos de elevada toxicidade, como o formaldeído.

O lançamento indevido desse material em meio hídrico pode gerar danos ambientais graves, tais como contaminação das águas superficiais, diminuição da biodiversidade e até a mortalidade de organismos aquáticos, em função de sua elevada carga orgânica e tóxica, além disso, devido à sua elevada concentração de organismos patogênicos, estes efluentes apresentam elevado risco à saúde pública e seu manuseamento deve ser controlado e fiscalizado [88].

No caso de estudo os WC químicos são alugados de empresas especializadas em sanitários portáteis, e que são igualmente encarregues de fazer toda a gestão destas instalações (limpeza/manutenção e tratar da recolha do equipamento/efluente).

São priorizadas as empresas especializadas com iniciativas eco responsáveis e certificadas.

#### 6.5.4. Degradação da qualidade do ar e depleção da camada de ozono

Eventuais fontes de poluição atmosférica originadas pelos projetos de eficiência energética estão associadas à fase de construção e relaciona-se com:

- A emissão de poeiras e gases de combustão provenientes dos escapes dos motores das máquinas e das viaturas afetas à obra.

No caso de estudo este impacto é ocasionado pelas poeiras e gases de combustão dos motores das viaturas que estão afetas à obra que são na sua totalidade veículos movidos a combustíveis fósseis.

Para muitos materiais da construção civil, incluindo aço, alumínio e cobre, as emissões de gases efeito estufa no processo de extração e transformação dos minérios é extremamente

significativa, se analisado todo o ciclo de vida do produto. Já é possível encontrar no mercado materiais com alto teor de conteúdo reciclado, o que minimiza o impacto [103].

#### 6.5.5. Impactes indiretos na valorização

As atividades de valorização como qualquer outra atividade industrial produz detritos contaminantes.

Como por exemplo a reciclagem de papel é vista, quase sempre, como uma prática totalmente inócua e até benéfica ao meio ambiente, em oposição aos impactos provocados pelo processo de fabricação de papel virgem. Porém, este senso comum está equivocado, não podemos dizer que um tipo de papel é bom e o outro é mau, ambos resultam de processos industriais e geram carga poluente [104].

As vantagens e desvantagens de cada material devem ser analisadas a partir de dois fatores: a finalidade para o qual ele será destinado e sua cadeia produtiva. No fabrico de embalagens e produtos para fins sanitários, as exigências quanto à qualidade do papel são mínimas e, assim, o processo de reaproveitamento é simples e viável. Já para outros usos, é necessário um material de alta qualidade e durabilidade, como é o caso de documentos importantes que devem ser guardados por muito tempo. Neste caso, a opção pela reciclagem implicaria uma técnica dispendiosa e até agressiva para o meio ambiente, devido aos poluentes resultantes do branqueamento das fibras de celulose [104].

A fase de construção da obra do caso de estudo gerou 1,14 ton de resíduos todos eles valorizáveis, pelo que é importante considerar os impactos indiretos da valorização como uma das implicações do projeto.

#### 6.5.6. Incomodidade acústica

O ruído assume-se como um dos problemas de saúde pública mais importantes da sociedade moderna. Os efeitos do ruído são diversos e preocupantes e o evoluir de investigação sobre os seus efeitos nocivos na saúde pública tem permitido assistir a um número crescente de políticas públicas e respetivo enquadramento legislativo tendentes à minoração dos seus efeitos.

Tanto as políticas de saúde da OMS, como os enquadramentos legislativos comunitários e nacional têm vindo a dar ao ruído a importância crescente impondo tanto o seu diagnóstico como a adoção de um conjunto de medidas que conduzam à sua redução.

Evidências apontadas pela OMS revelam que pelo menos um milhão de anos de vida saudáveis são perdidos devido ao ruído de tráfego nos países da Europa Ocidental. Os distúrbios de sono e o incômodo relacionado com o ruído de tráfego são os exemplos mais preocupantes do efeito do ruído na saúde [105].

No Concelho de Lisboa 18% da população está sujeita a níveis de ruído superiores ao limite estipulado por lei sendo 22% exposta no período noturno [106].

O ruído está disseminado e é um problema global e os seus efeitos estão difundidos, bem como as suas consequências para a saúde.

O ambiente sonoro no local da obra do caso de estudo é caracterizado pela presença de vários tipos de fonte de ruído, das quais se destaca o tráfego rodoviário.

No âmbito da fase de construção da obra estudada salienta-se apenas como impacto negativo o incremento dos níveis sonoros nas zonas envolventes do local da obra devido essencialmente à utilização de maquinaria pesada e ao tráfego de camiões para transporte de materiais e equipamentos.

#### **6.5.7. Outros tipos de impactes ambientais**

A paisagem onde se insere a área da instalação do sistema fotovoltaico apresenta uma reduzida qualidade visual, não possuindo, portanto, valor paisagístico interessante.

Durante a fase de construção os impactes gerados do ponto de vista visual são consequência da implantação do estaleiro, do ruído, da criação do parque de resíduos, ou seja, uma temporária perda de identidade estética do local.

#### **6.6. Visão geral da significância dos impactes ambientais**

Na tabela 35 pode-se observar a generalidade da significância dos impactes ambientais identificados no caso de estudo. Devido a localização, a duração e a adoção das melhores práticas disponíveis os impactes ambientais foram bastante diminutos.

Tabela 35 - Significância dos impactes ambientais

| <b>Impactes Ambientais identificados</b>                     | <b>Significância do Impacte Ambiental</b> |
|--|---|
| Consumo de recursos naturais (não renováveis e renováveis)   | Impacte Pouco Significativo               |
| Esgotamento de recursos naturais renováveis e não renováveis | Impacte Pouco Significativo               |
| Danos à flora  | Impacte Pouco Significativo               |
| Impactes Indiretos da Reciclagem/Recuperação/Valorização     | Impacte Pouco Significativo               |
| Ocupação de Solos (Eliminação)                               | Impacte Pouco Significativo               |
| Degradação da qualidade do ar                                | Impacte Pouco Significativo               |
| Incomodidade acústica  | Impacte Pouco Significativo               |
| Contaminação do solo   | Impacte Pouco Significativo               |
| Contaminação dos recursos hídricos                           | Impacte Pouco Significativo               |

## Capítulo 7

### 7. Sustentabilidade dos materiais

#### 7.1. Sustentabilidade da tecnologia LED

Para melhor compreender as vantagens económicas apresentadas pelas lâmpadas LED em comparação com as tradicionalmente usadas (fluorescentes e incandescentes), é necessário comparar o seu tempo de vida útil, a quantidade de energia utilizada na sua utilização e o custo da própria lâmpada [29].

A lâmpada LED utiliza 82% menos energia elétrica que uma lâmpada incandescente, garantindo uma economia significativa. Uma lâmpada doméstica LED tem durabilidade de 50 000 horas, contra 1000 horas de uma incandescente e 6 000 horas de uma fluorescente, o que permite diminuir a quantidade de trocas de lâmpadas ou gastos com manutenções [107].

Uma lâmpada incandescente comumente utilizada em residências é a lâmpada de 60 Watts. Em uma casa com 10 lâmpadas ligadas em uma média de 6 horas diárias, por um período de cinco anos, estas lâmpadas gastarão mais de 6000 kWh, o que significa um grande consumo de energia elétrica [108]. As lâmpadas CFL de 14 W substituem uma lâmpada incandescente de 60 W. As lâmpadas LED equivalentes a 60 W da incandescente e a 14 W da CFL necessitam apenas de 7 Watts para emitir luz, refletindo num gasto bem menor que as demais. Na tabela 36 pode-se observar a comparação de acordo com vários parâmetros para aferir as vantagens fornecidas pela tecnologia LED.

Tabela 36 - Comparação de tecnologias [109]

|  | <b>Incandescente</b> | <b>CFL</b>  | <b>LED</b>   |
|--|----------------------|-------------|--------------|
| Watts utilizados                                       | 60W                  | 14W         | 7W           |
| Custo médio por lâmpada                                | \$1                  | \$2         | \$4 ou menos |
| Tempo médio de vida                                    | 1 200 horas          | 8 000 horas | 25 000 horas |
| Lâmpadas necessárias para 25 000 horas                 | 21                   | 3           | 1            |
| Preço de compra total das lâmpadas ao longo de 20 anos | \$21                 | \$6         | \$4          |
| Custo de eletricidade (25 000 horas a \$ 0,15 por kWh) | \$169                | \$52        | \$30         |
| Custo total estimado em 20 anos                        | \$211                | \$54        | \$34         |

A estimativa de vida útil para a tecnologia LED é muito superior comparada com as lâmpadas CFL e incandescentes. A seguir a tecnologia LED a próxima em longevidade são as lâmpadas CFL, que tem uma expectativa média de vida de 8 000 horas.

As diferenças não se ficam pela parte económica, no caso das lâmpadas LED, 98% dos materiais em sua composição são recicláveis e não contêm metais pesados, como o mercúrio em sua produção, sendo menos agressivas ao homem [109].

Na figura 42 pode-se observar a energia despendida no ciclo de vida dos diferentes tipos de lâmpadas. O maior consumo energético das lâmpadas incandescentes causa uma fatura ambiental muito mais elevada que as alternativas (CFL e LED).

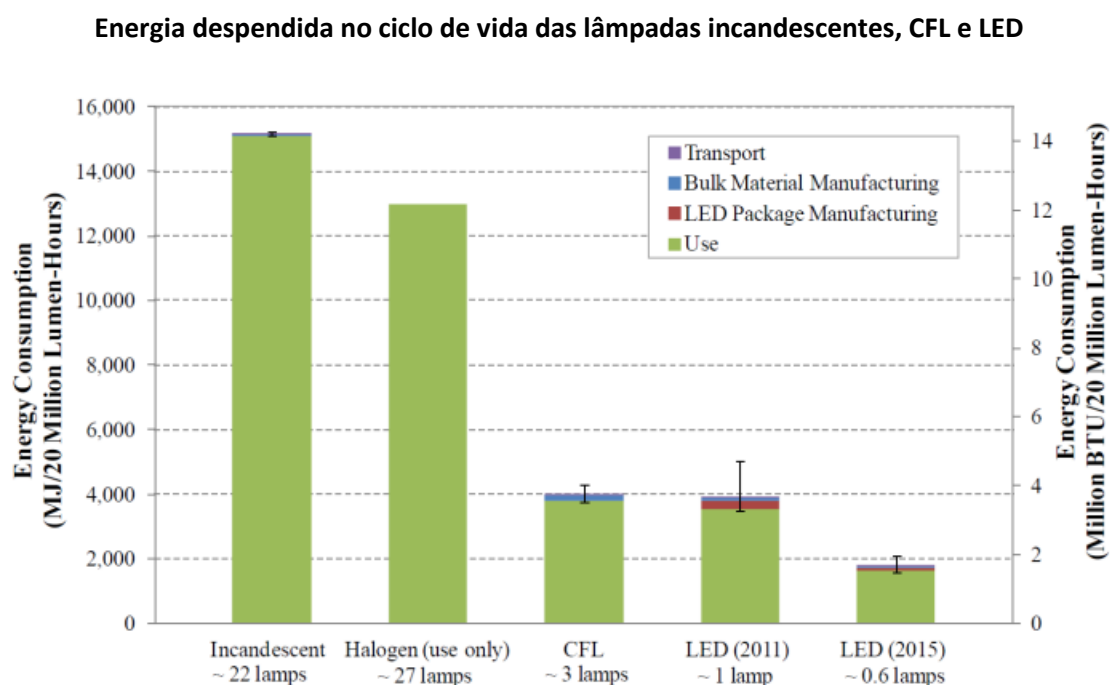


Figura 42 - Energia despendida no ciclo de vida das lâmpadas incandescentes, CFL e LED [110]

A lâmpada LED tem uma vida útil mais longa, o que garante menor troca de lâmpadas no decorrer dos anos, além da economia na conta de energia do consumidor. Para o meio ambiente, é uma forma de mitigar a poluição porque a composição da lâmpada de LED não é nociva e tem durabilidade, o que minimiza a quantidade de lâmpadas a serem descartadas [109].

## 7.1.1. Impactes no ar

Tabela 37 - Impactes relacionados com o ar provenientes de 20Mlm-hora de luz [111]

| Tipo de lâmpada | Potencial de aquecimento global | Potencial de acidificação | Oxidação fotoquímica      | Depleção O <sub>3</sub> da estratosfera | Potencial de toxicidade humana |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|---|--------------------------------|
|                 | kg CO <sub>2</sub> -Eq          | kg SO <sub>2</sub> -Eq    | kg formado O <sub>3</sub> | kg CFC-11-Eq                            | kg 1,4-DCB-Eq                  |
| Incandescente   | 1031,64                         | 7,9079                    | 0,045857                  | 0,0000111                               | 205,486                        |
| CFL             | 304,879                         | 2,27015                   | 0,016239                  | 0,0000052                               | 67,692                         |
| LED-2012        | 251,025                         | 1,75115                   | 0,0125685                 | 0,0000038                               | 60,4102                        |
| LED-2017        | 122,772                         | 0,85335                   | 0,00612                   | 0,000002                                | 30,4625                        |

Como pode-se observar na tabela 37 em todos os parâmetros (potencial de aquecimento global, potencial de acidificação, oxidação fotoquímica, depleção O<sub>3</sub> da estratosfera, potencial de toxicidade humana) a lâmpada incandescente causa maior impacto durante a produção de 20Mln-hora de luz, por esta ordem segue a lâmpada CFL, o LED-2012 e o LED-2017.

## 7.1.2. Impactes na água

Tabela 38 - Impactes relacionados com a água provenientes de 20Mlm-hora de luz [111]

| Tipo de lâmpada | Potencial de ecotoxicidade da água doce | Potencial de ecotoxicidade marinha aquática | Potencial de eutrofização |
|-----------------|---|---|---------------------------|
|                 | kg 1,4-DCB-Eq                           | kg 1,4-DCB-Eq                               | kg PO <sub>4</sub> -Eq    |
| Incandescente   | 21,5907                                 | 111,698                                     | 1,9465                    |
| CFL             | 5,9298                                  | 36,3825                                     | 0,6505                    |
| LED-2012        | 4,6758                                  | 26,7654                                     | 0,5292                    |
| LED-2017        | 2,3312                                  | 15,3707                                     | 0,2696                    |

Nos impactes relacionados com o meio hídrico a tendência é a mesma dos impactes no ar. A incandescente é a tecnologia mais impactante em todos os parâmetros e as tecnologias LED apresentam os valores menores.

### 7.1.3. Impactes no solo

Tabela 39 - Impactes relacionados com o solo provenientes de 20Mlm-hora de luz [111]

| Tipo de lâmpada | Utilização da terra | Potencial de dano ao ecossistema | Ecotoxicidade terrestre |
|-----------------|---------------------|----------------------------------|-------------------------|
|                 | m <sup>2</sup> a    | pontos                           | kg 1,4-DCB-Eq           |
| Incandescente   | 22,7878             | 16,997                           | 0,1244                  |
| CFL             | 7,2909              | 5,42                             | 0,0486                  |
| LED-2012        | 5,4011              | 4,0701                           | 0,0354                  |
| LED-2017        | 2,6661              | 2,0073                           | 0,0182                  |

Relativamente aos impactes relacionados com o solo são apontados como parâmetros a utilização da terra, o potencial de dano ao ecossistema e a ecotoxicidade terrestre. A lâmpada incandescente tem o maior impacte em todos os parâmetros e a tecnologia LED continua a ser a menos poluente.

### 7.1.4. Relativamente aos recursos naturais

Tabela 40 - Impactes relacionados com os recursos provenientes de 20Mlm-hora de luz [111]

| Tipo de lâmpada | Depleção dos recursos abióticos | Aterro sanitário de resíduos não perigosos | Resíduos radioativos | Aterro sanitário de resíduos perigosos |
|-----------------|---------------------------------|--|----------------------|--|
|                 | kg antimónio-Eq                 | kg resíduos                                | kg resíduos          | kg de resíduos                         |
| Incandescente   | 7,6389                          | 35,95                                      | 0,0426               | 0,0234                                 |
| CFL             | 2,2279                          | 13,289                                     | 0,0125               | 0,0077                                 |
| LED-2012        | 1,8502                          | 12,3668                                    | 0,0106               | 0,0081                                 |
| LED-2017        | 0,9048                          | 7,4469                                     | 0,0052               | 0,0037                                 |

Relativamente ao impacte nos recursos naturais (Depleção dos recursos abióticos, Resíduos não perigosos, Resíduos radioativos e Resíduos perigosos) a tecnologia LED continua a ser a mais benéfica.

### 7.1.5. Resumo dos impactes ambientais

Na figura 43 pode-se observar de forma resumida a relação entre os tipos de lâmpada e os impactes ambientais identificados.

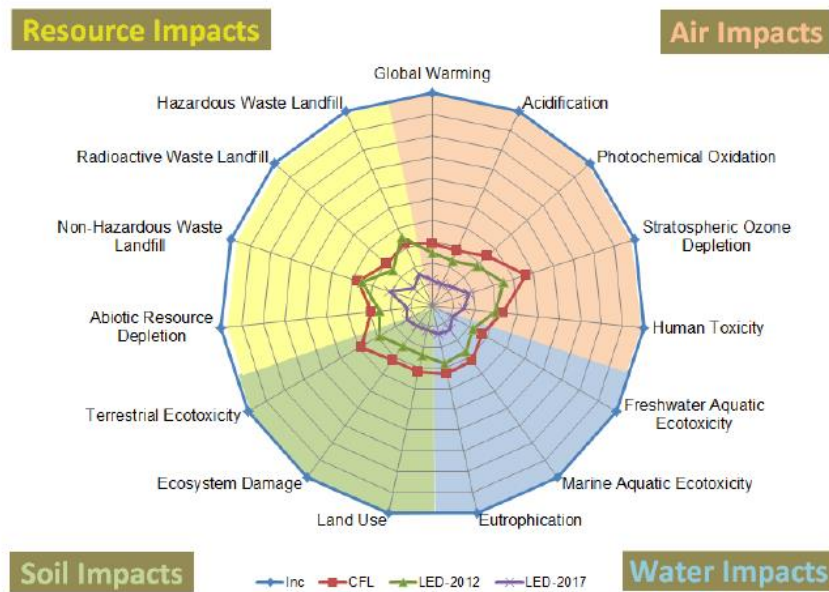


Figura 43 - Impacte comparativo do ciclo de vida de uma lâmpada por tecnologia e tipo de impacte [111]

Este resultado não é em função do conteúdo do material até porque a lâmpada incandescente tem menor massa e é o sistema de iluminação menos complexo comparativamente com as outras tecnologias. Este resultado é justificado pela baixa eficácia desta lâmpada, onde grandes quantidades de energia são necessárias para produzir luz. O alto consumo de energia desta lâmpada causa um grande impacto ambiental, o que a torna a mais prejudicial para o meio ambiente em todos os 15 parâmetros identificados [111].

#### 7.1.6. Visão geral sobre a tecnologia LED

A tecnologia LED é ainda relativamente jovem, estando longe de atingir o seu ponto de maturidade. Apesar disso, os seus resultados no campo da eficiência energética e das externalidades fazem dela a melhor tecnologia disponível no mercado da iluminação, quando comparada com as suas alternativas [29].

Quase toda a energia fornecida às lâmpadas LED é convertida em iluminação pelo que praticamente não há libertação de calor. Estas lâmpadas também não emitem radiação infravermelha ou ultravioleta [112].

Esta tecnologia continua a evoluir para se tornar a iluminação predominante no futuro. As suas vantagens ultrapassam largamente as suas desvantagens e destacam-se como a escolha de iluminação mais adequada [112].

O custo da instalação deste tipo de lâmpadas é bastante superior, pois a sua aplicação adequada requer mão de obra especializada [112].

Apesar do seu preço de custo elevado, os LED estão a disfrutar de uma boa penetração de mercado devido às economias proporcionadas aos seus utilizadores e às inúmeras atualizações de que dispõe [29].

Com a instalação integrada de sistemas inteligentes de controlo de luz, passa a ser possível controlar remotamente as áreas instaladas, fazendo com que seja possível ao utilizador um controlo ótimo da sua luz, quer em termos de localização, quer em termos de intensidade. Com a previsão da rápida descida do preço de custo das lâmpadas e luminárias LED, prevê-se que esta tecnologia se torne cada vez mais acessível, fazendo com que seja uma alternativa no que à iluminação residencial e industrial diz respeito [29].

## 7.2. Sustentabilidade dos módulos fotovoltaicos

A produção de energia através de módulos solares fotovoltaicos além de ser eficaz do ponto de vista económico, é uma tecnologia que também beneficia o ambiente. O balanço ambiental da energia fotovoltaica é positivo por diversas razões [113]:

- Os sistemas fotovoltaicos não precisam de combustíveis fósseis para gerar energia;
- Os sistemas fotovoltaicos reduzem as emissões de CO<sub>2</sub>;
- Ao longo da sua vida útil, os módulos solares fotovoltaicos geram mais energia em relação à que foi utilizada no seu fabrico;
- Os processos de fabrico atuais, através de deposição, são muito mais eficazes, ecológicos e racionais, praticamente não gerando desperdícios.

Atualmente os painéis solares têm uma vida útil de 25 a 30 anos e mesmo após este período o módulo não precisa ser imediatamente substituído – este funciona com uma redução de cerca de 20% da sua potência original, continuando a produzir eletricidade, embora em menor quantidade [113].

Os três componentes principais dos módulos solares (silício, alumínio e vidro) podem ser reciclados e até 95% e conseqüentemente reutilizados. Assim, especialmente no caso do silício, consomem muito menos recursos do que no seu processo de fabrico original [113].

Pode-se então concluir que a durabilidade dos módulos é diretamente proporcional com o seu rendimento global e balanço ambiental.

A tecnologia fotovoltaica atualmente pode ser dividida em três subcategorias de células:

- i. as de 1ª geração (90% do mercado), feitas a partir de silício, abrangendo soluções monocristalinas (mais comuns), policristalinas e amorfa;
- ii. as de 2ª geração, que correspondem às soluções de película fina, na qual a solução amorfa pode ser igualmente incluída, segundo alguns manuais;
- iii. e as de 3ª geração, que englobam conceitos de células solares mais recentes nomeadamente as células multi-junção na sua maioria ainda na fase de desenvolvimento, embora algumas sejam utilizadas no setor aeroespacial [114].

No que respeita à 1ª geração, o silício monocristalino é o mais antigo, sendo utilizado em vários tipos de aplicações terrestres de média e elevada potência. Apresenta uma eficiência aproximada de 16% (24% em laboratório). O silício policristalino, constituído por um número muito elevado de cristais, é uma alternativa por um lado um pouco mais barata, mas por outro, menos eficiente. A eficiência deste tipo de células no mercado é no máximo 14% (18% em laboratório). Já o silício amorfo não tem estrutura cristalina e absorve a radiação solar de uma forma mais eficiente que o silício. As células de silício amorfo são as que apresentam o custo mais reduzido, mas em contrapartida o seu rendimento é o mais reduzido, de aproximadamente 6% a 8% (13% em laboratório) [115].

Esta tecnologia constituiu a transição entre as células de primeira e de segunda geração. Respondendo a uma necessária redução no consumo de silício, surgem as células solares de segunda geração, as chamadas películas finas, partículas semicondutoras com uma espessura reduzida e a vantagem de serem mais leves, permitindo aplicações integradas em fachadas de edifícios [115].

Estes painéis demonstram ser mais vantajosos em relação aos painéis *standard*, graças ao custo de instalação, espaço ocupado e ainda em termos da pegada de carbono. A quantidade de silício usada nos painéis tradicionais é muito elevada, o que significa que o impacto ambiental para criar uma célula de película fina é muito menor. Contudo, a questão da menor eficiência

energética (entre 11 e 13%) foi considerada um aspecto negativo, o que afetou a inclusão desta solução no mercado fotovoltaico doméstico [116].

No entanto, testes realizados em 2016 demonstraram subidas de eficiência até 25%, e espera-se que a diferença de eficiências dos painéis diminua ainda mais nos próximos anos [116].

Os principais processos degradativos de um módulo fotovoltaico cristalino referem-se à: erosão da superfície de vidro, expondo as camadas inferiores, a difusão de cátions/ânions pela fase polimérica (como o oxigênio e a água do ambiente para o encapsulante), a degradação fotoquímica oxidativa do encapsulante e a corrosão dos contatos, que aumenta a resistência interna e, conseqüentemente, diminui a potência e a eficiência [117].

A temperatura exerce uma significativa influência em degradações como pontos quentes, degradação do encapsulante (descoloração), delaminação, falha nas interconexões, etc. A temperatura é responsável pela maioria das reações químicas que envolve a degradação dos módulos. A humidade promove a corrosão, delaminação e a descoloração [118].

Uma tecnologia para ser totalmente sustentável não pode desconsiderar o destino final após a sua utilização, a tecnologia fotovoltaica apresenta a peculiaridade de possuir um atraso (lag time) do tempo de produção ao tempo de disposição.

Em 2016, a Agência Internacional de Energia Renovável estimou que serão descartados até 2050 aproximadamente 78 milhões de toneladas de resíduos associados a tecnologia fotovoltaica como se pode observar na figura 44.

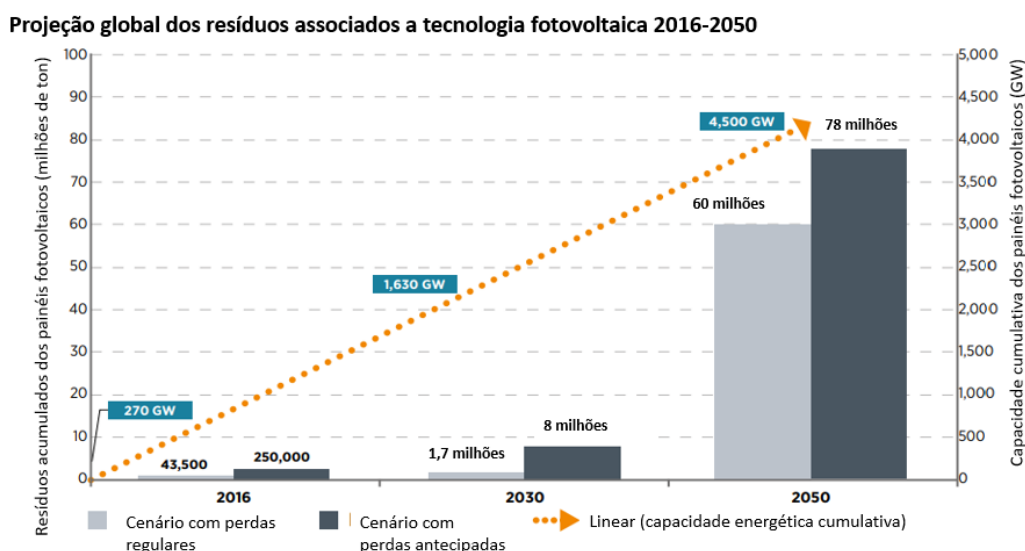


Figura 44 - Projeção de resíduos provenientes de módulos fotovoltaicos de 2016 a 2050 [119]

A recuperação de módulos solares danificados ou no fim do ciclo-de-vida é interessante do ponto de vista ambiental, já que o consumo de água, de energia, de materiais e as emissões de gases efeito estufa são atenuados [120].

O chamado de Tempo de Retorno da Energia (do inglês *Energy Payback Time*), que é uma medida para expressar em quantos anos um módulo solar recupera a energia despendida e a poluição associada à sua produção por meio da geração de energia fotovoltaica, pode ser reduzido em até 4 anos [120].

A Análise de Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica que tem como principal objetivo avaliar vários aspetos relacionados com o desenvolvimento de um produto ou serviço e o seu potencial impacte durante a sua vida. Esta técnica engloba e avalia as diversas entradas (inputs) e saídas (output) e impactes ambientais de um sistema [121].

Essa ferramenta aponta que os maiores fatores contribuintes para o impacte ambiental associado aos módulos de silício cristalino seriam relacionados [122] ao uso de combustíveis fósseis durante a etapa de instalação e [123] à exploração de recursos minerais na etapa de fabricação, devido ao consumo de minérios para produção de contatos elétricos e dos acessórios da rede elétrica [120].

A União Europeia foi a primeira entidade mundial a adotar leis específicas para os futuros resíduos de painéis solares. A diretiva europeia incluiu objetivos específicos de recolha e reciclagem de painéis solares e obriga todos os produtores a financiar os custos desta recolha [124].

Esta Diretiva introduziu a obrigação legal da reciclagem de painéis fotovoltaicos, em toda a Europa. Em Portugal, a transposição da diretiva para o quadro legislativo nacional atribuiu esta responsabilidade aos produtores deste tipo de equipamentos, a partir de 8 de maio de 2014 [124].

#### 7.2.1. Reciclagem de módulos fotovoltaicos

A principal razão para se reciclar módulos fotovoltaicos é diminuir a quantidade de alumínio, vidro e outros materiais valiosos em aterros sanitários. Além disso, para fazer novos painéis, as matérias-primas precisam ser reaproveitadas e reutilizadas [125].

As tecnologias existentes para a reciclagem dos módulos são baseadas em tratamentos físicos, químicos ou uma combinação das duas técnicas.

Os principais processos de reciclagem de módulos fotovoltaicos compreendem três etapas. A primeira etapa é a delaminação, na qual se eliminam as fases poliméricas. A segunda refere-se à separação dos materiais. Por fim, a terceira etapa compreende a extração de metais ou purificação [126].

Os produtos reciclados a partir de módulos de silício cristalino, tanto na reciclagem de vidro e semicondutores, como também do cobre e do alumínio apresentam a desvantagem do preço de revenda frente ao custo total da reciclagem [127].

A reciclagem desse tipo de módulo é, atualmente, realizada por responsabilidade ambiental [122].

Entre os materiais perdidos no fim-de-vida dos módulos fotovoltaicos estão muitos materiais perdidos que ainda não são explorados do ponto de vista da reciclagem como por exemplo o vidro, o alumínio e o cobre, todos estes materiais possuem grande potencial económico.

No futuro, as estratégias de reciclagem deixarão de ter foco na recuperação do vidro e do semicondutor, passando a ter foco na recuperação de metais [120].

## Capítulo 8

### 8. Conclusão e trabalhos futuros

O sistema fotovoltaico instalado na instituição pública de saúde do estudo de caso é relativamente recente, instalado no fim do ano 2018 entrou em funcionamento no ano 2019, neste ano o custo da compensação da produção geral foi de 9%.

No ano seguinte (2020) houve uma anomalia no sistema de leitura originando a ausência de dados durante 9 meses, de março até novembro. No ano 2021 a anomalia continuou e até o mês de maio não houve leituras nos meses de janeiro, fevereiro e março.

Com a ausência de dados nestes intervalos de tempo é impossível retirar conclusões viáveis sobre o funcionamento do sistema fotovoltaico nestes anos à exceção do ano 2019. No entanto se atendermos aos dados existentes a compensação da produção média de 13 607,8 kWh mensais foi de 2 075 euros.

O investimento realizado na aquisição da tecnologia LED ronda os 47 mil euros sem contabilizar a mão-de-obra, de janeiro de 2019 até maio de 2021 o consumo total realizado pela iluminação foi de 7 255,13 kWh. No ano 2019 a produção solar foi de 17 7391,6 kWh e o consumo da iluminação foi de 20 073,83 kWh, sendo que devido ao arranque e ajustes no sistema de leituras precisamente em janeiro de 2019 este mês não possui leituras de produção, considerando um valor mínimo para janeiro pode-se assumir que em 2019 a produção solar conseguiu compensar os valores do consumo da iluminação.

A substituição por tecnologia LED e o painel fotovoltaico foi apenas a primeira fase de um projeto (empreitada 1) que engloba ainda a realização de mais duas empreitadas que consistem na substituição do AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado). De acordo com a candidatura aprovada pela autoridade de gestão do Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos (PO SEUR), as medidas a implementar permitirão uma poupança energética anual estimada em mais de 100 mil euros.

A execução da empreitada 1 consistiu numa obra célere e de grande praticidade tendo em conta os métodos técnicos utilizados, e as necessidades que o projeto evidenciava.

Relativamente à identificação dos aspetos ambientais e da avaliação da significância dos projetos de eficiência energética em geral verificou-se que a maioria dos estudos publicados apenas abordam medidas mitigadoras em obras que envolvem construção, ampliação e demolição de edificações, não havendo, portanto, um direcionamento para obras orientadas

para a aplicação de medidas de eficiência energética. E mesmo nestes estudos existe a tendência em considerar-se apenas a gestão de resíduos sólidos da construção civil.

Verificou-se que neste projeto em concreto os impactes ambientais foram bastante diminutos. Efetivamente nesta obra foram seguidas as melhores práticas disponíveis.

Existe um leque de problemas que contribuem para um maior impacte ambiental aquando da fase construtiva nestes projetos, nomeadamente:

- Etapas de projeto com problemas de comunicação entre as partes envolvidas;
- Utilização de equipamentos sem manutenção, levando ao uso inadequado e conseqüente maior consumo de energia;
- Inexistência de inspeções acerca das instalações provisórias em obra;
- No momento da compra não ser levada em consideração a eficiência dos equipamentos, máquinas e eletrodomésticos para as instalações provisórias das obras, sendo considerados apenas os custos de sua aquisição;
- Utilização de lâmpadas de baixa qualidade nas áreas de vivências das obras;
- Não é realizada a captação de água da chuva para reaproveitamento em obra;
- São realizadas ações de sensibilização apenas em relação à segurança do trabalho, normas da empresa e instruções de trabalho, sem considerar as questões de sensibilização ambiental dos colaboradores em relação ao consumo de recursos dentro do estaleiro de obra.

As ações propostas enquadram-se na implementação de um sistema de melhoria contínua que engloba todos os envolvidos, e na estipulação de medidas que priorizem a gestão ambiental como um dos objetivos principais na execução dos projetos. Para conseguir melhorar estes objetivos e alcançar uma melhor gestão ambiental nestes projetos sugere-se a implementação das seguintes medidas:

- Promover reuniões periódicas para a realização de tomadas de decisão, integrando o cliente, a direção de obra e o departamento de segurança e ambiente.
- Incentivo por parte da administração da empresa para a realização de melhorias para o funcionamento eficiente de todos os sistemas, bem como o planeamento e controlo da gestão ambiental das obras (como por exemplo premiar as obras em que os impactes foram mitigados, colocar na revista da empresa os exemplos de boas práticas, etc.)

- Disponibilização de mão de obra exclusiva para realização de adequadas e efetivas manutenções preventivas e corretivas dos equipamentos, observando suas especificações quando da necessidade de substituição de peças/componentes.
- Utilização de lâmpadas fluorescentes e/ou lâmpadas de LED para as áreas de uso comum nas frentes de trabalho e estaleiro das obras.
- Elaboração e implementação de projetos de iluminação, observando a distribuição de circuitos para as áreas de convivência e instalações provisórias nos estaleiros;
- Incentivo à integração entre a iluminação natural e a artificial;
- Instalação de válvulas redutoras de pressão para garantir menor vazão nos pontos de utilização das áreas de convivência, como casas de banho e refeitórios;
- Imposição de condições de quantidade a ser consumida nos pontos de utilização (torneiras dispostas pela obra);
- Utilização de betão e argamassa fabricados por empresas especializadas em vez de fabricação in loco, nas obras;
- Implementação de tecnologias economizadoras em pontos de uso, como as torneiras das casas de banho e refeitório;
- Implementação de sistemas de dupla descarga nas casas de banho em obra;
- Utilização de águas pluviais como fonte de água alternativa para limpeza das frentes de trabalho e estaleiros e demais finalidades não potáveis;
- Realização de campanhas para que os trabalhadores sejam sensibilizados e envolvidos em ações de consciencialização para o uso racional de energia;
- Realização de ações de formação e sensibilização para fins de sensibilização e desenvolvimento de estratégias que contemplem o planeamento da redução de consumo de água nas obras.

No âmbito de continuidade desta dissertação, poderia ser feito um acompanhamento do caso de estudo contemplando a poupança energética anual e avaliação da significância dos impactes ambientais ao fim da implementação do projeto (que englobe ainda a substituição do AVAC).

Para um concreto acompanhamento do ciclo de vida do projeto sugere-se a implementação de um estudo que contemplasse a avaliação da significância dos impactes destes projetos não apenas na fase construtiva, mas também durante a vida útil destas instalações, que ao longo do tempo necessitam de manutenção e em certos cenários até modificações.

## Bibliografia

- [1] P. Thomas, “La chaleur de la Terre et la géothermie,” ENS Lyon - Laboratoire de Géologie de Lyon, 2014.
- [2] N. Kannan e D. Vakeesan, Solar energy for future world: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 62, Kidlington, 2016, pp. 1092-1105. DOI: 10.1016/j.rser.2016.05.022
- [3] J. Shankleman e C. Martin, “Solar Could Beat Coal to Become the Cheapest Power on Earth,” Bloomberg Terminal, 2017. [Online]. Available: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-01-03/for-cheapest-power-on-earth-look-skyward-as-coal-falls-to-solar> [Acedido em 15 Junho 2021].
- [4] A. Niranjan, “Falling solar panel prices spell sunny future for clean energy,” Deutsche Welle (DW), 2020. [Online]. Available: <https://www.dw.com/en/cheap-solar-energy-prices-explained/a-53590607> [Acedido em 07 Setembro 2020].
- [5] G. Kavlak, J. McNerney e J. E. Trancik, “Evaluating the causes of cost reduction in photovoltaic modules,” *Energy Policy*, 2017. DOI: 10.1016/j.enpol.2018.08.015
- [6] International Energy Agency, “Global Energy Review 2021,” 2021. [Online]. Available: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/d0031107-401d-4a2f-a48b-9eed19457335/GlobalEnergyReview2021.pdf> [Acedido em 28 Setembro 2021].
- [7] L. A. Pinto Jr, “Energia solar no mundo: conheça países que apostam nessa tecnologia,” 2017. [Online]. Available: <https://hccenergiasolar.com.br/posts/energia-solar-no-mundo-conheca-paises-que-apostam-nessa-tecnologia> [Acedido em 06 Junho 2021].
- [8] Our World in Data, *Annual change in solar energy generation, 2019*, Global Change Data Lab, 2021. [Online]. Available: <https://ourworldindata.org/grapher/annual-change-solar> [Acedido em 28 Setembro 2021].
- [9] Our World in Data, “Access to electricity vs. GDP per capita, 1990 to 2018,” Global Change Data Lab, 2021. [Online]. Available: <https://ourworldindata.org/grapher/access-to-electricity-vs-gdp-per-capita?time=2013..2018&country=~DEU> [Acedido em 28 Setembro 2021].
- [10] EDP Comercial, “Portugal, campeão das renováveis,” 2020. [Online]. Available: <https://www.edp.pt/particulares/content-hub/portugal-campeao-das-energias-renovaveis/> [Acedido em 12 Julho 2021].
- [11] APREN - Associação de Energias Renováveis, “Produção,” 2021. [Online]. Available: <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao> [Acedido em 12 Julho 2021].
- [12] REN - Redes Energéticas Nacionais, “Produção de Eletricidade de Portugal Continental,” 2021. [Online]. Available: <https://datahub.ren.pt/pt/eletricidade/balanco-mensal/> [Acedido em 15 Junho 2021].
- [13] N. C. Monteiro, “Vantagens da Instalação de Painéis Solares de Tubos de Vácuo,” 2015. [Online]. Available: <https://docplayer.com.br/6362366-Vantagens-da-instalacao-de-paineis-solares-de-tubos-de-vacu.html> [Acedido em 12 Julho 2021].

- [14] Portal Energia, “Energia fotovoltaica - Manual sobre tecnologias, projeto e instalação,” Lisboa, 2004. [Online]. Available: <https://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf> [Acedido em 07 Janeiro 2021].
- [15] K. Scharmer e E. Greif, “The European Solar Radiation Atlas,” 2000.
- [16] R. Naam, “Solar’s Future is Insanely Cheap,” 2020. [Online]. Available: <https://rameznaam.com/2020/05/14/solars-future-is-insanely-cheap-2020/> [Acedido em 30 Junho 2021].
- [17] K. Nadarajah e D. Vakeesan, “Renewable and Sustainable Energy Reviews,” Kidlington, 2016. DOI: 10.1016/j.rser.2016.05.022
- [18] B. Multon, G. Robin, M. Ruellan e H. Ahmed, “Situation énergétique mondiale à l'aube du 3e millénaire. Perspectives offertes par les ressources renouvelables,” Société de l'électricité, de l'électronique et des technologies de l'information et de la communication, 2004. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/267952679\\_Situation\\_energetique\\_mondiale\\_a\\_l'al'aube\\_du\\_3eme\\_millenaire\\_Perspectives\\_offertes\\_par\\_les\\_ressources\\_renouvelables/citation/download](https://www.researchgate.net/publication/267952679_Situation_energetique_mondiale_a_l'al'aube_du_3eme_millenaire_Perspectives_offertes_par_les_ressources_renouvelables/citation/download) [Acedido em 13 Janeiro 2020].
- [19] Portal Solar, “História e origem da Energia Solar,” 2016. [Online]. Available: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/historia-origem-da-energia-solar.html> [Acedido em 06 Janeiro 2021].
- [20] EDP Comercial, “Como funciona um painel solar fotovoltaico,” 2020. [Online]. Available: <https://www.edp.pt/particulares/content-hub/como-funciona-um-painel-fotovoltaico/> [Acedido em 08 Janeiro 2021].
- [21] P. Reis, “Vantagens e desvantagens dos painéis solares fotovoltaicos,” 2019. [Online]. Available: <https://www.portal-energia.com/vantagens-desvantagens-paineis-solares-fotovoltaicos/> [Acedido em 09 Março 2021].
- [22] J. Gago, “Projeto, Acompanhamento e Execução de Instalações de Energias Renováveis,” Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, 2013. [Online]. Available: <https://docplayer.com.br/29007732-Projeto-acompanhamento-e-execucao-de-instalacoes-de-energias-renovaveis.html> 08/03/2021 [Acedido em 09 Março 2021].
- [23] Solvasto, PV Services, “Afinal o que são os conceitos kW, kWh, kWp, kWh/(kWp.ano), HSP ou meio-dia solar,” 2021. [Online]. Available: <https://solvasto.pt/kw/> [Acedido em 30 Julho 2021].
- [24] P. Oliveira, “Estudo de Soluções Energéticas para o Setor Agroindustrial – Estágio na Empresa CRITICAL KINETICS,” Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, 2017. [Online]. Available: <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/18840/1/Patr%c3%adcia-Sofia-Ferreira-Amado-Oliveira.pdf> [Acedido em 30 Julho 2021].
- [25] C. Pereira, “Sistemas de autoconsumo fotovoltaico,” Instituto Politécnico de Tomar, Tomar, 2015. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10400.26/12577> [Acedido em 09 Março 2021].
- [26] G. K. Singh, “Solar power generation by PV (photovoltaic) technology: A review,” Energy, 2013. DOI: 10.1016/j.energy.2013.02.057

- [27] R. Silva, “Avaliação energética de um sistema fotovoltaico para bombagem,” Universidade do Algarve - Faculdade de Ciências e Tecnologias, 2015. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10400.1/8134> 07/03/2021 [Acedido em 30 Julho 2021].
- [28] L. F. Roriz, J. Rosendo, F. Lourenço e K. Calhu, *Energia solar em edifícios*, Orion, 2010.
- [29] R. Ranita, “Sustentabilidade em Sistemas de Iluminação: O Contributo da Tecnologia,” Faculdade de Economia, Universidade do Porto, 2015. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/302937894.pdf> [Acedido em 15 Janeiro 2021].
- [30] Gold Energy, “Glossário de termos energéticos - Lâmpadas,” 2021. [Online]. Available: <https://goldenergy.pt/glossario/> [Acedido em 30 Setembro 2021].
- [31] T. Ribeiro, “Luminotecnia – Métodos de avaliação,” Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010. [Online]. Available: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/60349> [Acedido em 30 Julho 2021].
- [32] L. C. Cardoso, “Mestrado em Automação e Comunicações em Sistemas de Energia,” Instituto Politécnico de Coimbra, Coimbra, 2015. [Online]. Available: <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/11687/1/Luis-Cardoso.pdf> [Acedido em 01 Outubro 2021].
- [33] J. C. Soares, “Arquitectura e Luz, Estratégias de Iluminação – Teatro Capitólio,” Lisboa, 2011. [Online]. Available: [https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/4018/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o\\_Doc.final.pdf](https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/4018/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Doc.final.pdf) [Acedido em 01 Outubro 2021].
- [34] A. Žukauskas, M. S. Shur e R. Gaska, “Introduction to Solid-State Lighting,” John Willey, New York, 2002.
- [35] R. D. Laires, “Sistema de iluminação eficiente utilizando a tecnologia LED para espaços públicos interiores,” Universidade de Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2013. [Online]. Available: [https://run.unl.pt/bitstream/10362/11127/1/Laires\\_2013.pdf](https://run.unl.pt/bitstream/10362/11127/1/Laires_2013.pdf) [Acedido em 01 Junho 2021].
- [36] E. F. Schubert, “Light-Emitting Diodes” Cambridge University Press, New York, 2006. DOI: 10.1017/CBO9780511790546
- [37] A. S. Sedra e K. C. Smith, “Microelectronic Circuits,” Oxford University Press, New York, 2004.
- [38] IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, “Climate Change 2014,” 2014. [Online]. Available: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf) [Acedido em 16 Maio 2021].
- [39] Comissão Europeia, “Pacto Ecológico Europeu,” 2021. [Online]. Available: [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0008.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0008.02/DOC_1&format=PDF) [Acedido em 01 Outubro 2021].
- [40] Jornal Oficial da União Europeia, “Regulamento (UE) 2021/1119 do Parlamento Europeu e do Conselho,” 2021. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1119&from=PT> [Acedido em 01 Outubro 2021].

- [41] Conselho Europeu, 2021. [Online]. Available: <https://www.consilium.europa.eu/pt/policies/climate-change/> [Acedido em 27 Julho 2021].
- [42] EPA - United States Environment Protection Agency, 2021. Available: <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator> [Acedido em 03 Outubro 2021].
- [43] Jornal de Negócios, “Energias renováveis florescem em Portugal,” 2021. [Online]. Available: <https://www.jornaldenegocios.pt/negocios-em-rede/energias-renovaveis/detalhe/20210322-1513-energias-renovaveis-florescem-em-portugal> [Acedido em 5 Setembro 2021].
- [44] Casa Eficiente, 2020. [Online]. Available: <https://casaeficiente2020.pt/> [Acedido em 21 Julho 2021].
- [45] AdaptIS, “Medidas de Adaptação,” 2021. [Online]. Available: <https://adaptis.uc.pt/articles/77> [Acedido em 01 Outubro 2021].
- [46] M. Romão, “Contribuição do Isolamento Térmico para o aumento da Eficiência Energética em Edifícios,” Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2015. [Online]. Available: [file:///C:/Users/kalves/Downloads/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20\(5\).pdf](file:///C:/Users/kalves/Downloads/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20(5).pdf) [Acedido em 03 Outubro 2021].
- [47] Alviterm, “Tudo o que Precisa Saber Sobre Janelas Eficientes,” 2021. [Online]. Available: - <https://alviterm.com/blog/tudo-o-que-precisa-saber-sobre-janelas-eficientes> [Acedido em 03 Outubro 2021].
- [48] Adene - Agência para a Energia , “10 Soluções de Eficiência Energética,” 2017. [Online]. Available: <https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2017/11/10see-04-prot-solares-1.pdf> [Acedido em 03 Agosto 2021].
- [49] Endesa Portugal, “Iluminação: Como otimizar o consumo e reduzir o valor da fatura?,” 2020. [Online]. Available: <https://www.endesa.pt/particulares/news-endesa/poupan%C3%A7a/iluminacao-como-reduzir-consumo> [Acedido em 15 Setembro 2021].
- [50] Iberdrola, “Guia de Eficiência Energética. Manual de Boas Práticas,” 2014. [Online]. Available: [https://www.erse.pt/media/3tycpf5s/mbp\\_servi%C3%A7os\\_ibd\\_ppec2013\\_2014.pdf](https://www.erse.pt/media/3tycpf5s/mbp_servi%C3%A7os_ibd_ppec2013_2014.pdf) [Acedido em 03 Outubro 2021].
- [51] Finder S.p.A, “Sensores de movimento e presença versus economia de energia,” 2020. [Online]. Available: <https://www.findernet.com/pt/brasil/news/sensores-de-movimento-e-presenca-x-economia-de-energia/> [Acedido em 29 Setembro 2021].
- [52] IFFRU 2020 - Instrumento financeiro reabilitação e revitalização urbanas, “Catálogo de soluções técnicas. Eficiência energética na habitação,” 2020. [Online]. Available: <https://ifrru.ihru.pt/documents/20126/35916/CATALOGO-SOLUCOES-TECNICAS-EFICIENCIA-ENERGETICA-NA-HABITACAO.pdf/831175c2-1f87-d788-8278-daa6fd7e8df6?t=1554740773050> [Acedido em 03 Outubro 2021].
- [53] João Jacinto Tomé, SA, 2020. [Online]. Available: <https://www.jjtome.pt/jjtome/> [Acedido em 06 Maio 2021].

- [54] IOT Solutions, Plataforma, 2021.
- [55] Solarprime, “Energia solar no Verão,” 2021. [Online]. Available: <https://solarprime.com.br/energia-solar-no-verao-voce-sabe-como-ela-funciona-nessa-epoca-do-ano/> [Acedido em 20 Julho 2021].
- [56] T. Abrantes, “Clima em Portugal em 2019,” 2020. [Online]. Available: <https://www.tempo.pt/noticias/actualidade/clima-em-portugal-no-ano-2019.html> [Acedido em 15 Junho 2021].
- [57] A. Neves, “Selectra,” 15 Março 2021. [Online]. Available: <https://selectra.pt/energia/info/faq/kwh-preco#kWh-o-que-e>. [Acedido em 15 Maio 2021]. [Online]. Available: <https://selectra.pt/energia/info/faq/kwh-preco#kWh-o-que-e> [Acedido em 15 Maio 2021].
- [58] BCSD Portugal, “O potencial económico da eficiência energética,” BCSD Portugal – Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável, 2015.
- [59] L. Serrano, “Colocar a sustentabilidade na agenda dos financeiros,” BCSD Portugal – Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável, 2015. [Online]. Available: <https://bcsdportugal.org/solucoes-para-aproximar-os-financeiros-a-sustentabilidade/> [Acedido em 03 Agosto 2021].
- [60] F. F. Cardoso e V. M. Araújo, “Redução de Impactos Ambientais do Canteiro de Obras,” Edusp, 2004. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/242488853> [Acedido em 09 Agosto 2021].
- [61] U. L. Souza, “Projeto e Implantação do Canteiro,” O Nome da Rosa, 2000.
- [62] A. L. Sharrad, S. Matthews e M. Roth, “Environmental Implications of Construction Site Energy Use and Electricity Generation,” *Journal of Construction Engineering and Management*, 2007. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:11(846)
- [63] C. M. Teixeira, B. G. Fritzen e L. Brandli, “Consumo de água e energia em canteiros de obra: um estudo de caso do diagnóstico a ações visando à sustentabilidade,” 2017. DOI: 10.1590/s1678-86212017000400186
- [64] João Jacinto Tomé, SA, *Manual do Sistema de Gestão - PQ.DSA.02*, 2021.
- [65] EDIA, “EDIA - Empresa de desenvolvimento e infra-estruturas do Alqueva S.A.,” 2010. [Online]. Available: [https://siaia.apambiente.pt/AIADOC/AIA1988/pga%20\\_tro%C3%A7o%201\\_pis%C3%A3o%20beja%201945135720.pdf](https://siaia.apambiente.pt/AIADOC/AIA1988/pga%20_tro%C3%A7o%201_pis%C3%A3o%20beja%201945135720.pdf) [Acedido em 16 Maio 2021].
- [66] M. Baltar, J. Kaehler e L. Pereira, “Indústria da Construção Civil e Eficiência Energética,” 2006. [Online]. Available: <http://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/3210/5/000384715Texto%2BCompleto%2BAnexo%2BE-5.pdf> [Acedido em 03 Agosto 2021].
- [67] R. Crawford e G. Treolar, “An Assessment of the Energy and Water Embodied in Commercial Building Construction,” *Proceedings of the 4th Australian Life-Cycle Assessment Conference*, Sydney, 2005.

- [68] S. Bardhan, "Assessment of Water Resource Consumption in Building Construction in India," *Ecosystems and Sustainable Development VIII*, Dept. of Architecture, Jadavpur University, India, 2011. [Online]. Available: <https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/ECO11/ECO11008FU1.pdf> [Acedido em 30 Julho 2021].
- [69] C. Marques, B. Gomes e L. Brandli, "Consumo de água e energia em canteiros de obra: um estudo de caso do diagnóstico a ações visando à sustentabilidade," *Revista Ambiente Construído*, 2017. DOI: 10.1590/s1678-86212017000400186
- [70] M. McCormack, G. Treloar, L. Palmowski e R. Crawford, "Modelling direct and indirect water requirements of construction," *Building Research & Information*, 2007.
- [71] C. P. Santos, S. S. R. e C. Cerqueira, "Water Consumption in Construction Sites in the City of Recife/PE," *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 2015. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/297774249\\_Water\\_consumption\\_in\\_construction\\_sites\\_in\\_the\\_city\\_of\\_RecifePE](https://www.researchgate.net/publication/297774249_Water_consumption_in_construction_sites_in_the_city_of_RecifePE) [Acedido em 30 Julho 2021].
- [72] Sindicato da Indústria da Construção e Mobiliário do Rio Grande do Sul, "Guia de Sustentabilidade na Construção Civil no Rio Grande do Sul," 2013. [Online]. Available: [http://sinduscon-rs.com.br/wp-content/uploads/2013/06/Cartilha\\_Sustentabilidade](http://sinduscon-rs.com.br/wp-content/uploads/2013/06/Cartilha_Sustentabilidade) [Acedido em 24 Janeiro 2020].
- [73] *Ekonomista*, "11 dicas para evitar o desperdício de água," 2019. [Online]. Available: <https://www.e-konomista.pt/desperdicio-de-agua/> [Acedido em 07 Setembro 2021].
- [74] *Revista Papelada*, "Consumo Consciente," 2016. [Online]. Available: <http://blog.papelada.com.br/consumo-consciente/consumo-concsiente-papel/> [Acedido em 17 Julho 2021].
- [75] Water Footprint Network, "WaterStat - water footprint statistics," 2010. [Online]. Available: <https://waterfootprint.org/en/resources/waterstat/> [Acedido em 01 Outubro 2021].
- [76] R. Rodrigues, Y. Silva e M. D'Almeida, "Zé Pacel calcula o número de árvores para fazer uma folha de papel," *Revista "O Papel"*, 2015. [Online]. Available: [http://www.revistaopapel.org.br/noticia/anexos/1434649219\\_3279f3c121250d10467468872cc75f56\\_387739056.pdf](http://www.revistaopapel.org.br/noticia/anexos/1434649219_3279f3c121250d10467468872cc75f56_387739056.pdf) [Acedido em 17 Julho 2021].
- [77] Food and Agriculture Organization of the United Nations, "A desflorestação diminui no mundo devido a uma melhor gestão das florestas," 2015. [Online]. Available: <https://www.fao.org/portugal/noticias/detail/en/c/327831/> [Acedido em 03 Outubro 2021].
- [78] Antunes, Rui, "O papel faz bem ou mal ao ambiente?," *Visão*, 2019. [Online]. Available: <https://visao.sapo.pt/atualidade/2019-06-29-o-papel-faz-bem-ou-mal-ao-ambiente/> [Acedido em 15 Maio 2021].
- [79] CELPA - Associação da Indústria Papeleira, "Boletim Estatístico," 2020. [Online]. Available: [http://www.celpe.pt/wp-content/uploads/2021/10/Boletim\\_WEB\\_2020.pdf](http://www.celpe.pt/wp-content/uploads/2021/10/Boletim_WEB_2020.pdf) [Acedido em 03 Outubro 2021].

- [80] L. M. F. Cabaço, “Resíduos de Construção Civil. Caso de estudo: Construção de uma Via Ferroviária,” 2009. [Online]. Available: [https://run.unl.pt/bitstream/10362/5075/1/Cabaco\\_2009.pdf](https://run.unl.pt/bitstream/10362/5075/1/Cabaco_2009.pdf) [Acedido em 05 Junho 2021].
- [81] A. Aguilar, “Reciclado de materiales de construcción,” Instituto Juan de Herrera, 1997. [Online]. Available: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n2/aconst1.html> [Acedido em 20 Junho 2021].
- [82] A. G. Neto e L. Y. C. P. Hojo, “Análise Ambiental em um Canteiro de Obras,” Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP – Campus de Presidente Prudente, 2011. Online]. Available: [https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/119328/gorjonneto\\_a\\_tcc\\_prud.pdf?sequence=1](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/119328/gorjonneto_a_tcc_prud.pdf?sequence=1) [Acedido em 16 Julho 2021].
- [83] Philips, “Elementos de Eletrônica,” ETEGIL, Editora Técnico Industrial, 1957. [Online]. Available: <https://pt.linkfang.org/wiki/Reator> [Acedido em 05 Julho 2021].
- [84] G. d. R. L. BGR, 2021. [Online]. Available: [https://www.bgr-residuos.pt/rececao\\_ree.php](https://www.bgr-residuos.pt/rececao_ree.php). [Acedido em 15 Julho 2021].
- [85] Recicla Sampa, 2018. [Online]. Available: <https://www.reciclasampa.com.br/>. [Acedido em 1 Julho 2021].
- [86] A. V. Ramírez, “Intoxicación ocupacional por mercurio. Anales de la Facultad de Medicina,” 2008. DOI: 10.15381/anales.v69i1.1184
- [87] SANEARTE, 2021. [Online]. Available: <http://www.sanearte.com.br/>. [Acedido em 6 Junho 2021].
- [88] I. M. S. Lopes, “Efluentes de banheiros químicos, como é feito o seu manejo e quais são os efeitos do seu descarte em estações de tratamento de esgoto?,” Universidade Federal de Minas Gerais, 2017. [Online]. Available: <http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/1229M.PDF> [Acedido em 23 Julho 2021].
- [89] L. Rose, “What Chemicals are used in Portable Toilets?,” D-tox Group, 2019. [Online]. Available: <https://www.dtox.org/blog/what-chemicals-are-used-in-portable-toilets> [Acedido em 3 Outubro 2021].
- [90] P. H. L. Guerra, “Conheça os gases poluentes que seu carro emite,” Educação Automotiva, 2015. [Online]. Available: <https://educacaoautomotiva.com/2015/07/25/conheca-os-gases-poluentes-que-seu-carro-emite/> [Acedido em 15 Junho 2021].
- [91] Agência Portuguesa do Ambiente, “Ar e Ruído. Poluição por partículas inaláveis,” 2021. [Online]. Available: <https://rea.apambiente.pt/content/polui%C3%A7%C3%A3o-por-part%C3%ADculas-inal%C3%A1veis> [Acedido em 4 Agosto 2021].
- [92] F. Resende e F. F. Cardoso, “Poluição atmosférica por emissão de material particulado: avaliação e controle nos canteiros de obras de edifícios,” Escola Politécnica da USPI Departamento de Engenharia de, São Paulo, 2008. DOI: 10.11606/D.3.2007.tde-09012008-173832

- [93] GLA, Greater London Authority, "The control of dust emissions from construction and demolition," Greater London authority e Association of London government, Londres, 2005.
- [94] A. M. Estevão, "Ruído de estaleiros de construção civil - Controlo, Minimização e Intervenção Municipal.," Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009. [Online]. Available: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/58335> [Acedido em 4 Agosto 2021].
- [95] E. M. G. Lago, "Ruído ambiental emitido por obras de construção vertical em áreas urbanas - Interferência e percepção na vizinhança," Universidade do Minho. Escola de Engenharia, 2017. [Online]. Available: [http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/48658/1/Tese\\_Eliane%20Maria%20Gorga%20Lago\\_2017.pdf](http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/48658/1/Tese_Eliane%20Maria%20Gorga%20Lago_2017.pdf) [Acedido em 17 Junho 2021].
- [96] A. M. F. Couto, "Impacto Ambiental dos Estaleiros de Construção em Centros Históricos Urbanos," Universidade do Minho. Departamento de Engenharia Civil, 2001. [Online]. Available: <https://pdfslide.net/reader/f/tese-msc-2002-armanda-coutopdf.html> [Acedido em 3 Outubro 2021].
- [97] F. A. V. D. C. Cardoso, "Impactos ambientais dos canteiros de obras: Uma preocupação que vai além dos Resíduos. XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído: A Construção do Futuro," UFSC/ANTAC, 2006.
- [98] D. Maciel, R. Catai, J. Stella e A. Matoski, "Análise dos níveis de ruído dentro de um canteiro de obras – Estudo de caso," XXXII ENEGEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2012. [Online]. Available: [http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2012\\_TN\\_STP\\_160\\_934\\_20823.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2012_TN_STP_160_934_20823.pdf) [Acedido em 28 Julho 2021].
- [99] I. C. Linho, "Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários: análise comparativa de métodos," Universidade Estadual Paulista, 2007. [Online]. Available: [https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/92745/lino\\_ic\\_me\\_rcla.pdf?sequence=1](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/92745/lino_ic_me_rcla.pdf?sequence=1) [Acedido em 02 Julho 2021].
- [100] M. J. Brollo, "Metodologia Automatizada para Seleção de Áreas para Disposição de Resíduos Sólidos," Universidade de São Paulo, 2001.
- [101] AmbScience, "Solos contaminados," 2021. [Online]. Available: <https://ambscience.com/solos-contaminados/> [Acedido em 3 Junho 2021].
- [102] A. C. d. A. Dias, "Análise e identificação da origem de contaminação dos recursos hídricos no concelho de Salvaterra de Magos," Universidade de Lisboa. Faculdade de Ciências, 2016. [Online]. Available: [https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/26265/1/ulfc120751\\_tm\\_Ana\\_Catarina\\_Dias.pdf](https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/26265/1/ulfc120751_tm_Ana_Catarina_Dias.pdf) [Acedido em 01 Julho 2021].
- [103] J. Nakamura, "5 estratégias para reduzir emissões de poluentes no canteiro," Revista AECWeb. [Online]. Available: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/5-estrategias-para-reduzir-emissoes-de-poluente-no-canteiro/19830> [Acedido em 05 Julho 2021].
- [104] E. Hiraoka, "Reciclagem de papel também pode causar impactos ambientais," Universidade de São Paulo, 2008. [Online]. Available: <http://www.usp.br/aun/antigo/exibir.php?id=2150> [Acedido em 07 Junho 2021].

- [105] E. M. Bento, “A incomodidade do ruído: relações com o nível de exposição sonora e identidade de lugar,” Universidade de Lisboa. Faculdade de Psicologia, 2011. [Online]. Available: [https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/4870/1/ulfpie039634\\_tm.pdf](https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/4870/1/ulfpie039634_tm.pdf) [Acedido em 01 Junho 2021].
- [106] Câmara Municipal de Lisboa, “Plano de Ação de Ruído de Lisboa,” Lisboa, 2014.
- [107] T. Santos, M. Batista, S. Pozza e L. Rossi, “Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais,” Engenharia Sanitaria e Ambiental, 2015. DOI: 10.1590/S1413-41522015020040125106
- [108] Energia Limpa, “A reinvenção da luz,” Revista Veja, 2009. [Online]. Available: <http://veja.abril.com.br/acervodigital/home.aspx> [Acedido em 04 Julho 2021].
- [109] B. McBride, “Comparing LED vs CFL vs Incandescent Light Bulbs,” 2021. [Online]. Available: <https://www.viribright.com/lumen-output-comparing-led-vs-cfl-vs-incandescent-wattage/> [Acedido em 12 Outubro 2021].
- [110] U.S Department of Energy, “Life-Cycle Assessment of Energy and Environmental Impacts of LED Lighting Products Part 2: LED Manufacturing and Performance,” 2012. [Online]. Available: [https://www1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/2012\\_LED\\_Lifecycle\\_Report.pdp](https://www1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/2012_LED_Lifecycle_Report.pdp) [Acedido em 04 Junho 2021].
- [111] M. J. Scholand e H. E. Dillon, “Life-Cycle Assessment of Energy and Environmental Impacts of LED Lighting Products,” Solid-State Lighting Program. U.S. Department of Energy, 2012. [Online]. Available: [https://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical\\_reports/PNNL-21443.pdf](https://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-21443.pdf) [Acedido em 07 Junho 2021].
- [112] Tecniespecialidades, “Website da Tecniespecialidades,” 2020. [Online]. Available: <https://tecniespecialidades.pt/2020/05/19/iluminacao-led-vantagens-e-desvantagens/> [Acedido em 03 Outubro 2021].
- [113] Solvasto, PV Services, “Os módulos solares fotovoltaicos são sustentáveis?,” 2020. [Online]. Available: <https://solvasto.pt/modulos-solares-fotovoltaicos/> [Acedido em 10 Maio 2021].
- [114] E. Proença, “A energia solar fotovoltaica em Portugal. Estado-da-Arte e Perspectivas de Desenvolvimento,” Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa, 2007. [Online]. Available: [file:///C:/Users/kalves/Downloads/Tese%20%20A%20Energia%20Solar%20Fotovoltaica%20em%20Portugal%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/kalves/Downloads/Tese%20%20A%20Energia%20Solar%20Fotovoltaica%20em%20Portugal%20(1).pdf) [Acedido em 30 Maio 2021].
- [115] T. Figueira, “Energia Solar em Portugal. Mapeamento do potencial fotovoltaico com recurso a Sistemas de Informação Geográfica,” Faculdade de Ciências Sociais e Humanas. Universidade Nova de Lisboa, 2019. [Online]. Available: <https://run.unl.pt/bitstream/10362/93823/1/TomasFigueira51050.pdf> [Acedido em 12 Julho 2021].
- [116] L. Richardson, “Thin film solar panels: do they make sense for residential?,” Energy Sage, 2019. [Online]. Available: <https://news.energysage.com/thin-film-solar-panels-make-sense/> [Acedido em 12 Julho 2021].

- [117] A. W. Czanderna e F. J. Pen, "Encapsulation of PV modules using ethylene vinyl acetate copolymer as a pottant. A critical review," 1996. DOI: 10.1016/0927-0248(95)00150-6
- [118] H. Assunção, "Degradação de módulos fotovoltaicos de silício cristalino instalados no DEE - UFC," Universidade Federal do Ceará, 2014. [Online]. Available: <http://www.dee.ufc.br/anexos/TCCs/2014.1/H%C3%89LIO%20DELGADO%20ASSUN%C3%87%C3%83O.pdf> [Acedido em 10 Outubro 2021].
- [119] IRENA - International Renewable Energy Agency, "End-of-life Management. Solar Photovoltaic Panels," 2016. [Online]. Available: [https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA\\_IEAPVPS\\_End-of-Life\\_Solar\\_PV\\_Panels\\_2016.pdf](https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_IEAPVPS_End-of-Life_Solar_PV_Panels_2016.pdf) [Acedido em 5 Junho 2021].
- [120] P. F. Prado, "Reciclagem de Painéis Fotovoltaicos e Recuperação de Metais," Universidade de São Paulo, 2018. [Online]. Available: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-30012019141410/publico/PedroForastierideAlmeidaPradoCorr18.pdf> [Acedido em 6 Julho 2021].
- [121] G. Adriano, "Análise de ciclo de vida da tecnologia fotovoltaica em Portugal," Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade de Lisboa, 2015. [Online]. Available: [https://run.unl.pt/bitstream/10362/17062/1/Adriano\\_2015.pdf](https://run.unl.pt/bitstream/10362/17062/1/Adriano_2015.pdf) [Acedido em 10 Outubro 2021].
- [122] N. Pearce, McDonald e J. M., "Producer Responsibility and Recycling Solar Photovoltaic Modules," Energy Policy, 2010. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/233734608\\_Producer\\_Responsibility\\_and\\_Recycling\\_Solar\\_Photovoltaic\\_Modules](https://www.researchgate.net/publication/233734608_Producer_Responsibility_and_Recycling_Solar_Photovoltaic_Modules) [Acedido em 5 Junho 2021].
- [123] Y. K. Yi, H. S. Kim, T. Tran, S. K. Hong e M. J. Kim, "Recovering valuable metals from recycled photovoltaic modules," Journal of the Air & Waste Management Association, 2016. [Online]. Available: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10962247.2014.891540> [Acedido em 15 Julho 2021].
- [124] Noctula - Consultores em Ambiente, "O que fazer aos Painéis Solares Fotovoltaicos em fim de vida?," 2021. [Online]. Available: <http://noctula.pt/o-que-fazer-aos-paineis-solares-fotovoltaicos-em-fim-de-vida/> [Acedido em 10 Outubro 2021].
- [125] J. Azevedo, "Entenda como é feita a reciclagem de painéis solares," Ecycle, 2020. [Online]. Available: <https://www.ecycle.com.br/reciclagem-de-paineis-solares/> [Acedido em 10 Outubro 2021].
- [126] J. Tao e S. Yu, "Review on feasible recycling pathways and technologies of solar photovoltaic modules. Solar Energy Materials & Solar Cells," 2015. DOI: 10.1016/j.solmat.2015.05.005
- [127] I. D'Adamo, M. Miliacca e P. Rosa, "Economic Feasibility for Recycling of Waste Crystalline Silicon Photovoltaic Modules," International Journal of Photoenergy, 2017. [Online]. Available: <https://www.hindawi.com/journals/ijp/2017/4184676/> [Acedido em 07 Julho 2021].
- [128] Diário da República, "Portaria n.º 209/2004 de 3 de Março. Anexo III."

## Anexos

### Anexo A - Descrição dos trabalhos da empreitada

| Item     | DESCRIÇÃO DOS TRABALHOS  | Unidade | Quant. |
|----------|--|---------|--------|
| <b>1</b> | <b>Trabalhos Preparatórios e Acessórios</b>  |         |        |
|          | Elaboração de todos os Trabalhos preparatórios e acessórios bem como planos de prevenção e gestão de RC&D e remoções   |         |        |
| 1.1      | Execução de montagem e desmontagem do estaleiro, satisfazendo as prescrições relativas à Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho, trabalhos de restabelecimento de todas as servidões e serventias que sejam necessários executar, bem como de construção dos acessos ao estaleiro e das serventias internas deste, em conformidade com a legislação em vigor, incluindo painel de identificação, vedação da obra, mobilização de equipamentos para execução dos trabalhos, limpeza final da obra nos limites de intervenção, com todos os trabalhos e materiais necessários. | un      | 1,00   |
| 1.2      | Execução de todos os trabalhos e implementação das medidas, metodologias de triagem, tarefas de reutilização e/ou reciclagem previstas no PPGRCD do Projeto de Execução.   | un      | 1,00   |
| 1.3      | Desmonte de luminárias e lâmpadas existentes, incluindo triagem dos materiais por tipologia, carga, transporte e encaminhamento e descarga em destino final adequado, de acordo com o Plano de Prevenção e Gestão dos Resíduos (PPG).  | un      | 1,00   |
| 1.4      | Montagem e desmontagem de estrutura de apoio, ou outros meios de elevação para a colocação de todos os materiais ao nível das coberturas, incluindo todos os trabalhos necessários.  | un      | 1,00   |
| 1.5      | Reparação e ou reconstrução de todas as áreas intervencionadas e afetadas que se tenham deteriorado devido às obras efetuadas descritas nos itens abaixo bem como a limpeza das mesmas áreas   | un      | 1,00   |
| 1.6      | Telas Finais - Todos os encargos e fornecimentos relativos à elaboração e apresentação de telas finais de todas as especialidades, bem como a compilação da documentação técnica legalmente exigível   | un      | 1,00   |
| <b>2</b> | <b>Fornecimento e montagem de Sistema de Produção de Energia Elétrica para Autoconsumo (UPAC) com injeção zero</b>   |         |        |

|      |   |    |     |
|------|---|----|-----|
|      | Fornecimento e montagem de Solução de Sistema de Produção de Energia Elétrica para Autoconsumo - (UPAC) com injeção zero de acordo com os itens abaixo e as peças escritas e desenhadas respeitando sempre as RTIEBT quando aplicável e incluindo todos os trabalhos, materiais e equipamentos: |    |     |
| 2.1  | Painéis Fotovoltaicos 270W tipo Jinko Solar Policristalino ou equivalente   | un | 482 |
| 2.2  | Inversor 30 kWn tipo Huawei – SUN2000 33KTL ou equivalente  | un | 3   |
| 2.3  | Inversor 20 kWn tipo Huawei – SUN2000 22KTL ou equivalente  | un | 1   |
| 2.4  | Estrutura de superfície plana vertical em liga de alumínio para colocação em cobertura orientada a Sul com inclinação de 5º Graus fixada por maciços, tipo IZIWALKER ou equivalente   | un | 482 |
| 2.5  | Cabo solar PVF1 - >= 6mm2   | ml | 300 |
| 2.6  | Cabo Solar PVF1 - >= 6mm2   | ml | 200 |
| 2.7  | Cabo RV -K >= 4x25+2G16mm2 0,6/kV CU ou equivalente   | ml | 10  |
| 2.8  | Cabo RV -K >= 5G16 mm2 0,6/1kV CU ou equivalente  | ml | 10  |
| 2.9  | Cabo RV -K >= 3x95+2G50mm2 0,6/1kV ou equivalente incluindo fornecimento de calha técnica adequada ao tipo de instalação  | ml | 70  |
| 2.10 | Contador de Produção tipo Itron SL7000 ou equivalente com Modem GSM   | un | 1   |
| 2.11 | Quadro Elétrico Fotovoltaico - PV   | un | 1   |
| 2.12 | Interruptor diferencial Tetrapolar de 63A / 0,3A tipo Robert Mauser Lda ou equivalente  | un | 3   |
| 2.13 | Disjuntor Tripolar de 50A e poder de corte (pdc) de 4,5 kA tipo Robert Mauser Lda ou equivalente  | un | 3   |
| 2.14 | Interruptor diferencial Tetrapolar de 40A / 0,3A tipo Robert Mauser Lda ou equivalente  | un | 1   |
| 2.15 | Disjuntor Tripolar de 32A e poder de corte (pdc) de 4,5 kA tipo Robert Mauser Lda ou equivalente  | un | 1   |
| 2.16 | Instalação e todos as verificações e testes do Sistema de Unidade de Produção de energia elétrica para Autoconsumo - (UPAC) com injeção zero e todos os encargos referentes as inspeções por parte da Entidade Reguladora.  | un | 1   |

### 3 Iluminação LED

Fornecimento e montagem de Solução de Iluminação LED de acordo com os itens abaixo descritos e memória descritiva bem como fornecimento e instalação de todos os trabalhos, meios e equipamentos para o sistema funcionar corretamente

---

---

*Edifício Administrativo e Laboratórios*

|     |  |    |          |
|-----|--|----|----------|
| 3.1 | Lâmpada LED T8 G13, 9W, 900lm, 4000K tipo Philips ou equivalente                           | un | 1 414,00 |
| 3.2 | Lâmpada LED T8 G13, 18W, 1800Lm, 4000K tipo Philips ou equivalente                         | un | 3 790,00 |
| 3.3 | Lâmpada LED T8 G13, 23W, 2300Lm, 4000K, tipo Philips ou equivalente                        | un | 571,00   |
| 3.4 | Lâmpada LED PQF 24W, PLAF SUP, 1900Lm, 4000K tipo Philips ou equivalente                   | un | 66,00    |
| 3.5 | Bloco de Emergência (BE 3W, 160LM, Perm, 3 Horas de Autonomia, tipo Philips ou equivalente | un | 97,00    |
| 3.6 | Drivers e acessórios para instalação por armaduras   | un | 280,00   |

*Edifício LEMES*

|     |   |    |        |
|-----|---|----|--------|
| 3.7 | Lâmpada LED T8 G13, 9W,900Lm 4000K tipo Philips ou equivalente  | un | 14,00  |
| 3.8 | Lâmpada LED T8 G13, 18W,900Lm 4000K tipo Philips ou equivalente   | un | 277,00 |
| 3.9 | Instalar todo equipamento descrito nos itens referentes ao capítulo 3 e todos os acessórios necessário para o funcionamento correto da solução. | un | 1,00   |

**4 Sistema de Gestão de Energia via Realidade Aumentada (RA)**

Fornecimento e Montagem de Sistema de Gestão para monitorização e regulação do fluxo de energia do sistema de Unidade de Produção de energia elétrica para Autoconsumo - (UPAC) e solução de iluminação LED com interação da tecnologia de realidade aumentada- (RA) com base nos itens abaixo descritos e respeitando as peças escritas do projeto (sistema Bee2Energy ou equivalente), e incluindo todos os trabalhos, meios e acessórios necessários para colocar o sistema a funcionar corretamente:

*Edifício Administrativo e Laboratórios*

|     |                                   |    |       |
|-----|-----------------------------------|----|-------|
| 4.1 | Fonte de Alimentação 24V DC - 60W | un | 17,00 |
|-----|-----------------------------------|----|-------|

|                        |   |    |       |
|------------------------|---|----|-------|
| 4.2                    | Disjuntor de Corte 6A   | un | 17,00 |
| 4.3                    | Gateway   | un | 13,00 |
| 4.4                    | Collector   | un | 14,00 |
| 4.5                    | Transformador de Intensidade 80 A   | un | 57,00 |
| 4.6                    | Sensor de Movimento 360º instalação a superfície  | un | 40,00 |
| 4.7                    | Analisador de Energia   | un | 1,00  |
| 4.8                    | Conversor de corrente 20-4000 A   | un | 3,00  |
| <i>Edifícios LEMES</i> |   |    |       |
| 4.10                   | Fonte de Alimentação 24V DC - 60W   | un | 3,00  |
| 4.11                   | Disjuntor de Corte 6A   | un | 3,00  |
| 4.12                   | Gateway   | un | 1,00  |
| 4.13                   | Collector   | un | 2,00  |
| 4.15                   | Transformador de Intensidade 80 A   | un | 9,00  |
| 4.16                   | Analisador de Energia   | un | 1,00  |
| 4.17                   | Conversor de corrente 400 A   | un | 3,00  |
| 4.18                   | Fornecimento do Software de Gestão e Controlo de Energia com um licenciamento de 1 ano  | un | 1,00  |
| 4.19                   | Desenvolvimento do nome, logotipo e assinatura para o programa.                         | un | 1,00  |
| 4.20                   | Wallboard standard com desenvolvimento para passagem de um vídeo da realidade aumentada | un | 1,00  |
| 4.21                   | Desenvolvimento do Livro de Normas.   | un | 1,00  |
| 4.22                   | Desenvolvimento de Layouts de Ecrãs da App.   | un | 1,00  |
| 4.23                   | Desenvolvimento Tecnológico da App.   | un | 1,00  |
| 4.24                   | Desenvolvimento de Guião/Script/storyboard da Realidade Aumentada da App.               | un | 1,00  |
| 4.25                   | Produção multimédia da Realidade Aumentada.   | un | 1,00  |

|      |  |    |      |
|------|--|----|------|
| 4.26 | Proposta de Layout para o ecrã do Painel de Led  | un | 1,00 |
| 4.27 | Fornecimento de Painel de Led com proporção de 9 por 16 com aproximadamente 75 polegadas de diagonal incluindo estrutura de suporte FHD - Full High Definition | un | 1,00 |
| 4.28 | Propor e produzir vídeo para Painel Led  | un | 1,00 |
| 4.29 | Hardware e Software de gestão da imagem e conteúdos do painel Led  | un | 1,00 |
| 4.30 | Instalar o equipamento e acessórios necessário para o funcionamento correto da solução   | un | 1,00 |

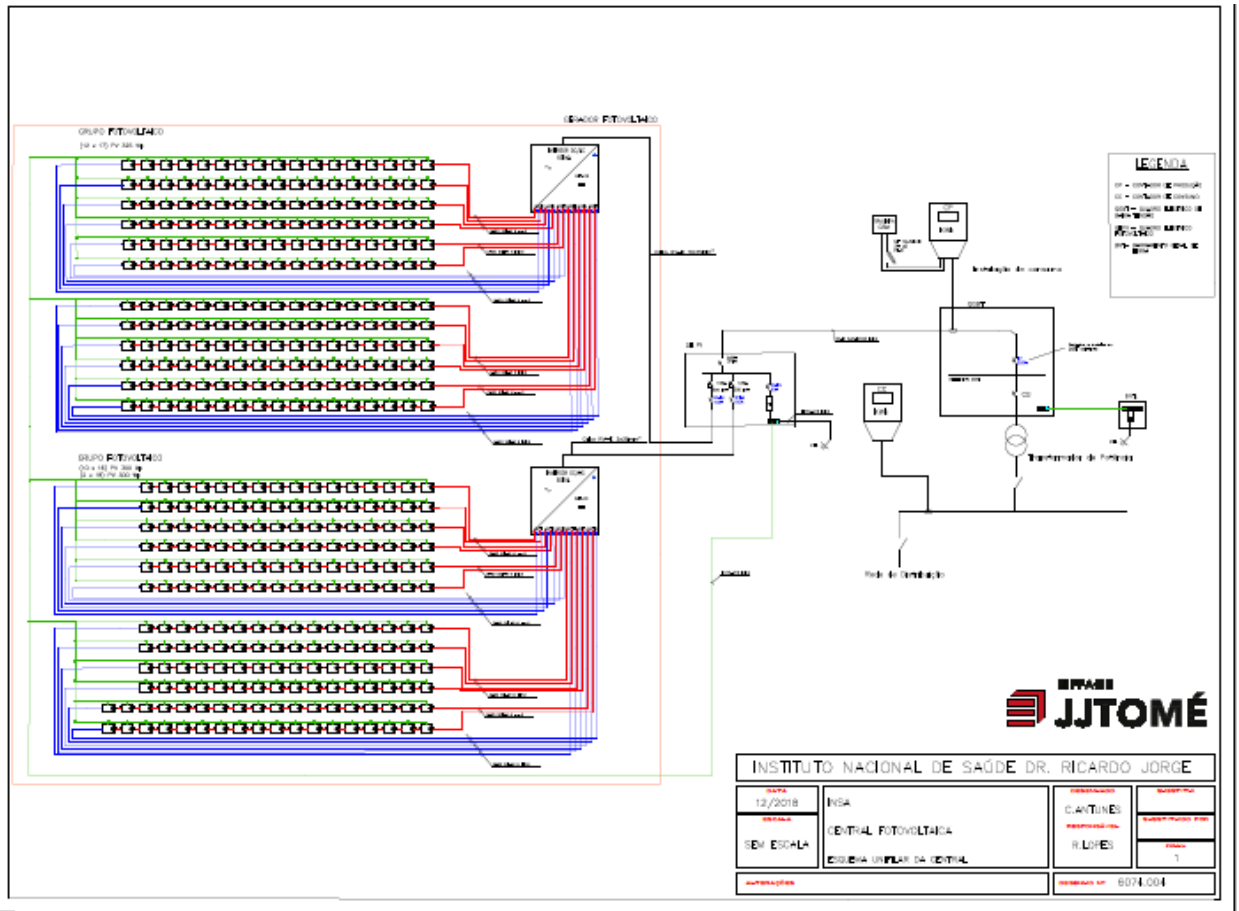
|          |   |  |  |
|----------|---|--|--|
| <b>5</b> | <b>Reabilitação da cobertura do Serviços Administrativos</b>  |  |  |
|          | Fornecimento e aplicação de um novo sistema de impermeabilização na cobertura dos serviços administrativos, através da limpeza da superfície, com aproveitamento das lajetas existentes e colocação de nova membrana de betume APP, com uma massa por unidade de 5kg/m <sup>2</sup> , em sistema monocamada, e com acabamento superior com granulado de xisto. As lajetas, após limpeza, serão colocadas sobre a nova solução de tela. As embocaduras de ligação aos tubos de queda serão também substituídas por novos e colocados novos ralos de pinha. |  |  |

#### *Edifício Administrativo*

|     |  |                |          |
|-----|--|----------------|----------|
| 5.1 | Levantamento e reposição das lajetas térmicas, incluindo limpeza das mesmas e substituição das que se encontrem danificadas (nunca inferior a 10%).  | un             | 1,00     |
| 5.2 | Lavagem da cobertura, com pré-lavagem com biocida, e posterior lavagem com máquina de pressão, incluindo todos os trabalhos e materiais para um perfeito acabamento.                               | un             | 1,00     |
| 5.3 | Aplicação de emulsão betuminosa como primário de impermeabilização tipo Imperkote da Imperialum ou equivalente, incluindo todos os trabalhos necessários para um perfeito acabamento.              | m <sup>2</sup> | 2 160,00 |
| 5.4 | Fornecimento e aplicação de bocais para garantia do escoamento das águas pluviais, incluindo o fornecimento de ralos de pinha, considerando todos os trabalhos necessários ao perfeito acabamento. | un             | 32,00    |

|     |   |                |   |        |
|-----|---|----------------|---|--------|
| 5.5 | Fornecimento e aplicação de tela impermeabilizante com membrana constituída por betumes-polímeros APP, com massa por unidade de superfície de 5kg/m <sup>2</sup> , acabamento superior com granulado de xisto, tipo Polixis R50 da Imperialum ou equivalente, em sistema monocamada, incluindo os testes de estanquicidade por período não inferior a 72 horas, considerando todos os trabalhos, remates, meios e acessórios necessários. | m <sup>2</sup> | 2 | 160,00 |
|-----|---|----------------|---|--------|

Anexo B - Central fotovoltaica



Anexo C - Operações de valorização de resíduos [128]

**B — Operações de valorização de resíduos**

R1 — Utilização principal como combustível ou outros meios de produção de energia.

R2 — Recuperação/regeneração de solventes.

R3 — Reciclagem/recuperação de compostos orgânicos que não são utilizados como solventes (incluindo

as operações de compostagem e outras transformações biológicas).

R4 — Reciclagem/recuperação de metais e de ligas.

R5 — Reciclagem/recuperação de outras matérias inorgânicas.

R6 — Regeneração de ácidos ou de bases.

R7 — Recuperação de produtos utilizados na luta contra a poluição.

R8 — Recuperação de componentes de catalisadores.

R9 — Refinação de óleos e outras reutilizações de óleos.


R10 — Tratamento no solo em benefício da agricultura ou para melhorar o ambiente.

R11 — Utilização de resíduos obtidos em virtude das operações enumeradas de R1 a R10.

R12 — Troca de resíduos com vista a, submetê-los a uma das operações enumeradas de R1 a R11.

R13 — Acumulação de resíduos destinados a uma das operações enumeradas de R1 a R12 (com exclusão do armazenamento temporário, antes da recolha, no local onde esta é efectuada).

## Anexo D – E-gar de recolha de resíduos




**AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE**

ESTADO Emitida

CÓDIGO DOCUMENTO PT20190109090823  
CÓDIGO VERIFICAÇÃO 14eecd355d51640d

Para realizar a validação do documento e comprovar que o documento apresentado corresponde à GAR vigente, aceda a <https://silamba.ambiente.pt> e no link 'Consultar Documentos' indique o código do documento e de verificação apresentados.



## e-GAR

GUIA ELETRÓNICA DE ACOMPANHAMENTO DE RESÍDUOS



### PRODUTOR/DETENTOR

|                   |  |
|-------------------|--|
| NIF/NIPC          | 500149771  |
| ORGANIZAÇÃO       | João Jacinto Tomé, SA  |
| ESTABELECIMENTO   | João Jacinto Tomé, SA – OBRAS VARIAS (APA00159151)   |
| MORADA            | Rua Possidónio da Silva  |
| LOCALIDADE        | LISBOA   |
| CÓDIGO POSTAL     | 1399-008   |
| CONCELHO          | Lisboa   |
| NOTA DE VALIDAÇÃO | Guia emitida em nome do produtor a aguardar validação eletrónica. Guia válida para circulação apenas com assinatura do produtor/detentor do resíduo. |
|                   | Assinatura _____   |




### RESÍDUO

|                 |  |
|-----------------|--|
| DESIGNAÇÃO      | DADOS ORIGINAIS<br>Lampadas  |
| QUANTIDADE (KG) | 300,0 (trezentos quilos)   |
| CÓDIGO LER      | 200121 - (*) Lampadas fluorescentes e outros resíduos contendo mercúrio  |
| OPERAÇÃO        | R13 - Armazenamento de resíduos destinados a uma das operações enumeradas de R1 a R12 (com exclusão do armazenamento temporário, antes da recolha, no local onde os resíduos foram produzidos) |



### TRANSPORTADOR

E-gar da recolha das lâmpadas fluorescentes retiradas do edifício aquando da empreitada de substituição das lâmpadas por LED (realizado pelo operador licenciado responsável pela gestão de resíduos da empresa).




**AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE**

ESTADO Concluída (certificado de receção)

CÓDIGO DOCUMENTO PT20190109090846  
CÓDIGO VERIFICAÇÃO 4ba47be8fd32fb25

Para realizar a validação do documento e comprovar que o documento apresentado corresponde à GAR vigente, acesse a <https://siti.amb.apambiente.pt/> e no link 'Consultar Documentos', indique o código do documento e de verificação apresentados.



## e-GAR GUIA ELETRÓNICA DE ACOMPANHAMENTO DE RESÍDUOS



### PRODUTOR/DETENTOR

|                   |  |
|-------------------|--|
| NIF/NIPC          | 500149771  |
| ORGANIZAÇÃO       | João Jacinto Tomé, SA  |
| ESTABELECIMENTO   | João Jacinto Tomé, SA – OBRAS VARIAS (APA00159151)   |
| MORADA            | Rua Possidónio da Silva  |
| LOCALIDADE        | LISBOA   |
| CÓDIGO POSTAL     | 1399-008   |
| CONCELHO          | Lisboa   |
| NOTA DE VALIDAÇÃO | Validação efetuada eletronicamente pelo produtor/detentor do resíduo. Guia válida para circulação. |




### RESÍDUO

|                 | DADOS ORIGINAIS  | DADOS FINAIS/CORRIGIDOS  |
|-----------------|--|--|
| DESIGNAÇÃO      | Balastros magnéticos   | Balastros magnéticos   |
| QUANTIDADE (KG) | 400,0 (quatrocentos quilos)  | 480,0 (quatrocentos e oitenta quilos)  |
| CÓDIGO LER      | 160216 - Componentes retirados de equipamento fora de uso não abrangidos em 16 02 15       | 160216 - Componentes retirados de equipamento fora de uso não abrangidos em 16 02 15       |
| OPERAÇÃO        | R12 - Troca de resíduos com vista a submetê-los a uma das operações enumeradas de R1 a R11 | R12 - Troca de resíduos com vista a submetê-los a uma das operações enumeradas de R1 a R11 |



### TRANSPORTADOR

E-gar da recolha dos balastros das lâmpadas retiradas do edifício aquando da empreitada de substituição das lâmpadas por LED (realizado pelo operador licenciado responsável pela gestão de resíduos da empresa).




**AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE**

ESTADO Concluída (certificado de receção)

CÓDIGO DOCUMENTO PT20190109095192  
CÓDIGO VERIFICAÇÃO 283568c4200b23d0

Para realizar a validação do documento e comprovar que o documento apresentado corresponde à GAR vigente, aceda a ["https://silamb.apambiente.pt"](https://silamb.apambiente.pt) e no link "Consultar Documentos" indique o código do documento e de verificação apresentados.



## e-GAR GUIA ELETRÓNICA DE ACOMPANHAMENTO DE RESÍDUOS

### PRODUTOR/DETENTOR

|                   |  |
|-------------------|--|
| NIF/NIPC          | 500149771  |
| ORGANIZAÇÃO       | João Jacinto Tomé, SA  |
| ESTABELECIMENTO   | João Jacinto Tomé, SA – OBRAS VARIAS (APA0015@151)   |
| MORADA            | Rua Possidónio da Silva  |
| LOCALIDADE        | LISBOA   |
| CÓDIGO POSTAL     | 1399-008   |
| CONCELHO          | Lisboa   |
| NOTA DE VALIDAÇÃO | Validação efetuada eletronicamente pelo produtor/detentor do resíduo. Guia válida para circulação. |

### RESÍDUO

|                 | DADOS ORIGINAIS  | DADOS FINAIS/CORRIGIDOS  |
|-----------------|--|--|
| DESIGNAÇÃO      | Papel/cartão   | Papel/cartão   |
| QUANTIDADE (KG) | 150,0 (cento e cinquenta quilos)   | 180,0 (cento e oitenta quilos)   |
| CÓDIGO LER      | 150101 - Embalagens de papel e cartão  | 150101 - Embalagens de papel e cartão  |
| OPERAÇÃO        | R12 - Troca de resíduos com vista a submetê-los a uma das operações enumeradas de R1 a R11 | R12 - Troca de resíduos com vista a submetê-los a uma das operações enumeradas de R1 a R11 |

### TRANSPORTADOR

E-gar da recolha do papel/cartão produzido em obra aquando da empreitada de substituição das lâmpadas por LED e da implementação do sistema fotovoltaico (realizado pelo operador licenciado responsável pela gestão de resíduos da empresa).