



ISEL



Avaliação do potencial de redução da pegada de carbono da Câmara Municipal de Sesimbra através da instalação de sistemas fotovoltaicos em locais urbanos

BRUNA LUZIA DA SILVA PEREIRA

(Licenciada em Engenharia Mecânica Automóvel)

Trabalho de Projeto para obtenção do grau de Mestre em Engenharia da Qualidade e Ambiente

Orientadoras:

Doutora Ana Maria G. H. Barreiros Joanaz de Melo
Doutora Cristina Inês Camus

Júri:

Presidente: Doutora Isabel Maria da Silva João
Vogais:

Mestre Feliz José Mil Homens dos Santos
Doutora Ana Maria G. H. Barreiros Joanaz de Melo

Dezembro de 2024

Avaliação do potencial de redução da pegada de carbono da Câmara de Sesimbra através da instalação de sistemas fotovoltaicos em locais urbanos

BRUNA LUZIA DA SILVA PEREIRA

(Licenciada em Engenharia Mecânica Automóvel)

Trabalho de Projeto para obtenção do grau de Mestre em Engenharia da Qualidade e Ambiente

Orientadoras:

Doutora Ana Maria G. H. Barreiros Joanaz de Melo, ISEL/IPL
Doutora Cristina Inês Camus, ISEL/IPL

Júri:

Presidente: Doutora Isabel Maria da Silva João, ISEL/IPL

Vogais:

Mestre Feliz José Mil Homens dos Santos, ISEL/IPL
Doutora Ana Maria G. H. Barreiros Joanaz de Melo, ISEL/IPL

Dezembro de 2024

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de expressar o meu sincero agradecimento à Câmara Municipal de Sesimbra e à presidente da Junta de Freguesia do Castelo, Maria Manuel Gomes, pela disponibilidade demonstrada e por me providenciarem com os dados necessários à minha dissertação de mestrado.

Em segundo lugar, quero agradecer às minhas orientadoras, Engenheira Cristina Camus e Engenheira Ana Barreiros, pela disponibilidade e motivação que me deram para continuar a desenvolver o meu trabalho da melhor forma possível.

Aos meus pais, quero deixar um profundo agradecimento. Embora o nosso caminho ao longo dos anos esteja longe de ser perfeito, as oportunidades e as lições de vida que me proporcionaram moldaram-me para ser a pessoa que sou hoje. À sua maneira, inculcaram-me a força necessária para enfrentar os desafios da vida de cabeça erguida e a teimosia necessária para os concluir, e por isso, estou grata.

Quero também agradecer à minha melhor amiga, Brenda Teixeira, por todo o apoio incondicional ao longo dos anos, por me ajudar a crescer como pessoa e por estar sempre ao meu lado.

Por fim, quero agradecer ao meu namorado, Manuel Fernandes, por toda a paciência e por estar sempre lá para mim. A sua maneira de me acalmar e dizer que tudo vai ficar bem quando a vida parece caótica é o que me ajuda a ver o panorama geral e a enfrentar os desafios com mais paz e clareza.

Declaração de integridade

Declaro que esta dissertação é o resultado da minha investigação pessoal e independente. O seu conteúdo é original e todas as fontes listadas nas referências bibliográficas foram consultadas e estão devidamente mencionadas no texto. Mais declaro que todas as referências científicas e técnicas relevantes para o desenvolvimento do trabalho estão devidamente citadas e constam das referências bibliográficas.

O autor

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'BRUNO', is written over a horizontal line.

Lisboa, 27 de dezembro de 2024

Resumo

A presente dissertação de mestrado avalia o papel dos sistemas fotovoltaicos na redução das emissões de carbono e sua contribuição para a neutralidade carbónica em ambientes urbanos, com foco nos acordos internacionais, como o Acordo de Paris, e nos planos estratégicos de Portugal para promover a sustentabilidade energética.

Foram analisados os consumos energéticos da rede e dimensionados sistemas fotovoltaicos para infraestruturas localizadas em áreas urbanas da Câmara Municipal de Sesimbra, sendo estes locais o Parque Operacional da Fonte de Sesimbra, o Mercado Municipal da Quinta do Conde e o Parque de Campismo do Forte do Cavalo, com o objetivo de estimar e avaliar o potencial de redução da pegada de carbono ao substituir a energia proveniente da rede elétrica, onde parte é proveniente de combustíveis fósseis, por energia renovável.

Adicionalmente, foram estudados os impactos ambientais, tanto positivos quanto negativos, associados a centrais solares em zonas rurais, tendo sido comparados com os impactos da descentralização energética através da instalação de sistemas fotovoltaicos em áreas urbanas.

Os resultados do estudo indicam que a descentralização energética é uma estratégia promissora para o futuro da sustentabilidade energética. Esta abordagem reduz a pegada carbónica em 12,67% para o Parque Operacional da Fonte de Sesimbra, 10,32% para o Mercado Municipal da Quinta do Conde e 9,96% para o Parque de Campismo do Forte do Cavalo com um potencial de produção energética anual de 21MWh, 20MWh e 15MWh respetivamente para cada local.

Além do mais, a utilização das infraestruturas urbanas para instalação de sistemas fotovoltaicos apresenta também significativamente menos impactos ambientais negativos quando comparada às centrais solares em áreas rurais tais como a perda de biodiversidade, destruição do solo e da sua geomorfologia e degradação da qualidade do ar durante as fases de construção necessária à construção das centrais. Estes resultados alinham-se com os objetivos de Portugal para alcançar a neutralidade carbónica e uma transição energética sustentável.

Palavras-chave: Sistemas fotovoltaicos, neutralidade carbónica, descentralização energética, impactos ambientais

Abstract

This master's thesis evaluates the role of photovoltaic systems in reducing carbon emissions and their contribution to carbon neutrality in urban environments, with a focus on international agreements such as the Paris Agreement and Portugal's strategic plans to promote energy sustainability.

Energy consumption was analysed and photovoltaic systems were dimensioned for infrastructures located in the urban areas of Sesimbra City Council, such as the Parque Operacional da Fonte de Sesimbra, the Mercado Municipal da Quinta do Conde and the Parque de Campismo do Forte do Cavalo, with the aim of estimating and evaluating the potential for reducing the carbon footprint by replacing energy from the electricity grid, part of which comes from fossil fuels, with renewable energy.

In addition, the environmental impacts, both positive and negative, associated with solar power plants in rural areas were studied and compared with the impacts of energy decentralization through the installation of photovoltaic systems in urban areas.

The results of the study indicate that energy decentralization is a promising strategy for the future of energy sustainability. This approach reduces the carbon footprint by 12,67% for the Fonte de Sesimbra's Operational Park, 10,32% for the Quinta do Conde Municipal Market and 9,96% for the Forte do Cavalo's Campsite with an annual energy production potential of around 21MWh, 20MWh and 15MWh respectively for each location.

Furthermore, the use of urban infrastructures to install photovoltaic systems also has significantly fewer negative environmental impacts when compared to solar power plants in rural areas, such as the loss of biodiversity, destruction of the soil and its geomorphology and degradation of air quality during the construction phases required to build the plants. These results are in line with Portugal's objectives to achieve carbon neutrality and a sustainable energy transition.

Keywords: Photovoltaic systems, carbon neutrality, energy decentralization, environmental impacts

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos	2
2. POLÍTICAS AMBIENTAIS E ENERGÉTICAS EM PORTUGAL	3
2.1 Evolução das políticas ambientais na Europa e em Portugal	3
2.2 Planos para o Ambiente e Energia em Portugal	5
2.2.1 Acordo de Paris e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 2030	5
2.2.2 Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050	5
2.2.3 Plano Nacional Energia e Clima 2030	6
2.3 Avaliação de Impactes Ambientais	9
3. ENERGIA SOLAR	10
3.1 Células fotovoltaicas	10
3.1.1 Funcionamento geral	10
3.1.2 Evolução das tecnologias fotovoltaicas	11
3.2 Parâmetros que afetam o desempenho da produção de energia solar	12
3.2.1 Radiação solar	12
3.2.2 Temperatura das células	13
3.2.3 Velocidade do vento	14
3.2.4 Humidade	16
3.2.5 Sombreamento	18
3.3 Vantagens e desvantagens da energia solar	19
3.4 Impactos ambientais das tecnologias fotovoltaicas	22
3.4.1 Matérias-primas	22
3.4.2 Uso de água	22
3.4.3 Emissão de gases de efeito de estufa	23
3.4.4 Reciclagem	24
3.5 Impactos ambientais das centrais solares	26
3.5.1 Clima	26
3.5.2 Qualidade do ar	27

3.5.3	Biodiversidade	27
3.5.4	Recursos hídricos	28
3.5.5	Geologia e geomorfologia	29
3.5.6	Uso do solo	30
3.5.7	Património cultural	31
3.5.8	Paisagem	32
3.5.9	Socioeconomia	32
3.5.10	Ambiente sonoro	33
3.5.11	Gestão de resíduos	34
4.	METODOLOGIA	35
4.1	Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos	35
4.1.1	Locais de estudo	35
4.1.2	Método de um díodo e três parâmetros	36
4.1.3	Autonomia e autoconsumo	41
4.2	Pegada de Carbono	42
4.2.1	Pegada de carbono e fator de emissão de CO ₂ para a energia	42
4.2.2	Pegada de Carbono dos painéis fotovoltaicos	44
4.2.3	Avaliação da redução da Pegada de Carbono	46
4.3	Avaliação de Impactos Ambientais	47
5.	CASOS DE ESTUDO	49
5.1	Câmara Municipal de Sesimbra	49
5.1.1	Localização	49
5.1.2	Enquadramento Histórico	49
5.1.3	Funções e responsabilidades da Câmara	50
5.1.4	Dados sociodemográficos	50
5.1.5	Consumos energéticos	51
5.1.6	Pegada de Carbono	56
5.2	Escolha dos equipamentos	57
5.2.1	Painéis solares	57
5.2.2	Inversores	59
5.3	Parque Operacional da Fonte de Sesimbra	61
5.3.1	Descrição do local	61
5.3.2	Consumos anuais e diagramas de carga	63
5.3.3	Dimensionamento do sistema fotovoltaico	65

5.3.4	Pegada de carbono	68
5.4	Mercado Municipal da Quinta do Conde	70
5.4.1	Descrição do local	70
5.4.2	Consumos anuais e diagramas de carga	72
5.4.3	Dimensionamento do sistema fotovoltaico	75
5.4.4	Pegada de Carbono	77
5.5	Parque de Campismo do Forte do Cavallo	80
5.5.1	Descrição do local	80
5.5.2	Consumos anuais e diagrama de carga	83
5.5.3	Dimensionamento do sistema fotovoltaico	85
5.5.4	Pegada de Carbono	88
5.6	Avaliação de Impactos ambientais	90
5.6.1	Comparação dos impactos das centrais solares com os dos sistemas fotovoltaicos em locais urbanos	90
5.6.2	Matriz de impactos ambientais	98
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	103
	REFERÊNCIAS	107

Índice de Figuras

<i>Figura 2.1 - Evolução da emissão de gases de efeitos de estufa em Portugal desde 1990</i>	6
<i>Figura 2.2 - Percentagem de emissões de GEE por setor em 2020</i>	7
<i>Figura 2.3 - Evolução da dependência energética de Portugal</i>	7
<i>Figura 2.4 - Evolução da integração de energias renováveis no consumo final bruto de energia</i>	8
<i>Figura 3.1 - Esquema de funcionamento de uma célula fotovoltaica</i>	10
<i>Figura 3.2 - Imagem de células fotovoltaicas da 1ª geração de silício policristalinas e monocristalinas</i>	11
<i>Figura 3.3 - Energia produzida e tensão das células com a variação da temperatura</i>	13
<i>Figura 3.4 - Dados da variação da temperatura e da radiação solar</i>	15
<i>Figura 3.5 - Dados da variação da tensão de saída das células do painel exposto ao vento e do painel protegido do vento ao longo do dia</i>	15
<i>Figura 3.6 - Dados da variação da temperaturas das células do painel exposto ao vento e do painel protegido do vento ao longo do dia</i>	16
<i>Figura 3.7 - Dados da evolução da potência de saída do painel fotovoltaico e da humidade relativa</i>	17
<i>Figura 3.8 - Incidência da radiação solar direta sobre as fileiras de painéis solares</i>	18
<i>Figura 3.9 - Energia necessária para a produção dos módulos fotovoltaicos e respetivos componentes</i>	23
<i>Figura 3.10 - Emissões de dióxido de carbono relacionadas com a produção do polisilicone e dos wafers das células fotovoltaicas</i>	24
<i>Figura 4.1 - Esquema de funcionamento de uma célula fotovoltaica de acordo com o modelo de 1 díodo e 3 parâmetros</i>	36
<i>Figura 4.2 - Gráfico do balanço energético de um sistema fotovoltaico face os consumos energéticos.</i>	41
<i>Figura 4.3 - Emissões de CO₂ por tipo de combustível fóssil na Europa em 2022</i>	43
<i>Figura 4.4 - Evolução das emissões de CO₂ por tipo de combustível fóssil na Europa</i>	43
<i>Figura 5.1 - Consumos energéticos mensais da Camara Municipal de Sesimbra em 2022 e 2023.</i>	52
<i>Figura 5.2 - Consumo energético por tipo de consumo da Câmara Municipal de Sesimbra em 2022 e 2023</i>	53
<i>Figura 5.3 - Consumos dos edifícios de estado da CMS por local de consumo em 2022 e 2023</i>	54
<i>Figura 5.4 - Consumos da Iluminação Pública da CMS por local de consumo em 2022 e 2023</i>	55
<i>Figura 5.5 - Emissões mensais de dióxido de carbono da Câmara Municipal de Sesimbra em 2022 e 2023</i>	57
<i>Figura 5.6 - Imagem fotográfica do inversor SUNNY TRIPOWER CORE2 STP 110-60.</i>	59
<i>Figura 5.7 - Radiação solar incidente média na localização do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra mensalmente em 2020</i>	62
<i>Figura 5.8 - Temperatura ambiente média na localização do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra mensalmente em 2020</i>	62
<i>Figura 5.9 - Dados do período horário diário durante o inverno para consumos BTE</i>	63

<i>Figura 5.10 - Dados do período horário diário durante o verão para consumos BTE</i>	63
<i>Figura 5.11 - Consumo energético total por mês do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra</i>	64
<i>Figura 5.12 - Diagrama de carga diário de janeiro 2023 para o Parque Operacional da Fonte de Sesimbra</i>	64
<i>Figura 5.13 - Diagrama de carga diário de junho 2023 para o Parque Operacional da Fonte de Sesimbra</i>	65
<i>Figura 5.14 - Fotografia do local de instalação potencial do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra</i>	65
<i>Figura 5.15 - Potencial de produção energética por mês do sistema fotovoltaico dimensionado para o Parque Operacional da Fonte de Sesimbra</i>	66
<i>Figura 5.16 - Diagrama de carga diário de comparação entre o potencial de produção e consumo energéticos do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra para junho de 2023</i>	67
<i>Figura 5.17 - Diagrama de carga diário de comparação entre o potencial de produção e consumo energéticos do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra para janeiro de 2023</i>	68
<i>Figura 5.18 - Comparação da pegada de carbono do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra sem sistema fotovoltaico e com sistema fotovoltaico</i>	70
<i>Figura 5.19 - Fotografia do Mercado Municipal da Quinta do Conde</i>	71
<i>Figura 5.20 – Radiação solar incidente média na localização do Mercado Municipal da Quinta do Conde mensalmente em 2020</i>	71
<i>Figura 5.21 – Temperatura ambiente média na localização do Mercado Municipal da Quinta do Conde mensalmente em 2020</i>	72
<i>Figura 5.22 – Consumo energético total por mês do Mercado Municipal da Quinta do Conde</i>	73
<i>Figura 5.23 - Diagrama de carga diário de abril 2023 para o Mercado Municipal da Quinta do Conde</i>	74
<i>Figura 5.24 - Diagrama de carga diário de agosto 2023 para o Mercado Municipal da Quinta do Conde</i>	74
<i>Figura 5.25 - Produção energética por mês do sistema fotovoltaico dimensionado para o Mercado Municipal da Quinta do Conde</i>	75
<i>Figura 5.26 - Diagrama de carga diário de comparação entre o potencial de produção e consumo energéticos do Mercado Municipal da Quinta do Conde para abril de 2023</i>	76
<i>Figura 5.27 - Diagrama de carga diário de comparação entre o potencial de produção e consumo energéticos do Mercado Municipal da Quinta do Conde para agosto de 2023</i>	77
<i>Figura 5.28 - Comparação da pegada de carbono do Mercado Municipal da Quinta do Conde sem sistema fotovoltaico e com sistemas fotovoltaico</i>	79
<i>Figura 5.29 - Planta do Parque de Campismo do Forte do Cavalo</i>	80
<i>Figura 5.30 - Imagem fotográfica do Parque de Campismo do Forte do Cavalo</i>	81
<i>Figura 5.31 - Radiação solar incidente média na localização do Parque de Campismo do Forte do Cavalo mensalmente em 2020</i>	82
<i>Figura 5.32 - Temperatura ambiente média na localização do Parque de Campismo do Forte do Cavalo mensalmente em 2020</i>	82
<i>Figura 5.33 - Dados do período horário semanal durante o inverno para consumos BTE</i>	83

<i>Figura 5.34 - Dados do período horário semanal durante o verão para consumos BTE</i>	83
<i>Figura 5.35 - Consumo energético total por mês do Parque de Campismo do Forte do Cavalo</i>	84
<i>Figura 5.36 - Diagrama de carga semanal de agosto 2023 para o Parque de Campismo do Forte do Cavalo</i>	84
<i>Figura 5.37 - Diagrama de carga diário de março 2023 para o Parque de Campismo do Forte do Cavalo</i>	85
<i>Figura 5.38 - Produção energética por mês do sistema fotovoltaico dimensionado para o Parque de Campismo do Forte do Cavalo</i>	86
<i>Figura 5.39 - Diagrama de carga diário de comparação entre o potencial de produção e consumo energéticos do Parque de Campismo do Forte do Cavalo para março de 2023</i>	87
<i>Figura 5.40 - Diagrama de carga diário de comparação entre o potencial de produção e consumo energéticos do Parque de Campismo do Forte do Cavalo para agosto de 2023</i>	87
<i>Figura 5.41 - Comparação da pegada de carbono do Parque de Campismo do Forte do Cavalo sem sistema fotovoltaico e com sistemas fotovoltaico</i>	89

Índice de Tabelas

<i>Tabela 4.1 - Modelo de Matriz de Impactos Ambientais</i>	48
<i>Tabela 5.1 - Consumos energéticos da rede da CMS e a respetiva emissão de CO₂</i>	56
<i>Tabela 5.2 - Condições STC do módulo fotovoltaico JAM72S20 445/MR da JAM SOLAR</i>	58
<i>Tabela 5.3 - Condições NOCT do módulo fotovoltaico JAM72S20 445/MR da JAM SOLAR</i>	58
<i>Tabela 5.4 - Especificações do inversor SUNNY TRIPOWER CORE2 STP 110-60 dadas pelo fabricante</i>	60
<i>Tabela 5.5 - Potencial de produção energética por mês do sistema fotovoltaico dimensionado para o Parque Operacional da Fonte de Sesimbra</i>	66
<i>Tabela 5.6 – Potencial de autossuficiência do sistema fotovoltaico do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra</i>	67
<i>Tabela 5.7 – Dados da energia convencional consumida e pegada de carbono respetiva do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra de dezembro de 2022 a novembro de 2023</i>	68
<i>Tabela 5.8 – Pegada de carbono do sistema fotovoltaico do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra</i>	69
<i>Tabela 5.9 – Comparação da pegada de carbono do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra sem sistema fotovoltaico e com sistemas fotovoltaico</i>	69
<i>Tabela 5.10 – Potencial de produção energética por mês do sistema fotovoltaico dimensionado para o Mercado Municipal da Quinta do Conde</i>	75
<i>Tabela 5.11 - Potencial de autossuficiência do sistema fotovoltaico do Mercado Municipal da Quinta do Conde</i>	76
<i>Tabela 5.12 - Dados da energia convencional consumida e pegada de carbono respetiva do Mercado Municipal da Quinta do Conde de dezembro de 2022 a novembro de 2023</i>	77
<i>Tabela 5.13 - Pegada de carbono do sistema fotovoltaico do Mercado Municipal da Quinta do Conde</i>	78
<i>Tabela 5.14 - Comparação da pegada de carbono do Mercado Municipal da Quinta do Conde sem sistema fotovoltaico e com sistemas fotovoltaico</i>	78
<i>Tabela 5.15 - Potencial de produção energética por mês do sistema fotovoltaico dimensionado para o Parque de Campismo do Forte do Cavalo</i>	85
<i>Tabela 5.16 - Autossuficiência do sistema fotovoltaico do Parque de Campismo do Forte do Cavalo</i>	86
<i>Tabela 5.17 - Dados da energia convencional consumida e pegada de carbono respetiva do Parque de Campismo do Forte do Cavalo de dezembro de 2022 a novembro de 2023</i>	88
<i>Tabela 5.18 - Pegada de carbono do sistema fotovoltaico do Parque de Campismo do Forte do Cavalo</i>	88
<i>Tabela 5.19 - Comparação da pegada de carbono do Parque de Campismo do Forte do Cavalo sem sistema fotovoltaico e com sistemas fotovoltaico</i>	89
<i>Tabela 5.20 - Matriz de Impactos ambientais (Obtida do anexo V)</i>	101

Lista de Acrónimos

<i>ACV</i>	<i>Análise de Ciclo de Vida</i>
<i>AIA</i>	<i>Avaliação de Impacte Ambiental</i>
<i>AIE</i>	<i>Agência Internacional de Energia</i>
<i>APA</i>	<i>Agência Portuguesa do Ambiente</i>
<i>BTE</i>	<i>Baixa Tensão Especial</i>
<i>CMS</i>	<i>Câmara Municipal de Sesimbra</i>
<i>DGEG</i>	<i>Direção-Geral de Energia e Geologia</i>
<i>FEE</i>	<i>Fator de Emissão de Eletricidade</i>
<i>GEE</i>	<i>Gases de efeito de estufa</i>
<i>INE</i>	<i>Instituto Nacional de Estatística</i>
<i>PNEC</i>	<i>Plano Nacional Energia e Clima</i>
<i>REN</i>	<i>Rede Energéticas Nacionais</i>
<i>RJAIA</i>	<i>Regime Jurídico da Avaliação de Impacte Ambiental</i>
<i>RNC</i>	<i>Roteiro para a Neutralidade Carbónica</i>
<i>TRE</i>	<i>Tempo de retorno energético</i>
<i>UE</i>	<i>União Europeia</i>

1. Introdução

1.1 Enquadramento

Devido ao agravamento das alterações climáticas e dos riscos associados às mesmas, os acordos ambientais internacionais e a definição de medidas para minimizar, ou eliminar, as fontes de poluição são mais importantes do que nunca. Um desses acordos é o Acordo de Paris, que estabelece metas ambiciosas para limitar o aumento global da temperatura a menos de 2°C em relação aos níveis pré-industriais, com esforços adicionais para limitar o aumento a 1,5°C. Para atingir este objetivo, é necessária a cooperação internacional de todos os países envolvidos, sendo a meta estipulada atingir a neutralidade carbónica até 2050, com um foco especial na redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) (Diário da República, s.d.).

As energias renováveis têm-se revelado uma aposta promissora, adotada pelos vários países signatários como uma solução para reduzir as emissões associadas à produção de energia através de combustíveis fósseis, promovendo a produção de energia limpa tal como a energia fotovoltaica. Os sistemas fotovoltaicos são de fácil acesso e estão a ser cada vez mais utilizados na produção energética, tanto em ambientes domésticos quanto industriais. No entanto, antes da adoção destes sistemas, é necessário ter em consideração vários fatores de forma a garantir que estes sejam eficientes e contribuam de forma significativa na redução dos impactos provocados pelas alterações climáticas.

O dimensionamento adequado dos sistemas fotovoltaicos e a escolha adequada do local de instalação são fundamentais para obter os melhores resultados possíveis. O dimensionamento ideal, em paralelo com os consumos energéticos da rede que se pretendem minimizar, ou mitigar, sem que haja produção em excesso de energia, permite uma produção energética otimizada. Além disso, um planeamento cuidadoso do local de instalação pode influenciar o desempenho energético do sistema e reduzir os impactos ambientais inerentes como será visto no decorrer da presente dissertação.

1.2 Objetivos

A presente dissertação de mestrado tem como objetivo avaliar o potencial da redução da pegada de carbono da Câmara Municipal de Sesimbra (CMS) através do dimensionamento de sistemas fotovoltaicos em áreas urbanizadas, promovendo a descentralização energética e visando a redução dos consumos energéticos provenientes da rede de algumas infraestruturas da mesma.

Será ainda efetuada a avaliação dos impactos ambientais, comparando os impactos criados pelas centrais solares instaladas em áreas rurais com os do aproveitamento de espaços urbanos para produção energética através sistemas fotovoltaicos, para verificar se esta pode ser uma estratégia viável, mais sustentável e capaz de reduzir significativamente a pegada carbónica.

Para tal, será efetuado o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos utilizando o modelo de um diodo e três parâmetros, com o apoio do *software* PVGys para obter os dados atmosféricos das localizações em estudo permitindo desenvolver o modelo e calcular o desempenho energético dos sistemas fotovoltaicos nas diferentes localizações. Os resultados energéticos obtidos serão comparados com os consumos energéticos da rede atuais das localizações, sendo assim possível analisar a viabilidade da substituição, ou complementação, das fontes de energia convencionais por energia solar.

Além da análise de viabilidade técnica, será calculada a pegada carbónica associada ao consumo energético das localizações em estudo, tanto no cenário atual quanto no cenário com a instalação dos sistemas fotovoltaicos.

Posteriormente, será realizada uma análise da matriz de impactos ambientais dos sistemas fotovoltaicos, utilizando dados obtidos a partir de estudos de análise de ciclo de vida dos painéis solares. Esta análise permitirá identificar os principais impactos ambientais associados à instalação e operação dos sistemas fotovoltaicos em locais rurais e urbanos.

Com base nos dados obtidos e nas análises realizadas, será possível determinar a redução da pegada de carbono e averiguar a viabilidade da descentralização energéticas nas zonas urbanas através dos sistemas fotovoltaicos como uma alternativa sustentável para a CMS. Para além de avaliar a eficácia da energia solar na redução da pegada carbónica este estudo permite também mostrar quais os benefícios e desafios associados à adoção de energias renováveis em contextos urbanos.

2. Políticas ambientais e energéticas em Portugal

2.1 Evolução das políticas ambientais na Europa e em Portugal

A primeira Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano ocorreu em Estocolmo em 1972. Nesta, pela primeira vez, as questões ambientais emergentes foram colocadas na vanguarda das preocupações internacionais. A conferência levou à adoção da Declaração de Estocolmo e do Plano de Ação para o Ambiente Humano, que estabeleceram princípios globais para a gestão ambiental e sublinharam a importância da cooperação internacional para enfrentar os desafios ambientais e promover um futuro sustentável.

Ainda em 1972, o Conselho Europeu, reunido em Paris, declarou a necessidade de uma política comunitária do ambiente que acompanhasse as políticas económicas. O Conselho apelou à criação de um programa de ação voltado para a preservação do ambiente e a redução da poluição.

Em 1987, o Ato Único Europeu introduziu um novo título, "Ambiente", que pela primeira vez forneceu uma base jurídica sólida para uma política comum de proteção ambiental na Europa, visando a preservação da qualidade ambiental, a proteção da saúde humana e o uso racional dos recursos naturais.

A Cimeira da Terra, realizada em 1992 no Rio de Janeiro, resultou na adoção de várias declarações importantes, incluindo a Agenda 21, um plano de ação global para o desenvolvimento sustentável, e a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas, que estabeleceu as bases para acordos climáticos futuros.

Em 1993, o Tratado de Maastricht designou o ambiente como um domínio oficial de intervenção da União Europeia (UE), estabelecendo o princípio do crescimento sustentável e introduzindo o processo de codecisão e a votação por maioria qualificada no Conselho para matérias ambientais.

Com o Tratado de Amesterdão em 1999, a proteção ambiental foi integrada em todas as políticas setoriais da UE, reforçando assim o seu compromisso com o desenvolvimento sustentável.

O Tratado de Lisboa, de 2007, reforçou o papel da UE na liderança ambiental global, tornando as alterações climáticas uma prioridade e conferindo-lhe poder jurídico para celebrar acordos internacionais. Através de iniciativas recentes, como o Pacto Ecológico Europeu e a Lei Europeia do Clima, a UE consolidou a sua posição de liderança no combate às mudanças climáticas e na promoção de um desenvolvimento sustentável a nível global (Parlamento Europeu, 2024).

Está estabelecido que o direito ao ambiente é algo que pertence a todos os cidadãos estando interligado com o dever de o protegermos, preservarmos e respeitarmos, garantindo sempre o desenvolvimento sustentável a longo prazo de forma que as gerações futuras possam aproveitar-se do mesmo. As políticas ambientais desenvolvidas assentam na base da responsabilidade ambiental na qual temos de prevenir, ou reparar, os danos ambientais causados a espécies, habitats naturais protegidos, águas e solos (Parlamento Europeu, 2024).

Em Portugal, foi criada a Lei n.º 19/2014, de 14 de abril, que define as bases da política ambiental sendo o seu objetivo promover o desenvolvimento sustentável através da gestão adequada do ambiente de forma a contribuir para o desenvolvimento de uma "economia verde" e uma sociedade de baixo carbono de forma a ser possível assegurar a melhoria progressiva da qualidade de vida dos cidadãos, efetivando assim os direitos ambientais explícitos na Política Ambiental.

Os princípios ambientais baseiam-se no desenvolvimento sustentável, garantindo que as necessidades atuais sejam atendidas sem comprometer as futuras. Incluem a responsabilidade intra e intergeracional na gestão de recursos, a prevenção e precaução para evitar danos ambientais, e o poluidor-pagador, que responsabiliza o causador pelos custos da poluição. Também integram o utilizador-pagador, o princípio da responsabilidade e da recuperação ambiental.

As políticas públicas devem incorporar a proteção ambiental em todas as áreas, promover a cooperação internacional, basear-se no conhecimento científico, incentivar a educação ambiental e assegurar a participação e informação dos cidadãos no processo de decisão ambiental (Lei n.º 19/2014, 2014).

2.2 Planos para o Ambiente e Energia em Portugal

2.2.1 Acordo de Paris e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 2030

A "Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável", adotada a 25 de setembro de 2015, é composta por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que representam um compromisso global e uma visão comum para a humanidade. Como parte desta agenda, a 5 de outubro de 2016 foi aprovado o Acordo de Paris, um tratado internacional adotado no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas. Este acordo foi assinado por 196 países, que se comprometeram a cumprir as metas nele estabelecidas (Diário da República, s.d.).

Os principais objetivos do Acordo de Paris incluem fortalecer a resposta global às mudanças climáticas, promovendo a transição para uma economia verde e de baixa emissão de GEE. Para isso, foi estabelecida uma meta global para os países signatários: manter o aumento médio da temperatura global abaixo de 2°C em relação aos níveis pré-industriais, com esforços para limitar esse aumento a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais (Nações Unidas, 2015).

2.2.2 Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050

A 20 de setembro de 2019, em conformidade com o Acordo de Paris, Portugal submeteu a sua estratégia para alcançar a neutralidade carbónica até 2050 sendo esta denominada de Roteiro para a Neutralidade Carbónica (RNC) 2050.

Para atingir este objetivo, é necessário identificar e analisar alternativas socialmente aceites, economicamente viáveis e tecnicamente exequíveis nos principais setores responsáveis pelas emissões de GEE e pelo sequestro de carbono, sendo estes os setores da energia, dos transportes e mobilidade, da gestão de resíduos e da agricultura, florestas e uso do solo (RNC 2050, 2019).

No setor energético, o foco está na sustentabilidade e na eficiência dos recursos, com o objetivo de reduzir a dependência de Portugal das importações energéticas, através do aumento do investimento em energias renováveis, tais como a hídrica e a eólica. O objetivo é também diminuir o consumo energético nos setores com maior procura, como os transportes, a indústria e os edifícios, que têm vindo a reduzir os seus consumos nos últimos anos (RNC 2050 Setor Energético, 2019).

2.2.3 Plano Nacional Energia e Clima 2030

O Plano Nacional de Energia e Clima (PNEC) 2030 é um instrumento fundamental para definir as estratégias que visam reduzir significativamente a pegada de carbono até 2030, alinhando-se com o RNC. Este plano abrange cinco dimensões de atuação: descarbonização, eficiência energética, segurança de abastecimento, mercado interno da energia, e investigação, inovação e competitividade. Para cada uma dessas dimensões, são delineados planos e estratégias específicas com o objetivo de alcançar as metas estabelecidas. (Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020, 2020)

Portugal teve um aumento significativo de emissão de GEE a partir da década de 1990 devido a uma maior procura de energia e de mobilidade. No entanto, nos últimos anos Portugal tem demonstrado uma tendência de redução. Em 2020, o país emitiu aproximadamente 57,6 megatoneladas de dióxido de carbono na atmosfera, excluindo as emissões dos setores do Uso do Solo, Alteração do Uso do Solo e Florestas que sofreu um pico elevado em 2017 proveniente dos incêndios registados nesse mesmo ano. Esse valor representou uma diminuição de 9,5% em comparação a 2019.

Esta redução nos últimos anos, que pode ser observada através da figura 2.1, é atribuída aos avanços tecnológicos, à melhoria dos sistemas de controlo da poluição e à eficiência energética, além do aumento da utilização de fontes de energia renováveis e da resultante diminuição do consumo de energia proveniente da queima de combustíveis fósseis, que vão de encontro com a evolução das políticas ambientais estipuladas para atingir a neutralidade carbónica no PNEC 2030. (APA, 2024)

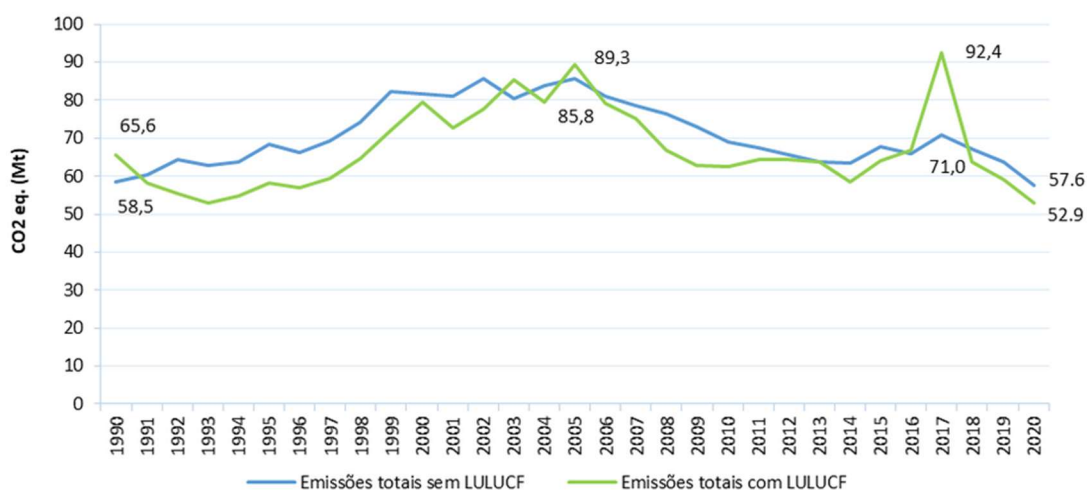


Figura 2.1 - Evolução da emissão de gases de efeitos de estufa em Portugal desde 1990 (Retirada de: <https://apambiente.pt/clima/emissoes-gee>)

É possível notar que em 2020 houve uma diminuição acentuada da emissão de GEE sendo que isto deve-se em parte à pandemia pelo facto de reduzir comutas de casa para o trabalho e a redução do uso de meios transportes durante esse período.

No entanto, os setores que mais contribuem para essas emissões incluem o setor energético, que abrange o transporte, além dos processos industriais, agricultura, resíduos e uso do solo, conforme ilustrado na figura 2.2. (APA, 2024)

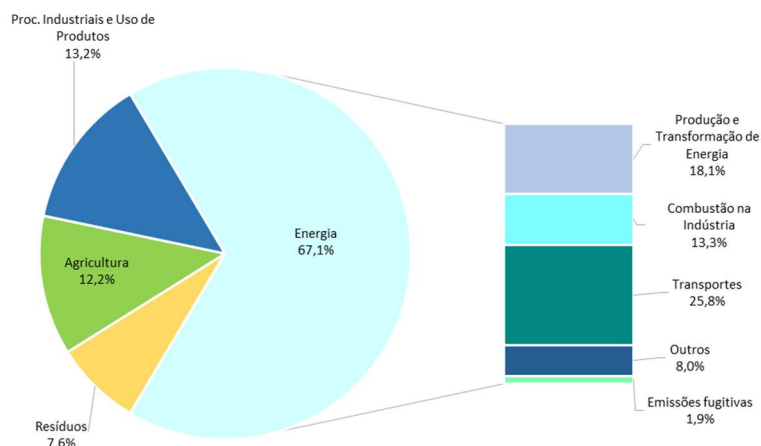


Figura 2.2 - Percentagem de emissões de GEE por setor em 2020
(Retirada de: <https://apambiente.pt/clima/emissoes-gee>)

Em relação ao setor energético, a Edição Geral da Energia em números de 2024 publicada pela Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG) demonstra que a dependência energética do país face a fontes externas atingiu 71,2%, situando-se 8,8 pontos percentuais acima da média da UE-27, com uma meta de redução para 65% até 2030 estabelecida no PNEC 2030. Esta redução na dependência energética face ao exterior é um dos objetivos da política energética nacional. Desde 2019, Portugal parou com as importações de carvão de origem fóssil para produção energética, tendo isto contribuindo positivamente para a redução da dependência energética. Embora a dependência energética tenha aumentado em comparação aos anos 2020 e 2021,

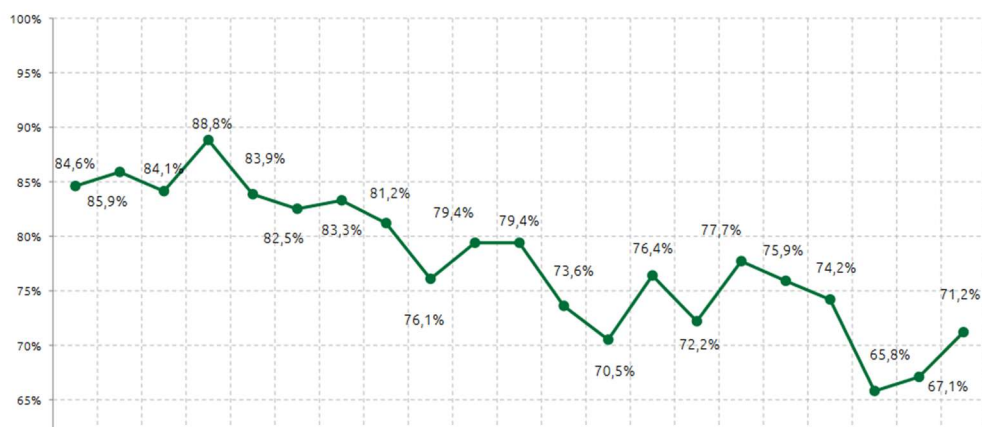


Figura 2.3 - Evolução da dependência energética de Portugal
(Retirada do relatório da DGEG, Energia em números edição 2024)

continua abaixo dos valores antigos, como os registados em 2019, como ilustrado na Figura 2.3 (DGEG, 2024).

O consumo de energia primária aumentou 5,7%, mantendo-se alinhado com os objetivos do PNEC 2030. A intensidade energética da economia diminuiu em todas as métricas, refletindo uma melhoria na eficiência. As energias renováveis representaram 34,7% do consumo total de energia e 61% da produção de eletricidade, posicionando Portugal entre os principais países da UE na utilização de energias renováveis, sendo que este representa um avanço positivo para atingir as metas do PNEC 2030 com a integração de 49% de energias renováveis no consumo final bruto de energia, como ilustrado na Figura 2.4, e de 29% no setor dos transportes.

A capacidade instalada em energia fotovoltaica cresceu significativamente, atingindo 3,9 GW. No entanto, o setor dos transportes continuou a ser o maior consumidor de energia, representando 35,7% do consumo total de energia final em 2022 (DGEG, 2024).

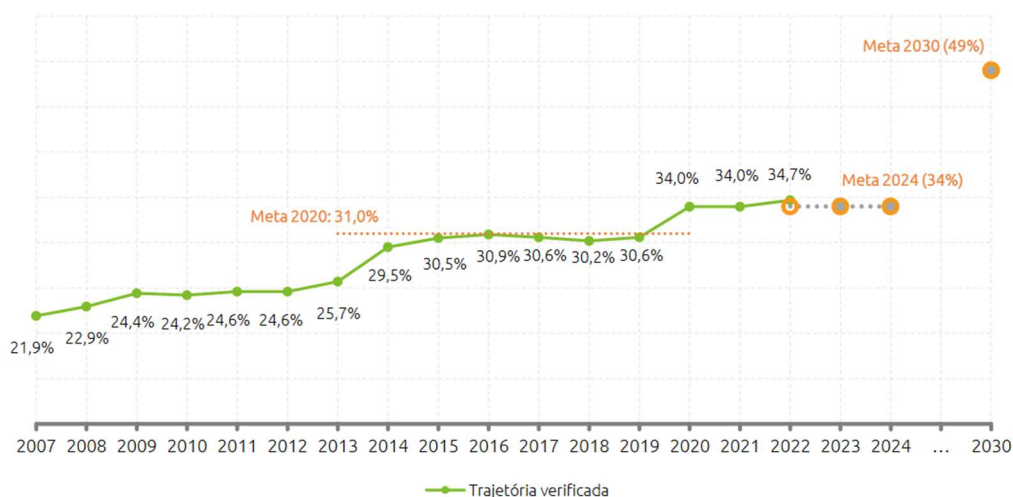


Figura 2.4 - Evolução da integração de energias renováveis no consumo final bruto de energia Retirada do relatório da DGEG, Energia em números edição 2024

A capacidade de abastecimento de 61% dos consumos de energia elétrica em Portugal, teve como principais fontes de energia contribuintes as energias eólica, hidroelétrica, fotovoltaica e biomassa, foi atingido um recorde na utilização de energias renováveis em Portugal (REN, 2024).

Os dados da evolução das taxas de emissão de GEE e da taxa de integração de energias renováveis demonstram todo o trabalho que tem sido desenvolvido através das políticas em ação e da eficiência das mesmas em reduzir o nosso impacto ambiental e em rumo a uma sociedade mais sustentável a nível energético.

A mais recente revisão do PNEC 2030 visa a aumentar as metas previamente estabelecidas, sendo que os principais objetivos desta revisão incluem a redução das emissões de GEE em 55% até 2023, em comparação com os níveis de 2005, e o aumento do consumo de energias renováveis para 51% até 2030. Para alcançar essas metas, uma das principais estratégias é o investimento em tecnologias solares e eólicas. Está previsto um aumento da capacidade de produção de energia solar de 8,4 GW para 20,8 GW, bem como um aumento da capacidade de produção de energias eólicas: de 6,3 GW para 10,4 GW em *onshore* e de 0,03 GW para 2 GW em *offshore* (Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020, 2020).

Também será dado foco à necessidade de priorizar o armazenamento de energias com um aumento da capacidade até 2030 onde para tal será utilizada a produção de hidrogénio renovável, técnicas de hidroelétrica reversível com bombagem e apostando também em baterias de armazenamento de energias (Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020, 2020).

2.3 Avaliação de Impactes Ambientais

O Regime Jurídico da Avaliação de Impacte Ambiental (RJAIA) foi estabelecido pela primeira vez pelo Decreto-Lei n.º 69/2000, permitindo a sua aplicação a projetos públicos e privados que apresentassem riscos ambientais significativos. Na sequência da Diretiva 2011/92/UE, o Governo português introduziu várias alterações ao quadro da Avaliação de Impactos Ambientais (AIA), culminando no Decreto-Lei n.º 151-B/2013, que visa reforçar e racionalizar o processo de AIA para uma política de proteção ambiental e de desenvolvimento sustentável mais eficaz.

O RJAIA aplica-se a projetos que possam provocar impactos ambientais significativos. Existem várias tipologias de projeto, com limiares e critérios obrigatórios para AIA, especialmente em áreas sensíveis, como áreas protegidas ou da Rede Natura. Mesmo projetos fora dessas tipologias podem ser sujeitos a AIA, dependendo da sua localização, dimensão e potencial impacto.

Os projetos sujeitos a AIA estão descritos nos Anexos I e II do Decreto-Lei n.º 151-B/2013. O Anexo I inclui projetos de grande escala, como refinarias, centrais nucleares, infraestruturas de transporte e operações mineiras. Já o Anexo II inclui projetos menores, como os de agricultura, energia e turismo, com limiares que determinam se os projetos são sujeitos a AIA, sendo que, está estipulado que as instalações industriais destinadas à produção de energia elétrica, como é o caso das centrais solares, são sujeitos a RJAIA em casos gerais se apresentarem uma produção energética superior a 50MW, e no caso de serem instaladas em áreas sensíveis são sujeitos a RJAIA em

casos gerais se apresentarem uma produção energética superior a 20MW (Diário da República, 2013).

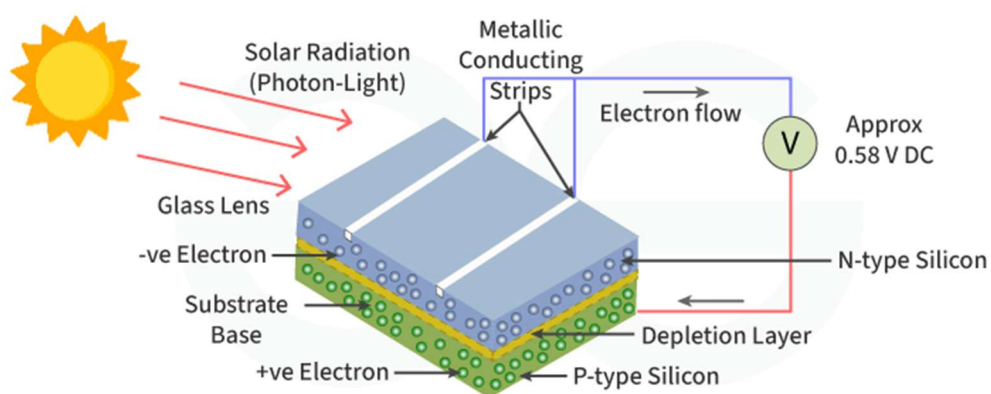
Mesmo quando não há obrigatoriedade legal para a Avaliação de Impactes Ambientais, como no caso de instalações de energia renovável que não atingem os limiares definidos, é importante manter uma consciência ambiental proativa. A produção de energia, mesmo de fontes renováveis como as centrais solares, pode ter efeitos significativos sobre o ambiente, especialmente quando instaladas em áreas sensíveis. Portanto, adotar práticas de avaliação e mitigação de impactos ambientais, independentemente da obrigatoriedade legal, é uma abordagem responsável para garantir que os benefícios das energias renováveis não sejam comprometidos por possíveis danos ambientais.

3. Energia Solar

3.1 Células fotovoltaicas

3.1.1 Funcionamento geral

Um módulo fotovoltaico é composto por várias células fotovoltaicas que têm como objetivo de conversão direta da luz solar em energia elétrica. As células fotovoltaicas, por sua vez são formadas por várias camadas de materiais semicondutores, além de camadas de materiais condutores que recolhem a energia produzida. Cada célula é equipada com uma camada de proteção antirreflexo, que minimiza a quantidade de luz refletida, e é envolvida por uma moldura e um vidro que protegem a célula de fatores externos (Vickerman, 2024).



Photovoltaic Cell



Figura 3.1 - Esquema de funcionamento de uma célula fotovoltaica
(Retirada de: <https://www.geeksforgeeks.org/photovoltaic-cell/>)

O efeito fotovoltaico ocorre nas células quando a radiação eletromagnética de um feixe luminoso é convertida em energia elétrica, criando uma corrente e tensão ao incidir na superfície de uma junção semicondutora. Esta junção é formada por dois tipos de semicondutores: um tipo-p, que possui um excesso de carga positiva, e um tipo-n, que apresenta um excesso de carga negativa. Quando estes materiais são excitados pela luz, cria-se um fluxo de corrente elétrica, uma vez que esta é composta por fótons, partículas que transportam o campo eletromagnético, e, quando a luz de um comprimento de onda adequado incide sobre as células fotovoltaicas, os fótons são absorvidos pelo material semicondutor, como é possível observar através da Figura 3.1. Essa absorção transfere energia para os elétrons da junção p-n, fazendo com que eles fiquem num estado energético mais elevado, conhecido como banda de condução. Esse movimento dos elétrons cria um buraco na banda de valência, criando assim um par de cargas. Assim, a interação entre a luz e os semicondutores resulta na criação de portadores de carga que possibilitam a produção de eletricidade (Boyle, 2004).

3.1.2 Evolução das tecnologias fotovoltaicas

As células fotovoltaicas, que compõem os painéis solares, podem ser classificadas em três gerações, cada uma caracterizada por diferentes níveis de eficiência, materiais utilizados, e custos de produção. A primeira geração é composta por células tradicionais de silício, enquanto a segunda geração faz uso de tecnologias de película fina, e a terceira geração explora materiais inovadores para aumentar a eficiência energética, embora estas tecnologias ainda se encontrem em fase experimental (Zhang, Wang, & Yang, 2018).

A primeira geração de células fotovoltaicas é considerada a mais eficiente em termos de produção energética e a mais amplamente utilizada no mercado. Estes tipos de painéis solares são feitos de células de silício monocristalinas e policristalinas, que alcançam uma eficiência máxima de conversão de energia de cerca de 33%. Em comparação com as gerações seguintes, os sistemas da primeira geração tendem a ter uma vida útil mais longa e maior eficiência. No entanto, os processos de produção são mais caros e o desempenho diminui com o aumento da temperatura.

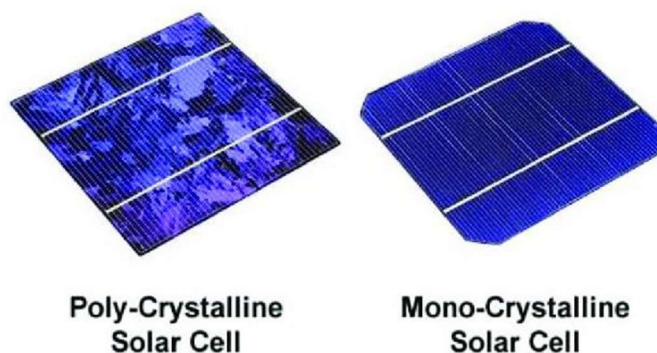


Figura 3.2 - Imagem de células fotovoltaicas da 1ª geração de silício policristalinas e monocristalinas (Retirada do estudo "The use of architectural treatments for optimal utilization of solar energy")

A segunda geração de células fotovoltaicas utiliza tecnologia de película fina, na qual camadas extremamente finas de materiais semicondutores são utilizadas, reduzindo a quantidade de material necessário para sua fabricação. No entanto, isso resulta numa eficiência menor em comparação com a primeira geração. Entre os materiais mais utilizados estão o silício amorfo, telureto de cádmio e as células CIGS (Cobre-Índio-Gálio-Selênio). As células de telureto de cádmio apresentam a maior eficiência, variando entre 11% e 18,7%.

A terceira geração de células representa o futuro da tecnologia fotovoltaica. Embora ainda em fase de pesquisa e desenvolvimento, estas células procuram superar as limitações das tecnologias anteriores, utilizando materiais inovadores para aumentar a eficiência de conversão energética. No entanto, apesar dos avanços, essas células ainda não são comercialmente viáveis (Zhang, Wang, & Yang, 2018).

3.2 Parâmetros que afetam o desempenho da produção de energia solar

Os sistemas fotovoltaicos são, por norma, dimensionados para operar ao ar livre estando expostos às condições ambientais, pelo que é essencial identificar e compreender os diversos fatores ambientais envolvidos e entender como é que estes podem influenciar o desempenho dos painéis solares ao longo do tempo.

3.2.1 Radiação solar

A radiação solar é a quantidade de energia solar, ou potência de radiação, que atinge uma superfície por unidade de área, medida em Watts por metro quadrado (W/m^2). Este é um dos parâmetros fundamentais para o funcionamento dos painéis solares, pois sem essa energia, estes não conseguem gerar eletricidade. Para maximizar a eficiência energética dos painéis solares, é essencial que as localizações escolhidas recebam várias horas de luz solar por dia, aumentando o tempo disponível para a produção de energia renovável.

No entanto, a radiação solar varia ao longo do ano, principalmente devido à inclinação do eixo da Terra, que altera o ângulo de incidência da luz solar em diferentes regiões. Esta variação influencia diretamente a quantidade de energia solar recebida em diferentes estações, impactando o desempenho dos painéis solares (Alternative Energy Tutorials, s.d.).

Os painéis solares possuem a capacidade de gerar energia tanto a partir da luz solar direta quanto da luz refletida pelo céu, pelo solo ou por objetos próximos. No entanto, é a luz solar direta que fornece a maior parte da radiação recebida pelos painéis. Para garantir que os painéis solares capturem a máxima quantidade de radiação possível, é

crucial que sejam orientados e inclinados de forma a alcançar o ângulo ótimo de funcionamento. Este ângulo é frequentemente considerado equivalente à latitude do local de instalação dos sistemas fotovoltaicos, mas pode variar até 15° conforme a estação do ano (Shaik, Lingala, & Ve, 2023).

Apesar disso, nem sempre é possível instalar os sistemas na orientação e inclinação ideais, devido a fatores como a localização específica, a inclinação e orientação dos telhados onde serão instalados, e a presença de possíveis sombreamentos, entre outros. Esses elementos devem ser cuidadosamente considerados no processo de dimensionamento, de modo a otimizar o desempenho dos painéis solares mesmo em condições menos favoráveis.

3.2.2 Temperatura das células

A temperatura das células fotovoltaicas é um parâmetro crucial a ser considerado, pois tem uma relação inversamente proporcional com a tensão das células, o que impacta diretamente a energia elétrica produzida como é possível observar na Figura 3.3.

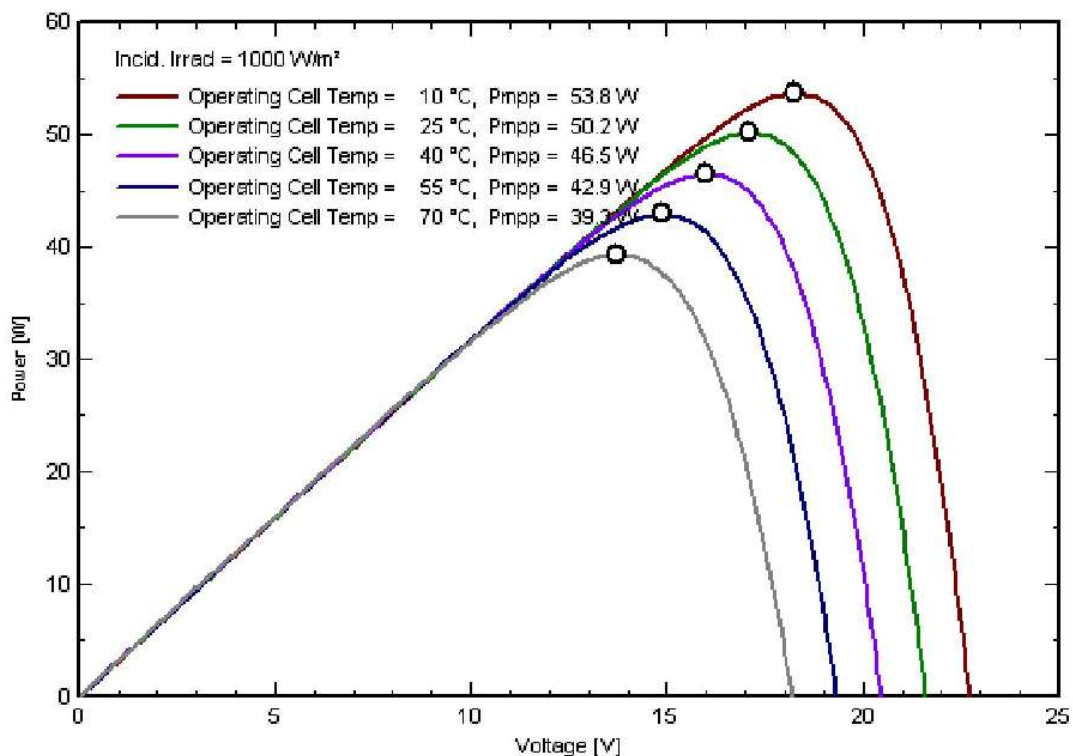


Figura 3.3 - Energia produzida e tensão das células com a variação da temperatura
(Retirada de: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Effect-of-Temperature-on-Photovoltaic-Cell-Fesharaki-Dehghani/4eb139ee8e2cc5d722b14ced834f35a8183b1188>)

A eficiência de uma célula fotovoltaica está diretamente ligada à sua capacidade de converter a luz solar direta em energia elétrica. No entanto, quando as células recebem essa radiação, apenas uma parte é efetivamente convertida em energia elétrica através do efeito fotovoltaico, enquanto outra parte é absorvida como calor, aquecendo as células. Quando os painéis solares operam em temperaturas mais elevadas, ocorre um aumento da energia térmica nos materiais semicondutores, o que provoca a excitação

dos elétrons e cria uma maior resistência elétrica. Isso, por sua vez, reduz a tensão das células e diminui a eficiência do sistema (Shaik, Lingala, & Ve, 2023).

O fator principal que afeta a temperatura das células fotovoltaicas é a temperatura ambiente do local onde elas operam, sendo que isto reforça o facto de que é necessário ter em conta a localização onde se pretende realizar as instalações uma vez que as condições atmosféricas têm um impacto significativo na eficiência dos sistemas fotovoltaicos. No entanto, outros fatores desempenham um papel significativo, tais como o tipo de material das células e os materiais adjacentes. As propriedades térmicas desses materiais influenciam diretamente a dissipação e absorção de calor, afetando a eficiência térmica das células (Adeeb, Farhan, & Al-Salaymeh, 2019).

Além disso, a maneira como os painéis fotovoltaicos são instalados, incluindo o ângulo e a orientação, também impactam a temperatura operacional. Uma instalação adequada pode melhorar a ventilação natural e reduzir a acumulação de calor nas células, contribuindo para o arrefecimento das células, e conseqüentemente, para uma maior eficiência na conversão de energia solar em elétrica.

3.2.3 Velocidade do vento

O vento, e as suas velocidade e direção, desempenha um papel importante no desempenho dos sistemas fotovoltaicos, influenciando a temperatura das células, a integridade estrutural dos painéis e a deposição de poeira, que pode reduzir a eficiência na captação de radiação solar (Shaik, Lingala, & Ve, 2023).

Como discutido anteriormente, a temperatura das células fotovoltaicas é um fator crucial para sua eficiência. Quando a temperatura das células aumenta, a tensão de saída diminui, tendo impactos negativos na eficiência o que resulta numa menor produção de energia. O vento pode ajudar a mitigar esse efeito ao promover o arrefecimento das células, permitindo que o ar circule livremente sobre sua superfície.

Um estudo conduzido por Leow et al. (2019) analisou o comportamento de dois painéis solares, um protegido do vento e outro exposto ao ar livre. O estudo mediu a temperatura das células e a tensão de saída ao longo do dia para analisar o impacto do vento. Além disso, foram monitorizadas as condições ambientais, onde a radiação solar variou entre 1021,2 W/m² e 329,1 W/m², a temperatura ambiente variou entre 38,4°C e 33,5°C, e a velocidade do vento oscilou entre 6,7 m/s e 0,2 m/s, conforme ilustrado na figura 3.4 (Leow, Irwan, Irwanto, & Amelia, 2019).

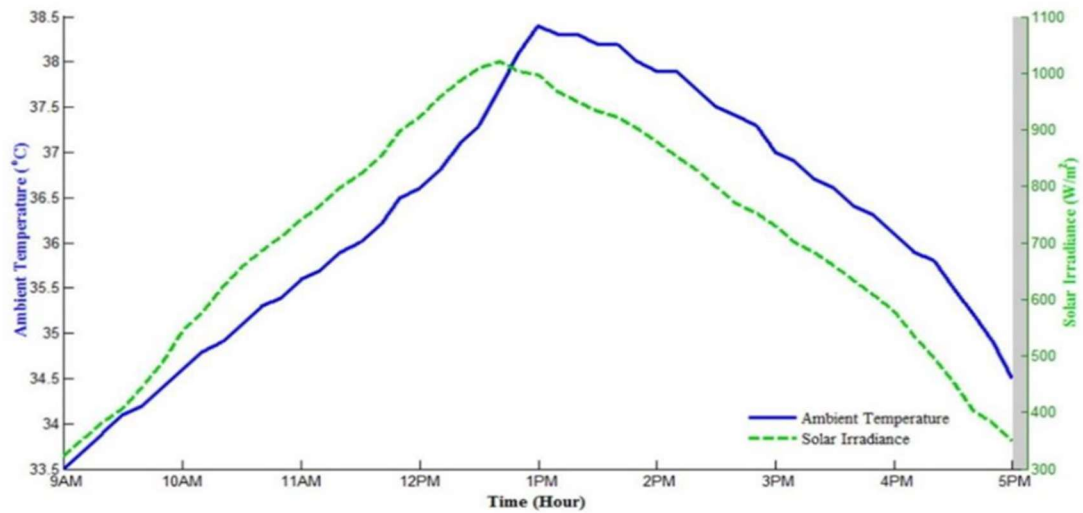


Figura 3.4 - Dados da variação da temperatura e da radiação solar (Retirados do estudo de Leow et al. DOI: <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v15.i1.pp62-70>)

Os resultados mostraram que o painel protegido do vento apresentou temperaturas de operação significativamente mais altas em comparação com o painel exposto. Consequentemente, a tensão de saída e a energia gerada pelo painel protegido foram menores, como evidenciado na Figura 3.5 e na Figura 3.6.

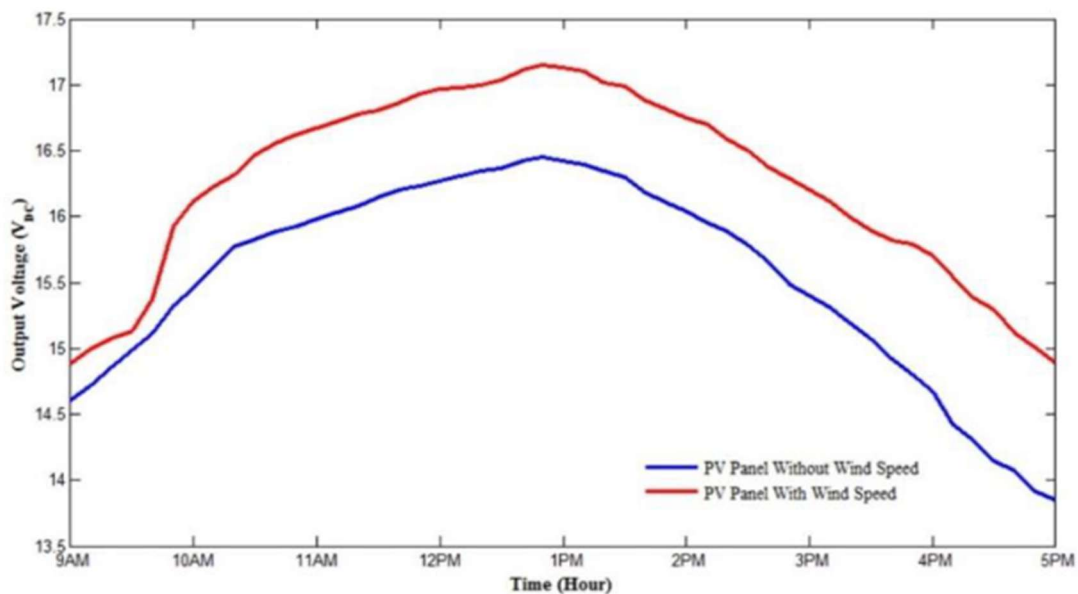


Figura 3.5 - Dados da variação da tensão de saída das células do painel exposto ao vento e do painel protegido do vento ao longo do dia (Retirado do estudo de Leow et al. (2019) DOI: <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v15.i1.pp62-70>)

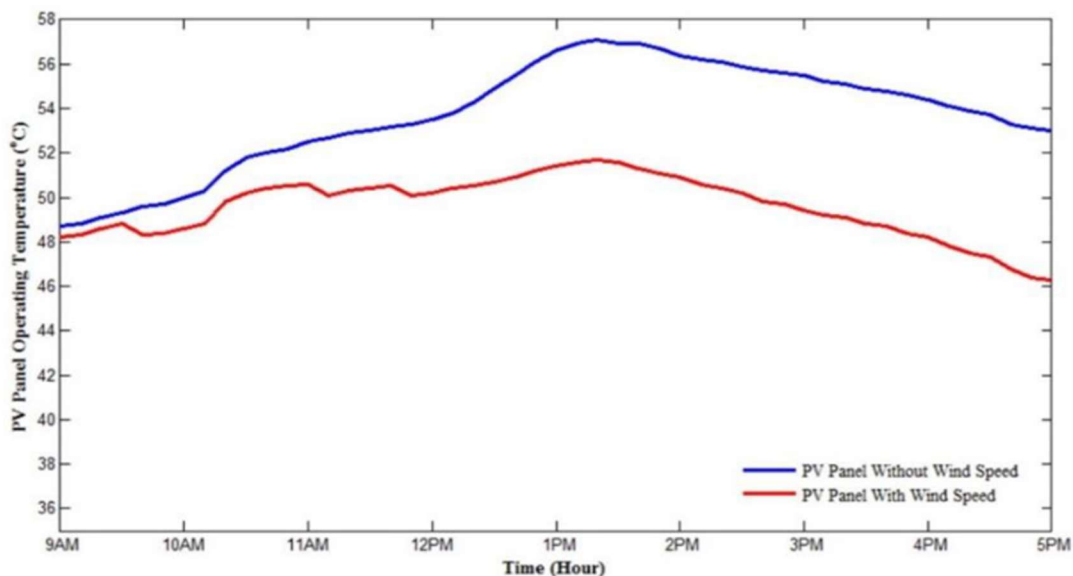


Figura 3.6 - Dados da variação da temperaturas das células do painel exposto ao vento e do painel protegido do vento ao longo do dia
(Retirado do estudo de Leow et al. (2019) DOI: <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v15.i1.pp62-70>)

As temperaturas máxima e mínima de operação para o painel protegido foram de 57,1°C e 48,8°C, respetivamente, enquanto para o painel exposto ao vento, as temperaturas máxima e mínima foram de 51,7°C e 46,3°C, respetivamente. Esses resultados demonstram que o vento pode melhorar o desempenho dos painéis solares ao arrefecer as células fotovoltaicas (Leow, Irwan, Irwanto, & Amelia, 2019).

No entanto, é importante reconhecer que ventos extremos podem representar um risco para as estruturas fotovoltaicas, correndo o risco de causar danos através da colisão de pequenos objetos ou afetando a integridade dos painéis e das infraestruturas de suporte dos mesmos. Apesar disso, os painéis solares são projetados para resistir a condições ambientais adversas, incluindo ventos fortes, garantindo sua durabilidade e eficiência a longo prazo.

3.2.4 Humidade

A humidade é um dos fatores considerados que influencia o desempenho dos painéis solares. Quanto maior for a humidade relativa de um local, maior é a chance de formação e acumulação de gotas de água na superfície dos painéis, o que pode causar infiltrações, levando à corrosão dos componentes dos painéis e dos materiais que os compõem. Além disso, a maior humidade facilita a acumulação de sujidade, pois as partículas das poeiras que estão no ar aderem mais facilmente à superfície dos painéis, obstruindo a passagem da radiação solar para as células fotovoltaicas. As gotas de água que permanecem nos painéis também contribuem para a refração da luz solar, resultando numa redução da radiação que atinge diretamente as células solares, o que diminui a eficiência do sistema (Shaik, Lingala, & Ve, 2023).

Um estudo conduzido por Panjwani et al. (2014), em Karachi, Paquistão, testou a produção de energia de um painel solar em diferentes níveis de humidade relativa. A experiência foi realizada num ambiente controlado, onde uma lâmpada de halogéneo foi utilizada para simular a luz solar, e a humidade foi aumentada gradualmente com um humidificador, sendo monitorada com um higrómetro.

As condições iniciais da sala imitavam as condições ambientais de Karachi, com uma temperatura que se manteve constante de 32°C e uma humidade relativa de 25%. A humidade foi então aumentada em intervalos de 5%, até atingir 55%. Foram medidos os valores de tensão, corrente e energia produzida em cada nível de humidade, e os resultados mostraram um impacto negativo no desempenho dos painéis à medida que a humidade aumentava. Com uma humidade relativa de 30%, a produção de energia dos painéis foi reduzida em 7,4%. No nível mais alto de humidade testado, 55%, houve uma redução de 35,4% na produção de energia. A Figura 3.7 demonstra os resultados da experiência, comparando a energia produzida, no eixo y, com os níveis de humidade relativa no eixo x (Panjwani & Narejo, 2024).

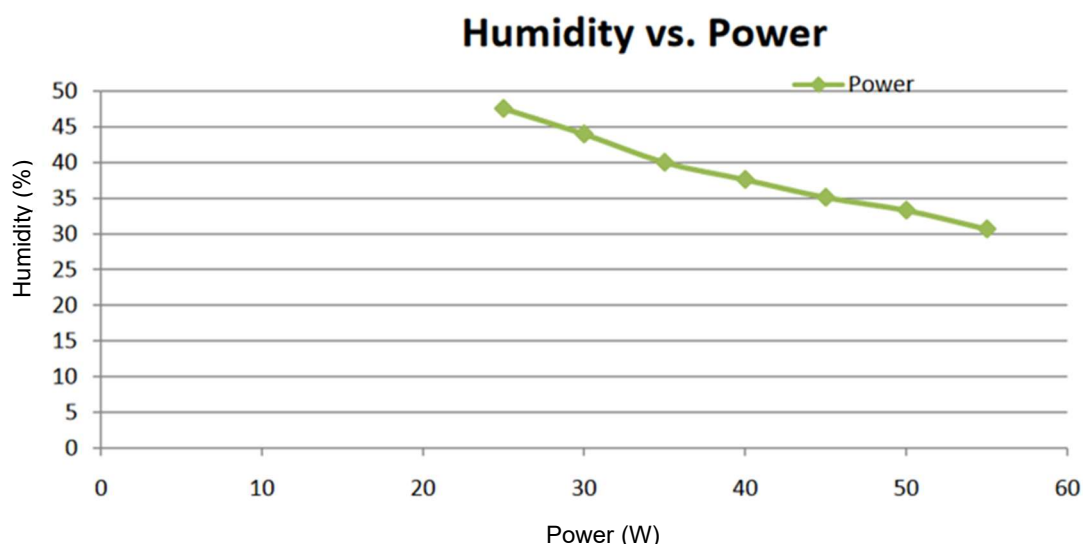


Figura 3.7 - Dados da evolução da potência de saída do painel fotovoltaico e da humidade relativa (Retirado do estudo de Panjwani et al.(2014) ISSN 2091-2730)

As adversidades que a humidade apresenta para os painéis solares podem ser reduzidas, ou mitigadas, através da escolha de painéis solares mais resistentes, para locais onde a humidade relativa é maior, e através de um plano de manutenção preventiva adequado de forma a avaliar a corrosão dos materiais e a evitar altos níveis de sujidade nos painéis ao longo do tempo.

3.2.5 Sombreamento

O sombreamento é o fenômeno no qual a radiação solar é bloqueada antes de atingir os painéis solares, comprometendo o seu desempenho. Esse sombreamento pode ocorrer por diversos motivos, como a presença de árvores, edifícios ou outras estruturas que obstruem a radiação direta em determinados momentos do dia, ou devido à acumulação de sujeira nos painéis ao longo do tempo. Mesmo que apenas uma pequena porção do painel fotovoltaico esteja sombreada, isso pode reduzir significativamente a quantidade de energia gerada pelo sistema (Shaik, Lingala, & Ve, 2023).

Além disso, os próprios sistemas fotovoltaicos podem criar sombreamento sobre si mesmos se não houver uma distância adequada de separação entre os painéis. Quando mal espaçados, os painéis de uma fileira podem sombrear os da fileira adjacente, especialmente em ângulos de incidência solar mais baixos. Para evitar esse efeito, é essencial garantir uma distância adequada entre as fileiras de painéis, como ilustrado na figura 3.8.

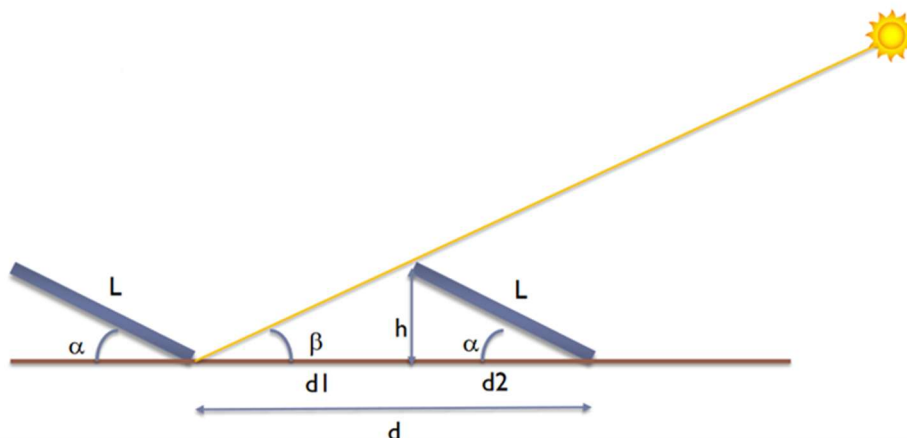


Figura 3.8 - Incidência da radiação solar direta sobre as fileiras de painéis solares (Retirado dos slides de Energia solar Fotovoltaica – Dimensionamento de sistemas PV da pós-graduação EGER do ISEL)

De acordo com o esquema apresentado na Figura 3.8 é possível deduzir a seguinte fórmula para evitar o sombreamento das fileiras de painéis solares:

$$d = d_1 + d_2 = \frac{h}{\tan \beta} + L \cos \alpha \quad (3.1)$$

A orientação dos painéis fotovoltaicos, bem como o ângulo de inclinação dos mesmos, impacta também a quantidade de radiação recebida pelos mesmos. Por norma a orientação ideal dos painéis solares depende do hemisfério onde o local de instalação se encontra, no hemisfério sul é ideal que os painéis fiquem orientados para Norte e vice-versa. Já a inclinação ideal dos painéis solares varia ao longo do ano de acordo com a distância da Terra ao Sol e o ângulo que este faz com a Terra, sendo que quando os painéis fotovoltaicos ficam perpendiculares à radiação solar incidente estes recebem a radiação solar máxima (Prunier, Chuet, Nicolay, Hamon, & Darnon, 2023).

No entanto, a orientação e inclinação dos painéis solares vai ser definida e adequada às infraestruturas ou locais onde estes se pretendem instalar.

3.3 Vantagens e desvantagens da energia solar

O uso de alternativas para a produção de energia limpa, sem dependência de combustíveis fósseis, tem crescido significativamente nos últimos anos, impulsionado por iniciativas e incentivos internacionais. Ao considerar as diversas opções para produzir energia renovável, é crucial avaliar as vantagens e desvantagens de cada uma, garantindo assim uma decisão informada e coerente, que maximize os benefícios e minimize os riscos associados ao seu uso.

Uma das maiores vantagens da utilização de energias renováveis, como a energia solar, é o aproveitamento de recursos naturais ilimitados para transformá-los em energia elétrica. Esta estratégia tem se mostrado popular para reduzir o consumo de combustíveis fósseis, proporcionando uma energia mais limpa e com uma pegada de carbono significativamente inferior, ou quase nula.

Além disso, o uso de recursos naturais como o sol e o vento para a produção de energias renováveis reduz significativamente a necessidade de importação e exportação de combustíveis fósseis para a produção de energia elétrica. Como esses recursos naturais não requerem transporte, as emissões de GEE associadas ao transporte de combustíveis são mitigadas, contribuindo para a proteção do meio ambiente (Maradin, 2021).

No entanto, os recursos naturais utilizados para a produção de energias renováveis dependem das condições ambientais e da localização geográfica, e sua disponibilidade pode ser imprevisível, variando ao longo do dia e do ano. Isso cria uma limitação na produção contínua dessas energias. Para mitigar essa desvantagem, é essencial um planejamento cuidadoso da localização dos sistemas de geração de energia renovável. Isso inclui uma análise detalhada dos recursos disponíveis e de sua variação ao longo do tempo, permitindo maximizar o *output* energético.

Em comparação com os métodos convencionais de produção de energia elétrica, as energias renováveis geralmente não conseguem produzir tanta energia, à exceção das centrais hidroelétricas e das centrais que utilizam as marés para produção de energia elétrica, devido à sua menor eficiência onde as centrais solares têm uma eficiência em média abaixo dos 15%. Para além do mais, estas operam menos horas ao longo de um ano em comparação com as fábricas de produção de eletricidade convencionais. Enquanto o uso de combustíveis fósseis permite um funcionamento de cerca de 7500 horas por ano, em contraste com as centrais solares que operam, em média, apenas 2000 horas por ano (Maradin, 2021).

No campo das energias renováveis, os sistemas fotovoltaicos oferecem várias vantagens, pois podem ser utilizados tanto para a produção de energia em grande escala quanto para a redução do consumo de energia elétrica proveniente de combustíveis fósseis nas residências. Estes sistemas aproveitam a radiação solar para produzir energia elétrica, utilizando o sol, um recurso natural ilimitado e abundante em diversas partes do mundo. Isso permite diminuir o consumo de energia elétrica proveniente de combustíveis fósseis durante o dia. Além disso, quando acoplados a sistemas de armazenamento, como baterias solares, os sistemas fotovoltaicos podem ajudar a reduzir ainda mais estes consumos provenientes da rede podendo armazenar o excesso de energia solar produzida durante o dia e injetá-la na rede elétrica em períodos em que a produção de energia renovável não é possível, como durante a noite.

Outra vantagem dos sistemas fotovoltaicos tradicionais é a ausência de partes móveis, o que resulta em baixos custos de manutenção ao longo da sua vida útil. Embora a fabricação e instalação dos painéis fotovoltaicos envolvam custos iniciais significativos devido à fase de investimento inicial, estes sistemas têm um ciclo de vida de 20 a 25 anos, permitindo o retorno do investimento em aproximadamente 8 a 10 anos, dependendo da localização e dos incentivos às energias renováveis. Assim, apesar dos custos iniciais elevados, os baixos custos de manutenção tornam os sistemas fotovoltaicos um investimento que se paga ao longo do tempo. (Stevanović, Stevanović, & Živko, 2022)

As desvantagens do uso da energia solar incluem a necessidade de utilizar a energia produzida imediatamente ou armazená-la em baterias solares. Estas baterias acumulam o excesso de energia produzida para que possa ser utilizada quando a produção é nula ou mínima. No entanto, as baterias têm um custo elevado, especialmente para grandes sistemas fotovoltaicos, que requerem várias unidades, resultando em despesas significativas associadas à fase de investimento inicial. Além disso, a produção de energia solar é limitada pela variação da radiação solar ao longo do dia e do ano. A energia solar só pode ser produzida durante o dia e, em meses de inverno ou em

condições de tempo nublado, a disponibilidade é reduzida, exigindo o uso de energia proveniente da rede elétrica para complementar as necessidades energéticas. A eficiência na produção de energia também depende da dimensão do sistema fotovoltaico, bem como do posicionamento e inclinação dos painéis. É essencial considerar as condições ambientais do local de instalação e minimizar o sombreamento para otimizar a produção (Stevanović, Stevanović, & Živko, 2022).

Embora os sistemas fotovoltaicos tenham como objetivo a produção de energia limpa e a neutralidade carbónica, é importante considerar os impactos ambientais ao longo de seu ciclo de vida. Isso inclui as emissões de gases de efeito estufa associadas à produção dos painéis, ao transporte e utilização das matérias-primas provenientes de recursos naturais não renováveis, à instalação e à desmontagem e reciclagem dos painéis no final da sua vida útil.

Em conclusão, a utilização de energias renováveis, especialmente a energia solar, representam um avanço significativo para encontrar soluções sustentáveis para produção energética que apresentem menores impactos ambientais, e o facto de transformarem recursos naturais ilimitados em eletricidade apresenta benefícios fundamentais para um desenvolvimento sustentável tais como a redução da dependência de combustíveis fósseis e a diminuição da emissão de GEE provenientes da produção energética. No entanto, estas apresentam limitações significativas como as variações na produções energéticas e custos elevados de investimento inicial.

Os sistemas fotovoltaicos apresentam uma grande durabilidade e baixos custos relacionados com a sua fase de exploração o que contribui para a sua viabilidade económica a longo prazo, no entanto apresentam custos iniciais significativos. A eficiência energética dos mesmos apresenta valores baixos, sendo que o rendimento dos painéis solares ronda os 20%, e esta é impactada pelas estações do ano e pela disponibilidade da radiação solar, no entanto estes fatores podem ser reduzidos com uma análise cuidadosa das condições ambientais do local e através do planeamento adequado do dimensionamento e posicionamento dos sistemas fotovoltaicos.

Importa ainda referir a importância dos impactos ambientais que os sistemas fotovoltaicos apresentam, direta ou indiretamente, incluindo as emissões de gases de efeito estufa relacionadas à sua produção, transporte, instalação e descarte, e tentar reduzir os mesmos o máximo possível.

Portanto, a adoção de energias renováveis como a solar deve ser acompanhada de uma abordagem equilibrada, que maximize os benefícios e minimize os desafios. Com um planeamento estratégico e inovação contínua, é possível avançar em direção a um futuro energético mais sustentável e eficiente.

3.4 Impactos ambientais das tecnologias fotovoltaicas

As tecnologias fotovoltaicas acarretam uma série de impactos ambientais durante todo o seu ciclo de vida, seja deste a fase de produção dos mesmos à fase de construção, exploração e desativação dos sistemas fotovoltaicos. Serão enunciados os principais impactos no decorrer deste subcapítulo.

3.4.1 Matérias-primas

A produção de células fotovoltaicas e dos respectivos painéis requer a utilização de diversas matérias-primas, como o silício, cádmio, telúrio, cobre, selênio e gálio.

Para que essas matérias-primas possam ser aplicadas nos painéis fotovoltaicos e nos seus respectivos componentes, é necessário submetê-los a processos rigorosos de purificação, garantindo a qualidade adequada. No entanto, grande parte dessas matérias-primas são obtidas através da extração de outros minérios. Por exemplo, os minerais de silicatos, que compõem cerca de 90% da crosta terrestre são a segunda substância mais abundante do planeta, sendo a principal matéria-prima para a produção de silício, essencial na fabricação das células fotovoltaicas. A obtenção do silício de alta pureza, utilizado nas células monocristalinas e policristalinas, exige processos industriais intensivos, que recorrem a substâncias químicas perigosas e elevadas quantidades de calor para alcançar o nível de pureza necessário (Tawalbeh, et al., 2021).

3.4.2 Uso de água

Durante a fabricação do silício é estimado que sejam utilizados cerca de 180 kg de água para cada etapa de purificação. Na fase de conversão do silício em células monocristalinas, esse valor aumenta para aproximadamente 470 kg de água, devido à complexidade dos processos químicos envolvidos. Assim, para cada kWp de capacidade instalada, estima-se que entre 3,7 e 5,2 toneladas de água sejam consumidas. Este elevado consumo de água durante a produção exige a implementação de processos eficientes de tratamento e reutilização da água para mitigar o impacto ambiental. (Tawalbeh, et al., 2021)

Além do consumo direto de água durante a produção, é importante considerar o consumo indireto. A produção de energia elétrica, que alimenta as fábricas de painéis solares, também necessita de grandes volumes de água, principalmente se a eletricidade for proveniente de fontes que utilizam sistemas de refrigeração intensiva, como as centrais termoelétricas. Este consumo indireto aumenta a pegada hídrica dos sistemas fotovoltaicos. Apesar dessas estimativas, a falta de estudos concretos e abrangentes sobre o uso da água ao longo de todo o ciclo de vida dos sistemas

fotovoltaicos, desde a extração dos materiais até à reciclagem, impedem um estudo mais detalhado dos impactos ambientais associados ao consumo de água.

Uma investigação mais detalhada sobre este aspeto permitiria identificar com maior precisão os pontos críticos de consumo de água, proporcionando melhores estratégias para reduzir os impactos e otimizar o uso de recursos hídricos ao longo do ciclo de vida dos sistemas fotovoltaicos (Tawalbeh, et al., 2021).

3.4.3 Emissão de gases de efeito de estufa

Embora a utilização de painéis solares durante a fase de operação de uma central, ou até de um sistema fotovoltaico doméstico, não gere emissões diretas, é importante considerar que existem emissões de GEE associadas às restantes etapas do seu ciclo de vida. Desde a extração de matérias-primas e a produção dos painéis, até ao transporte, instalação e eventual desmantelamento, todas estas fases contribuem para uma pegada de carbono que deve ser avaliada no contexto do seu impacto ambiental global.

Um relatório publicado pela Agência Internacional de Energia (AIE) (2022) sobre as cadeias de abastecimento globais de energia solar fotovoltaica indica que a produção de painéis solares, especialmente os de silício cristalino, exigem um consumo energético elevado, principalmente na fabricação das células e dos seus componentes. As células de silício policristalino representam cerca de 40% do consumo energético total da produção de painéis solares, já que requerem temperaturas extremamente altas durante longos períodos de tempo. Este processo é necessário para derreter o quartzo, extrair o silício e refiná-lo, de modo a alcançar o elevado grau de pureza exigido pelas células solares. Além disso, a produção dos lingotes e dos *wafers* que compõem as células fotovoltaicas também requer grandes quantidades de energia, devido ao uso de temperaturas elevadas por períodos prolongados para garantir a sua fabricação adequada (International Energy Agency, 2022).

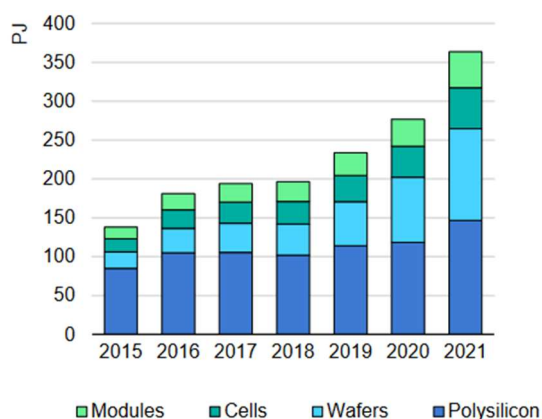


Figura 3.9 - Energia necessária para a produção dos módulos fotovoltaicos e respetivos componentes (Retirada do relatório Solar PV Global Supply Chains da IEA (2022))

É estimado no relatório da IEA que cerca de 67% do consumo energético necessário para a produção de painéis solares provém da queima de carvão, usada para gerar a energia indispensável aos processos de fabrico. O consumo elevado de energias não-renováveis para a produção dos painéis solares e dos seus componentes resultam por sua vez em emissões elevadas de dióxido de carbono para a atmosfera, como é possível observar na Figura 3.10 (International Energy Agency, 2022).

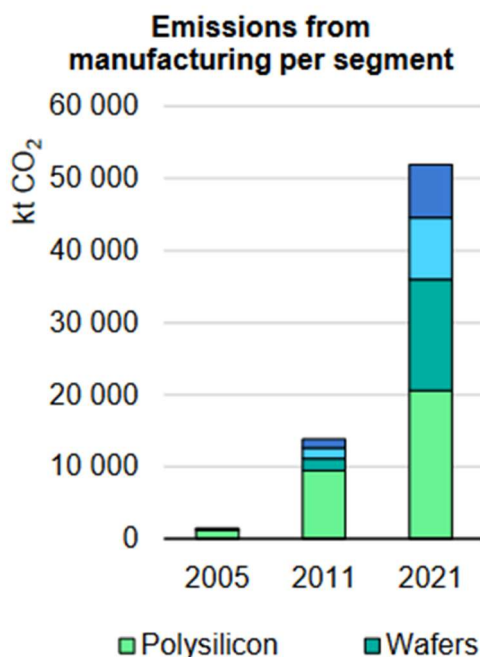


Figura 3.10 - Emissões de dióxido de carbono relacionadas com a produção do polisilicone e dos wafers das células fotovoltaicas
Retirada do relatório Solar PV Global Supply Chains da IEA (2022)

3.4.4 Reciclagem

Quando os painéis solares atingem o fim da sua vida útil, geralmente entre 25 a 30 anos, a sua eficiência de produção energética diminui para cerca de 80% do seu valor original. É crucial garantir a disposição adequada destes painéis, pois estes contêm substâncias que podem representar riscos para o meio ambiente e a saúde humana. Em Portugal, é comum que os painéis solares em fim de vida sejam incinerados ou enviados para aterros, sem opção de serem reciclados. Infelizmente, os processos de recuperação, reciclagem ou valorização dos materiais e componentes dos módulos fotovoltaicos são praticamente inexistentes ou mal estruturados (Noctula, s.d.).

No entanto, a reciclagem e reutilização de painéis solares e dos seus componentes oferecem vantagens significativas em relação à disposição em aterros e incineração. Essas práticas não só contribuem para uma economia circular verde como também ajudam a diminuir a necessidade de novos materiais, reduzindo assim os consumos energéticos da rede e as emissões associadas à sua produção.

Existem vários processos de reciclagem de painéis solares que ainda estão a ser estudados e desenvolvidos de modo a garantir a maior eficiência possível desses processos.

No processo de reciclagem por separação física, os componentes dos painéis fotovoltaicos são desmontados, começando pela moldura, seguida pelos cabos elétricos e pelas caixas de junção. Estes dois últimos elementos são esmagados para avaliar sua toxicidade e garantir uma disposição adequada.

A moldura dos painéis, geralmente feita de alumínio, é a última peça a ser montada e serve para proteger as bordas, evitando danos e conferindo maior robustez aos módulos. Após processos de recuperação, essas molduras podem ser reutilizadas na produção de novos painéis, eliminando a necessidade de descartá-las.

Embora seja possível reparar os painéis fotovoltaicos ao fim de sua vida útil, essas reparações limitam-se a componentes elétricos e não permitem uma recuperação significativa do desempenho geral dos módulos.

No processo de reciclagem, os tratamentos térmicos e químicos têm como objetivo recuperar os materiais valiosos contidos nos componentes dos painéis solares. Um dos métodos utilizados é o tratamento térmico, que emprega fornalhas de altas temperaturas para separar os diferentes componentes. A trituração mecânica dos painéis também é uma etapa importante, permitindo a recuperação de metais e vidros, seguida de tratamento térmico para aumentar a eficiência da recuperação.

Além disso, a lixiviação química é aplicada para dissolver as películas de acetato de etileno-vinilo, que cobrem a superfície dos painéis fotovoltaicos. Processos de recuperação de metais, como a lixiviação ácida e a eletrólise, são utilizados para extrair elementos como cobre e telúrio de painéis usados.

Apesar das promessas desses métodos, a viabilidade prática é limitada. Muitos processos requerem o manuseio de substâncias químicas perigosas, resultando em emissões de gases tóxicos para a atmosfera. Além disso, esses métodos geram altos níveis de ruído e podem ser demorados. Assim, embora as técnicas de reciclagem apresentem potencial, é fundamental enfrentar esses desafios para tornar a reciclagem de painéis solares uma prática sustentável e eficiente (Chowdhury, et al., 2020).

3.5 Impactos ambientais das centrais solares

Foram analisados os relatórios de AIA das centrais solares de Benavente 2 (TPF Planege Cenor, 2018), Foral (Greenplan, 2018) e Pinhal Novo (Matos, Fonseca & Associados, 2018) de forma a ser possível ter uma visão mais abrangente dos impactos provenientes da instalação de centrais solares em zonas rurais.

3.5.1 Clima

A instalação de centrais solares em zonas rurais não acarreta impactos negativos significativos durante o seu ciclo de vida, sendo que o principal fenómeno climático associado à operação destas centrais refere-se a um aumento ligeiro da temperatura do ar nas proximidades dos painéis solares, que pode rondar os 2°C. No entanto esta variação dissipa-se à medida que a distância aos painéis aumenta, reduzindo-se a níveis que não são considerados prejudiciais para o clima da região. Este efeito é causado pela absorção de radiação solar pelos painéis, que convertem parte da energia em eletricidade e uma pequena fração em calor. Apesar de ser um efeito localizado, os seus impactos são temporários, só ocorrendo durante o dia, e desaparecem completamente quando as centrais são desativadas.

Durante a fase de exploração, a contribuição indireta das centrais solares para o clima é positiva, sendo que a produção de energia renovável em grande escala substitui diretamente a necessidade de produção energética através de fontes convencionais, como a queima de combustíveis fósseis, que é uma das principais responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa. Este deslocamento da produção de energia proveniente de fontes poluentes para fontes renováveis permite uma redução significativa na pegada carbónica e representa um passo importante na transição para um futuro energético sustentável e alinhado com os objetivos do Acordo de Paris.

Um exemplo concreto deste impacto positivo é observado na Central Solar de Benavente, em Portugal. Com uma capacidade de produção estimada de 9,1 GWh/ano, esta central apresenta um potencial para mitigar a emissão de aproximadamente 4277 toneladas de dióxido de carbono por ano, sendo este um contributo significativo para a redução dos GEE que de outra forma seriam libertados pelas centrais térmicas e quaisquer outros métodos convencionais.

3.5.2 Qualidade do ar

A instalação de centrais solares em zonas rurais envolve uma série de atividades preparatórias do terreno que causam impactos negativos na qualidade do ar. As etapas mais comuns incluem a remoção da vegetação existente, a decapagem dos solos, a movimentação e compactação de terras, as atividades de terraplenagem e a pavimentação de caminhos de circulação interna. Estas intervenções no solo promovem a emissão de poeiras e partículas para o ar, reduzindo a qualidade do ar local, especialmente durante a fase de construção.

Além disso, para a realização dessas atividades, é essencial o uso de maquinaria pesada que contribuam para a emissão de poeiras através do movimento das terras e são responsáveis pela emissão de GEE e outros poluentes atmosféricos devido à combustão de combustíveis fósseis. O aumento do tráfego de veículos de apoio no local também contribui para essa poluição, afetando a qualidade do ar e provocando emissões adicionais de gases de efeito de estufa. Estes impactos, embora temporários, estão particularmente presentes durante as fases de construção e desativação da central, mas também podem ocorrer em menor escala durante a fase de exploração durante atividades de manutenção.

Apesar dos impactos negativos descritos durante a fase de construção em áreas rurais, é importante referir que estes efeitos são localizados e, na maioria dos casos, temporários, devido à capacidade de dispersão do ar.

3.5.3 Biodiversidade

Nas centrais solares instaladas em zonas rurais, os impactos à biodiversidade são negativos. A necessidade de preparação do terreno implica a remoção da vegetação natural, o que resulta na destruição da flora do local e da possível destruição de *habitats* levando a um impacto negativo e direto sobre a fauna local existindo ainda o risco de lesão ou morte das espécies residentes devido às atividades de construção. As perturbações associadas à movimentação de terras, ao aumento do tráfego e à presença de maquinaria pesada forçam muitos animais a abandonarem a área e a movimentarem-se para habitats adjacentes. A fuga de espécies animais pode ser irreversível caso os habitats originais sejam alterados de forma significativa e irreversível.

Durante a fase de exploração, os impactos na biodiversidade tendem a ser mais reduzidos uma vez que as infraestruturas já estão construídas a perturbação direta diminui, e algumas espécies podem começar a recolonizar o local, especialmente em áreas onde a vegetação tem a oportunidade de se regenerar, como no caso de crescimento sob os painéis solares. No entanto, os impactos causados durante a fase

de construção podem ter efeitos de longo prazo, particularmente em ecossistemas mais sensíveis, onde a recuperação da vegetação e do solo acaba por ser mais demorada.

A fase de desativação de uma central solar em áreas rurais pode causar impactos semelhantes aos observados durante a construção, com a potencial remoção de infraestruturas, novos trabalhos de movimentação de terras e perturbações à fauna e flora locais. No entanto, há também a possibilidade de mitigar esses impactos através da implementação de planos de reabilitação paisagística adequados. Estes planos têm como objetivo restaurar as condições originais do terreno, promovendo a recuperação dos habitats naturais e facilitando a recolonização das espécies locais. A reabilitação bem-sucedida pode ter um impacto positivo significativo, possibilitando a regeneração da biodiversidade e devolvendo ao local parte da sua função ecológica.

3.5.4 Recursos hídricos

Durante a fase de construção das centrais solares em zonas rurais é comum observar impactos ambientais negativos relacionados com os recursos hídricos, mas que geralmente são pouco significativos. Entre os mais relevantes estão a erosão do solo e o transporte de poeiras e sedimentos, que podem ser levados pela água da chuva para cursos de água superficiais, afetando negativamente a sua qualidade. A movimentação de terras e a remoção de vegetação criam condições para o aumento da erosão, especialmente em terrenos inclinados ou com solos mais suscetíveis. Além disso, há o risco de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos em caso de derrames de substâncias químicas, como óleos ou combustíveis utilizados nas máquinas de construção. Embora estes riscos possam ser minimizados com a adoção de boas práticas ambientais, como o correto armazenamento e manuseio de substâncias perigosas, a possibilidade de poluição dos aquíferos permanece uma preocupação.

Outro impacto importante durante a fase de construção é a compactação dos solos, causada pelo tráfego de maquinaria pesada e a movimentação de materiais. A compactação reduz a capacidade de infiltração da água no solo, o que pode alterar o escoamento superficial e aumentar o risco de enchentes localizadas. No entanto, este impacto é geralmente considerado menor e reversível, pois, com o tempo, os solos podem recuperar a sua permeabilidade natural, especialmente se houver intervenções específicas para promover a reabilitação do terreno.

Durante a fase de exploração das centrais solares, os impactos relacionados com os recursos hídricos são menos significativos. Embora haja um aumento no escoamento superficial devido à presença das estruturas dos painéis, que desviam parte da água da chuva que normalmente se infiltraria no solo, o efeito é relativamente pequeno, sobretudo em terrenos rurais onde as áreas circundantes mantêm a sua permeabilidade

natural. Em alguns casos, é até possível que haja crescimento de vegetação na parte inferior dos painéis solares, o que ajuda a estabilizar o solo e a reduzir o escoamento, contribuindo para a manutenção ou recuperação da capacidade de infiltração da água. Este fator desempenha um papel positivo, ajudando a minimizar os impactos hidrológicos ao longo do tempo.

Durante a fase de desativação das centrais solares são semelhantes aos da fase de construção. As atividades de desmantelamento e remoção das infraestruturas podem provocar novamente a erosão do solo e o transporte de sedimentos, além do risco de contaminação por derrames de substâncias químicas. No entanto, como acontece na fase de construção, esses impactos podem ser mitigados por boas práticas e, com a implementação de um plano de restauração adequado, o terreno pode ser devolvido às suas condições originais, o que inclui a recuperação da sua capacidade de infiltração e da estabilidade hidrológica com o passar do tempo.

3.5.5 Geologia e geomorfologia

Durante a fase de construção das centrais solares em zonas rurais, as atividades de preparação do terreno, como a remoção de vegetação, a movimentação de terras e as terraplanagens, têm impactos diretos sobre a geomorfologia e a estrutura dos solos. A magnitude desses impactos varia em função das características originais do solo, sendo mais acentuada em solos frágeis ou inclinados. Essas atividades alteram a morfologia natural do terreno, levando à exposição de camadas mais profundas do solo, o que pode aumentar a suscetibilidade à erosão. Além disso, a perfuração dos solos para a instalação de infraestruturas, como as fundações dos painéis solares e os sistemas de suporte, pode causar alterações na estrutura do solo. Em alguns casos, a camada superficial do solo é removida e substituída por materiais mais adequados para suportar a instalação, resultando em alterações no substrato natural.

A compactação do solo é outro impacto relevante durante a fase de construção. O tráfego intenso de máquinas pesadas, bem como a movimentação contínua de veículos e materiais no local, resulta na compressão do solo, reduzindo a sua permeabilidade e capacidade de absorção de água. Isso pode levar a um aumento do escoamento superficial, elevando o risco de erosão e degradação da qualidade do solo. A compactação também afeta a capacidade do solo de sustentar a vegetação, o que pode prejudicar a recuperação natural da área a longo prazo.

Na fase de exploração das centrais solares, alguns dos impactos causados pela construção podem persistir de forma permanente. O aumento no escoamento superficial continua a ser um efeito comum, pois a presença dos painéis solares impede que parte da água da chuva se infiltre diretamente no solo. No entanto, a descompactação natural

do solo ao longo do tempo, aliada ao crescimento espontâneo de vegetação sob os painéis, pode mitigar parte desses impactos. A regeneração natural da vegetação ajuda a estabilizar o solo e a promover a infiltração da água, reduzindo os efeitos negativos causados durante a fase de construção.

A fase de desativação das centrais solares envolve atividades que replicam muitos dos impactos da fase de construção. A remoção das infraestruturas e dos painéis solares requer novas intervenções no solo, que podem provocar erosão e novamente compactação, especialmente se não forem implementadas boas práticas de gestão durante o desmantelamento. A movimentação de terras e a retirada das fundações podem reverter parcialmente o processo de recuperação natural ocorrido durante a fase de exploração. No entanto, através de planos de recuperação paisagística bem delineados, é possível devolver ao solo as suas características originais ao longo do tempo. Esses planos podem incluir a restauração da vegetação nativa e a descompactação mecânica do solo, promovendo a sua recuperação ecológica e geomorfológica.

3.5.6 Uso do solo

O uso do solo é um impacto ambiental direto e significativo associado à construção e exploração de centrais solares em zonas rurais. Quando esses projetos são instalados, frequentemente afetam solos férteis que poderiam ser utilizados para atividades agrícolas ou apícolas, levando à interrupção ou à relocação dessas atividades para outras áreas. Esse uso intensivo de grandes áreas de terreno para a produção de energia elétrica representa uma transformação no uso da terra que, em muitos casos, pode comprometer a capacidade produtiva e ecológica de regiões rurais.

Um exemplo claro desse impacto pode ser observado na Central Solar do Foral, onde parte do terreno, que abrigava um negócio de apicultura, foi destinado à instalação da central solar. Embora o negócio de apicultura tenha sido realocado para outra parte do terreno não ocupada pelos painéis solares, a instalação da central exigiu a remoção de vegetação existente, incluindo algumas oliveiras, que eram parte integrante da paisagem agrícola local. Contudo, o pomar presente no terreno foi preservado, mostrando que, em alguns casos, há esforços para mitigar os impactos no uso do solo e preservar a produtividade agrícola local. Ainda assim, o espaço dedicado à produção de energia solar representou uma modificação considerável no uso do solo naquela área, interrompendo o equilíbrio de atividades agrícolas e ecológicas.

No caso da Central Solar do Pinhal Novo, o terreno previamente utilizado para agricultura foi convertido para abrigar as infraestruturas fotovoltaicas. Essa conversão de áreas agrícolas produtivas para o uso de energia solar reforça a ideia de que a

instalação de centrais solares em áreas rurais muitas vezes substitui o uso do solo para fins produtivos, como agricultura ou pastoreio, por uma finalidade nova: a geração de energia elétrica. Embora a produção de energia renovável traga benefícios ambientais significativos, como a redução da emissão de gases de efeito estufa, ela também compete diretamente com outros usos essenciais da terra, principalmente em zonas rurais que dependem da agricultura para sustento económico e preservação de ecossistemas naturais.

3.5.7 Património cultural

A construção e exploração de uma central solar em zonas rurais exigem uma análise cuidadosa sobre a possível interferência no património cultural da região. Este património pode incluir bens arqueológicos, arquitetónicos e etnológicos que, dependendo da sua relevância, precisam de proteção e consideração. Dentro dessa definição, diversos critérios são avaliados, como o potencial científico da área, o significado histórico-cultural, o interesse público, a singularidade do local e a sua antiguidade, o padrão estético, o estado de conservação e a sua inserção paisagística. Após essa avaliação, os impactos podem ser classificados como positivos, negativos, neutros ou indeterminados, dependendo de como a central solar afeta o património cultural existente.

A fase de construção das centrais solares é geralmente a que apresenta mais riscos de impactos negativos sobre o património cultural. As atividades necessárias, como escavações, terraplenagens e movimentação de terras, podem prejudicar ou inviabilizar a conservação de vestígios arqueológicos, arquitetónicos ou etnológicos que estejam presentes no local de instalação. Estruturas antigas, estratigrafias arqueológicas e outros elementos culturais podem ser destruídos ou comprometidos, dificultando a preservação histórica da área. Dependendo da magnitude das intervenções, esses impactos podem ser irreversíveis, levando à perda de património cultural valioso.

Durante a fase de exploração, os impactos sobre o património cultural podem ser menos pronunciados, mas ainda assim relevantes. Remodelações, reparações e qualquer outra intervenção que implique alterações no solo ou subsolo podem interferir com vestígios arqueológicos ou elementos culturais previamente identificados. Mesmo que as estruturas solares estejam em pleno funcionamento, qualquer manutenção que exija intervenções no terreno pode, eventualmente, causar danos ao património cultural.

Por outro lado, na fase de desativação, os impactos sobre o património cultural são considerados menos significativos, uma vez que a área já foi alvo das intervenções mais disruptivas durante a fase de construção. No entanto, deve-se garantir que qualquer

desmantelamento seja conduzido com precaução, para evitar a destruição de quaisquer elementos culturais que possam ter sido preservados durante as fases anteriores.

3.5.8 Paisagem

A construção de centrais solares em zonas rurais tem impactos diretos e visíveis sobre a paisagem local e as áreas circundantes. Durante a fase de construção, observa-se uma desorganização espacial e funcional no local, causada pelas atividades necessárias para a implementação das infraestruturas e pelo aumento do tráfego de veículos e máquinas pesadas. Este período resulta em impactos ambientais negativos, embora temporários, que se manifestam na alteração visual do local, especialmente com a remoção da vegetação natural e a perturbação da harmonia da paisagem. A limpeza dos terrenos, a terraplanagem, e a movimentação de materiais afetam o aspeto visual da área, alterando a sua estrutura natural.

Na fase de exploração, os impactos na paisagem são mais permanentes e estão diretamente relacionados com as modificações feitas durante a fase de construção. A presença dos painéis solares e das infraestruturas associadas, como subestações, vedações e caminhos de acesso, introduz novos elementos na paisagem, transformando-a de forma significativa. Esta "artificialização" da paisagem pode ser percebida como uma quebra na harmonia natural das áreas rurais, onde se espera um cenário mais verde e tradicionalmente ligado à agricultura ou à natureza. A introdução de grandes áreas ocupadas por painéis solares, que podem estender-se por vários hectares, pode causar uma mudança visual expressiva, tornando-se um impacto direto e duradouro sobre o ambiente estético da região.

Durante a fase de desativação, os impactos paisagísticos tendem a ser mitigados através da implementação de planos de recuperação paisagística. Estes planos visam restaurar a paisagem ao seu estado natural ou, pelo menos, a um estado aceitável para a integração com o ambiente circundante. Com o tempo, a reabilitação da vegetação e a remoção das infraestruturas podem devolver à área parte da sua estética original, diminuindo assim os efeitos negativos causados pela presença da central solar.

3.5.9 Socioeconomia

Durante a fase de construção das centrais solares, pode ser necessário o arrendamento de terrenos para a instalação de parte das centrais fotovoltaicas, criando um rendimento para os proprietários dos terrenos ao longo do ciclo de vida das centrais. Além disso, as construções das centrais geram postos de trabalho, uma vez que é necessária mão-de-obra para realizar as atividades de construção, o que constitui um impacto socioeconómico positivo, embora temporário. A deslocação de trabalhadores para a região também pode aumentar temporariamente a atividade económica local.

No entanto, a construção pode causar incómodos para os residentes próximos, devido ao aumento do tráfego e do ruído gerado pelas atividades.

Durante a fase de exploração, pode ser necessária a contratação de mão-de-obra para as atividades de vigilância e manutenção, proporcionando alguns postos de trabalho a longo prazo. Além disso, as centrais solares têm um impacto positivo no desenvolvimento da região, contribuindo para a produção de energia e ajudando a cumprir as metas estabelecidas no Plano Nacional de Energia e Clima 2030.

Na fase de desativação, os impactos são semelhantes aos da fase de construção, com a criação de postos de trabalho para o desmantelamento e reabilitação da paisagem.

3.5.10 Ambiente sonoro

Os impactos no ambiente sonoro relacionados com a instalação de centrais solares são mais evidentes durante as fases de construção e desativação. Nessas fases, as atividades que envolvem o uso de maquinaria pesada, a movimentação de terras e a circulação de veículos geram níveis de ruído que, embora temporários, podem afetar a tranquilidade do ambiente. A maquinaria pesada e as atividades relacionadas com as mesmas são responsáveis pelos níveis mais elevados de ruído, enquanto o transporte de materiais e o movimento de veículos de apoio e equipas de trabalho produzem níveis de ruído mais baixos.

O ruído produzido pode variar dependendo da natureza das atividades em execução, da intensidade do tráfego no local e da proximidade das comunidades ao redor da central solar recetoras do ruído. Quanto mais próximo o local de instalação estiver de áreas habitadas, maior a probabilidade de os habitantes serem afetados pelo ruído das atividades. Além disso, o impacto sonoro pode ser prolongado dependendo da duração das fases de construção e desativação, já que algumas atividades ocorrem durante todo o período dessas fases, como a movimentação contínua de maquinaria pesada ou o transporte de materiais.

No entanto, este impacto é considerado temporário, intermitente e ocorre apenas durante o período diário em que as atividades são realizadas. Mesmo que possa ser sentido de forma mais intensa em algumas zonas, especialmente nas mais próximas da central, o ruído não é permanente e tende a cessar com o término das atividades. Dessa forma, o impacto sonoro é classificado como negativo, direto e indireto, com uma probabilidade elevada, irreversível, mas temporário, e geralmente pouco significativo, exceto em áreas mais sensíveis ou com menor capacidade de absorver ruídos externos.

Durante a fase de exploração, as infraestruturas fotovoltaicas e os painéis solares em si não produzem ruídos, pelo que o impacto sobre o ambiente sonoro é praticamente nulo. Assim, após a conclusão da instalação e o início da operação da central, os níveis

de ruído no local tendem a voltar aos valores normais, não representando qualquer risco ou incômodo para a comunidade adjacente.

3.5.11 Gestão de resíduos

Embora a gestão de resíduos não seja considerada diretamente um impacto ambiental, uma má gestão durante o ciclo de vida de uma central solar pode gerar impactos ambientais significativos, tanto diretos quanto indiretos, sobre os fatores ambientais.

Durante a fase de construção de uma central solar, é expectável a produção de diversos tipos de resíduos. A remoção da vegetação dos terrenos para a instalação gera resíduos vegetais, que podem ser reaproveitados e reincorporados no solo, contribuindo para a recuperação das áreas intervencionadas. Caso estes resíduos não sejam reutilizados, devem ser adequadamente dispostos para evitar que sequem e se tornem um risco de incêndio na zona da central solar.

Grande parte dos materiais utilizados nas obras pode ser reutilizada, reduzindo o volume de resíduos. As terras resultantes das movimentações ou escavações podem ser redistribuídas no local para nivelar o terreno. No entanto, todos os resíduos sólidos gerados durante a construção precisam ser segregados de forma eficaz. Se não for possível reutilizá-los, devem ser dispostos de acordo com as normas ambientais aplicáveis. Além disso, resíduos líquidos, como óleos, solventes ou outros produtos químicos, podem ser produzidos durante o uso de maquinaria pesada e veículos. Estes resíduos representam um risco de derrame, que pode contaminar o solo e os recursos hídricos. Assim, é fundamental implementar boas práticas de manuseamento para prevenir esses acidentes e garantir uma disposição final segura.

Adicionalmente, pode ser necessário utilizar fossas sépticas ou sanitários portáteis, cujos resíduos devem ser geridos pelas entidades fornecedoras, garantindo a conformidade com as normas de higiene e segurança.

Na fase de exploração da central solar, a produção de resíduos é geralmente limitada a atividades de manutenção ou eventuais reparações. Estes resíduos podem ser facilmente geridos com a adoção de boas práticas operacionais, mitigando possíveis impactos.

Durante a fase de desativação, os impactos relacionados com os resíduos serão semelhantes aos da fase de construção. No entanto, haverá um aumento significativo de resíduos devido ao desmantelamento dos painéis solares. Como estes painéis têm um tempo de vida útil limitado, é crucial que exista um plano pré-estabelecido para a sua disposição final ou reciclagem (Matos, Fonseca & Associados, 2018).

4. Metodologia

4.1 Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos

4.1.1 Locais de estudo

O objetivo deste processo é identificar áreas urbanas e infraestruturas dentro do Concelho de Sesimbra que apresentem consumos energéticos da rede significativos e que estejam diretamente associadas aos edifícios e instalações municipais. A escolha dos locais foi feita pela CMS tendo sido feita a seleção de três locais estratégicos que, além de apresentarem um elevado potencial para a instalação de sistemas de energia solar, também poderiam beneficiar de soluções de energias renováveis como forma de mitigar os consumos energéticos da rede associados.

Foram analisados os consumos energéticos da rede de cada uma das infraestruturas com base nas faturas energéticas mensais de dezembro de 2022 a novembro de 2023, que fornecem uma discriminação dos consumos por tipo de energia ativa, nomeadamente: consumo em vazio normal, super vazio, ponta e cheias, além de indicar a energia ativa total, que representa o somatório dos consumos energéticos globais.

Para cada localização e para cada mês, foram calculadas as horas totais correspondentes a cada ciclo de consumo, dependendo do ciclo horário e do tipo de contrato energético em vigor. Dessa forma, o consumo energético mensal foi dividido pelo número total de horas, possibilitando a obtenção do consumo médio horário. Essa métrica permitiu a construção de diagramas de carga diária e semanal para cada uma das localizações.

Optou-se pela utilização do consumo médio horário devido à ausência de contadores inteligentes nas localizações estudadas, o que impossibilitou a obtenção de dados de consumo diário em intervalos de segundos. Assim, os diagramas de carga convencionais foram substituídos por esta análise.

Por meio desta abordagem, torna-se possível realizar o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos adequados para cada uma das localizações, baseando-se nos consumos energéticos calculados e na mitigação necessária.

4.1.2 Método de um díodo e três parâmetros

Comparação com outros modelos

Para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos o modelo de um díodo e cinco parâmetros (1D + 5P) costuma ser o modelo mais utilizado para descrever o comportamento elétrico dos painéis fotovoltaicos, no entanto este modelo, devido ao seu grau de complexidade e necessidade de resolver equações implícitas através de métodos iterativos, é normalmente aplicado em softwares de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. Este modelo considera apenas um díodo no seu circuito equivalente e cinco parâmetros: o fator de idealidade do díodo, a corrente de saturação inversa do díodo, a corrente de curto-circuito, a resistência da série e a resistência de derivação (Castro, 2011).

O modelo a ser aplicado para o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos é o modelo de um díodo e três parâmetros (1D + 3P) que considera apenas os parâmetros do fator de idealidade do díodo, a corrente de saturação inversa do díodo e a corrente de curto-circuito não tendo em conta os fatores de resistência do circuito, sendo uma versão simplificada do modelo 1D + 5P que pode ser implementada com facilidade.

Sendo que o modelo considera que uma célula fotovoltaica funciona através de uma fonte de corrente, I_{pv} , sendo esta a intensidade de corrente elétrica produzida quando um feixe de radiação luminosa incide sobre a célula fotovoltaica. A junção p-n funciona como um díodo atravessado por uma corrente unidirecional, I_D , que depende da tensão nos terminais da célula, V , como é possível observar na Figura 4.1 (Castro, 2011).

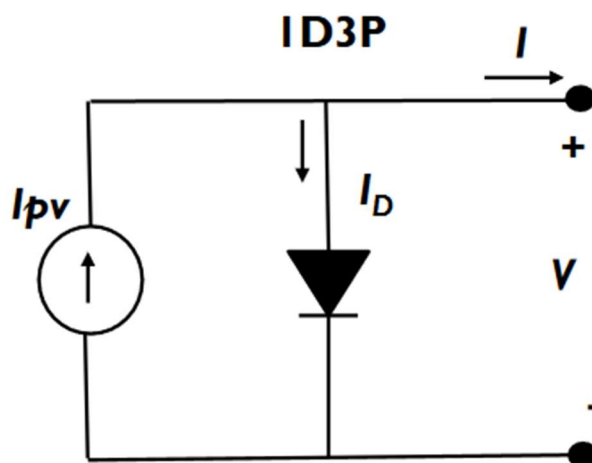


Figura 4.1 - Esquema de funcionamento de uma célula fotovoltaica de acordo com o modelo de 1 díodo e 3 parâmetros (Retirada do livro de Rui de Castro, *Uma introdução às Energias Renováveis: Eólica, Fotovoltaica e Mini-Hídrica*, 2011)

Parâmetros considerados

Para a aplicação do modelo é necessário ter em conta a radiação incidente e a temperatura dos locais onde se planeia efetuar a instalação dos sistemas fotovoltaicos.

A radiação incidente permite-nos calcular a corrente de curto-circuito e a corrente à potência máxima do sistema. A radiação é um parâmetro importante que apresenta um comportamento de proporcionalidade direta com a potência de saída da célula e a corrente de curto-circuito.

A temperatura do local permite-nos calcular o potencial térmico, o fator de idealidade equivalente, a corrente de saturação do díodo e a tensão de máxima potência do sistema. A temperatura é um parâmetro importante que apresenta um comportamento de proporcionalidade direta com a corrente inversa de saturação, e um comportamento de proporcionalidade indireta com a potência de saída da célula e a tensão em vazio, e a tensão no ponto de potência máximo.

Para o modelo 1D+3P não será considerada a velocidade do vento pois este parâmetro apresenta um alto grau de incerteza devido a ser irregular e à possibilidade de sofrer variações significativas em curtos intervalos de tempo. Além disso, o impacto da velocidade do vento nos painéis solares é difícil estimar com precisão já que depende de fatores como o posicionamento e orientação dos painéis, como ainda do espaço que estes apresentam uns dos outros que originam zonas de fluxo de ar ao redor dos painéis. Incluir este fator no modelo iria aumentar consideravelmente a complexidade e dificuldade de aplicação do mesmo, e iria tornar o processo de dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos menos eficiente.

Embora a velocidade do vento apresente uma contribuição positiva na redução da temperatura das células fotovoltaicas, originando uma maior produção de energia, este efeito é considerado secundário, uma vez que os fatores mais determinantes ao dimensionar sistemas fotovoltaicos são a radiação solar recebida e a temperatura ambiente do local onde os painéis serão instalados, sendo que estes fatores afetam diretamente a produção de energia.

Aplicação

O modelo de um díodo e três parâmetros permite-nos simular a potência de saída da célula fotovoltaica para cada valor de radiação e temperatura ambiente em cada hora que nos dá posteriormente a possibilidade de calcular a quantidade total de energia produzida pelo painel fotovoltaico ao longo de um ano.

As fórmulas a utilizar para o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos foram obtidas através do livro Uma introdução às Energias Renováveis: Eólica, Fotovoltaica e Mini-Hídrica de Rui Castro (Castro, 2011).

Para aplicar o modelo é necessário saber previamente as especificações dos painéis fotovoltaicos a serem utilizados no dimensionamento. Após termos esses dados vamos calcular os parâmetros constantes do modelo, sendo estes o potencial térmico para condições STC (*Standard Test Conditions*), o fator de idealidade do díodo, o fator de idealidade equivalente e a corrente inversa máxima de saturação.

O potencial térmico para as condições STC é um parâmetro relacionado com a temperatura de funcionamento de referência, sendo esta normalmente 300,13 K, e a energia dos elétrons na célula. Este pode ser calculado através da expressão:

$$V_T^r = \frac{KT^r}{q} [V] \quad (4.2.)$$

Onde:

K – Constante de *Boltzmann*, onde $K = 1,380649 \times 10^{-23} J \cdot K^{-1}$;

T^r - Temperatura de referência (STC) [K], fornecido nas especificações do fabricante;

q - Carga elétrica do elétron, onde $q = 1,6 \times 10^{-19} C$;

O fator de idealidade do díodo representa a medida de semelhança entre a equação do díodo da equação do díodo ideal. Este pode ser calculado através da expressão:

$$m = \frac{V_m^r - V_{ca}^r}{V_T^r \times \ln \left(1 - \frac{I_m^r}{I_{cc}^r} \right)} \quad (4.3.)$$

Onde:

V_m^r - Tensão à potência máxima [V], fornecido nas especificações do fabricante;

V_{ca}^r - Tensão de circuito aberto [V], fornecido nas especificações do fabricante;

I_m^r - Corrente à potência máxima [A], fornecido nas especificações do fabricante;

I_{cc}^r - Corrente de curto-circuito [A], fornecido nas especificações do fabricante;

O fator de idealidade equivalente considera o fator de idealidade do díodo e os efeitos de resistência da célula fotovoltaica, tendo em conta o número de células em série no painel. Este pode ser calculado através da expressão:

$$m' = \frac{m}{N_s} \quad (4.4.)$$

Onde:

N_s – Número de células em série, fornecido nas especificações do fabricante;

A corrente inversa máxima de saturação é a corrente que flui através do diodo em polarização inversa. Esta pode ser calculada através da expressão:

$$I_0^r = \frac{I_{cc}^r}{\left(\frac{V_{ca}^r}{e^{mV_T^r}} - 1 \right)} [A] \quad (4.5.)$$

Após calculados os parâmetros constantes são calculados os parâmetros que dependem dos dados da radiação solar e da temperatura ambiente da localização onde se planeia efetuar a instalação do painel solar. Estes são a corrente de curto-circuito, a temperatura atingida pela célula, o potencial térmico, o hiato do semicondutor, a corrente de saturação do diodo, a tensão de máxima potência, a intensidade da corrente de máxima potência e a tensão máxima de saída.

A corrente de curto-circuito representa a corrente máxima gerada pela célula fotovoltaica quando os terminais da mesma estão em curto-circuito. Esta pode ser calculada através da expressão:

$$I_{cc} = I_{cc}^r \left(\frac{G}{G^r} \right) [A] \quad (4.6.)$$

Onde:

G – Radiação solar [W/m^2], disponível através do *software PVGIS*;

G^r – Radiação de referência (STC) [W/m^2];

A temperatura atingida pela célula fotovoltaica é a temperatura de operação da mesma quando exposta à temperatura ambiente e à radiação solar. Esta pode ser calculada através da expressão:

$$\theta_c = \theta_a + \frac{G}{G_{NOCT}} (\theta_{NOCT} - \theta_{a,NOCT}) [^\circ C] \quad (4.7.)$$

Onde:

θ_a – Temperatura ambiente [$^\circ C$], disponível através do *software PVGIS*;

G_{NOCT} - Radiação de referência (NOCT) [W/m^2], fornecido nas especificações do fabricante;

θ_{NOCT} - Temperatura normal de funcionamento do painel [$^\circ C$], fornecido nas especificações do fabricante;

$\theta_{a,NOCT}$ - Temperatura de referência (NOCT) [$^\circ C$], fornecido nas especificações do fabricante;

O potencial térmico é a tensão criada com base na temperatura da célula fotovoltaica e da carga elétrica da mesma. Este pode ser calculado através da expressão:

$$V_T = \frac{KT}{q} [V] \quad (4.8.)$$

Onde:

T – Temperatura ambiente em Kelvin [K];

O hiato do semicondutor é uma diferença energética que determina o comprimento de onda da luz que a célula fotovoltaica pode absorver. Este pode ser calculado através da expressão:

$$\varepsilon = (1 - 0.000267(T - T^r))\varepsilon^r \text{ [eV]} \quad (4.9.)$$

Onde:

ε^r – Hiato de referência do semicondutor, onde $\varepsilon^r = 1,12 \text{ eV}$ para semicondutores de silício;

A tensão de máxima potência é o valor da tensão à qual a célula fotovoltaica produz a potência máxima na curva I-V. Esta pode ser calculada através da expressão:

$$V_m = mV_T \ln \frac{(I_{cc}^r - I_m^r) G}{I_0 G^r} \text{ [V]} \quad (4.10.)$$

A corrente de saturação do díodo é a corrente inversa que passa através do díodo quando este está em polarização inversa. Esta pode ser calculada através da fórmula:

$$I_0 = I_0^r \left(\frac{T}{T^r} \right)^3 e^{\frac{\varepsilon}{m'} \left(\frac{1}{V_T^r} - \frac{1}{V_T} \right)} \text{ [A]} \quad (4.11.)$$

A intensidade da corrente de máxima potência é o valor da corrente no ponto de potência máxima na curva I-V. Esta pode ser calculada através da fórmula:

$$I_m = \frac{G}{G^r} I_m^r \text{ [A]} \quad (4.12.)$$

Por fim, a potência máxima de saída corresponde ao valor da tensão máxima que a célula fotovoltaica pode produzir quando está em condições de circuito aberto. Esta pode ser calculada através da fórmula:

$$P_m = I_m V_m \quad (4.13.)$$

Para ser possível obter a energia produzida pelo sistema é necessário multiplicar a potência máxima de saída pelo rendimento do sistema. O rendimento do sistema e a potência produzida podem ser calculados acordo com as seguintes fórmulas, respetivamente:

$$\eta_{sistema} = \eta_{painel} \times \eta_{inversor} \quad (4.14.)$$

$$P_{produzida} = P_m \times \eta_{sistema} \quad (4.15.)$$

A energia produzida é para ser calculada de acordo com os valores horários para a radiação solar e para a temperatura ambiente de modo a ser possível observar o desempenho de um painel ao longo do dia. Após isso, é necessário calcular a quantidade de painéis necessária para abastecer os consumos diários energéticos e multiplicar esse valor para obter a energia produzida por um painel de forma a ser possível estimar a energia produzida total pelo sistema fotovoltaico.

4.1.3 Autonomia e autoconsumo

Após o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos, os valores do potencial de produção serão comparados com os valores reais de consumo das diversas infraestruturas. Para isso, é necessário distinguir dois conceitos importantes: autoconsumo e autonomia, ou autossuficiência, do sistema fotovoltaico.

O autoconsumo refere-se à quantidade total de energia solar produzida que é utilizada de imediato. Nos casos em que não há excedente de produção, o autoconsumo é considerado 100%, uma vez que toda a energia gerada é consumida diretamente.

Por outro lado, a autonomia ou autossuficiência dos sistemas fotovoltaicos mede a percentagem de energia produzida em relação ao consumo total de uma infraestrutura. Por exemplo, se uma infraestrutura necessita de 100 kW de energia e o sistema fotovoltaico gera 20 kW, a sua autossuficiência é de 20%. Isto significa que 20% das necessidades energéticas são cobertas pela energia solar produzida, enquanto os restantes 80% têm de ser obtidos de outras fontes.

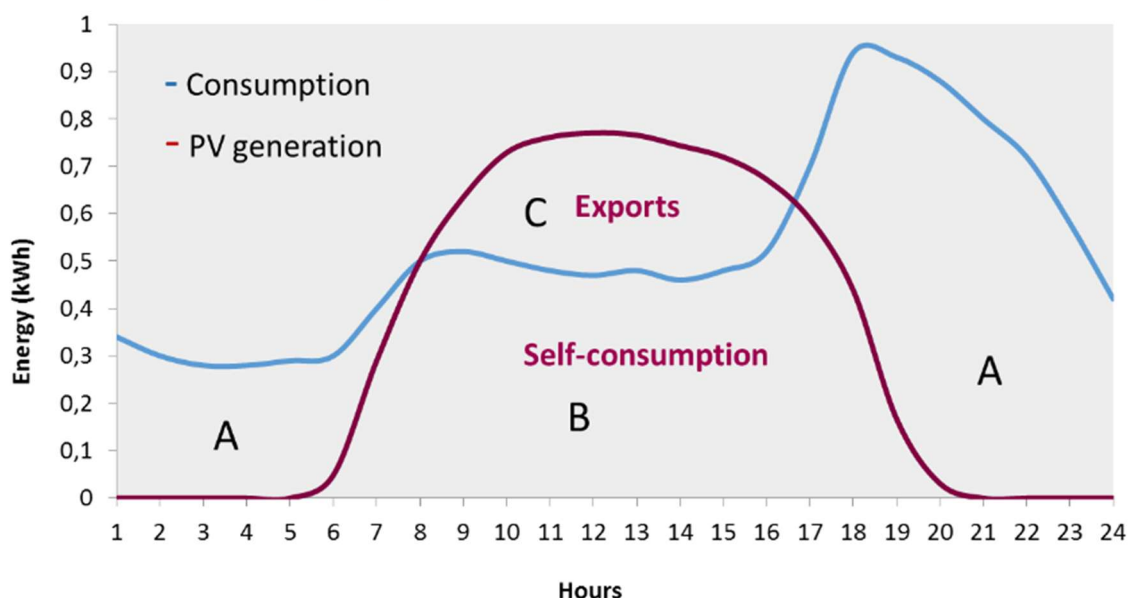


Figura 4.2 – Gráfico do balanço energético de um sistema fotovoltaico face aos consumos energéticos. (Retirado dos slides de Energia solar Fotovoltaica – Dimensionamento de sistemas PV da pós-graduação EGER do ISEL)

Através da Figura 4.2 é possível obter as seguintes expressões para o autoconsumo (AC) e autossuficiência (AS):

$$AC = \frac{B}{B + C} \quad (4.16.)$$

$$AS = \frac{B}{B + A} \quad (4.17.)$$

4.2 Pegada de Carbono

4.2.1 Pegada de carbono e fator de emissão de CO₂ para a energia

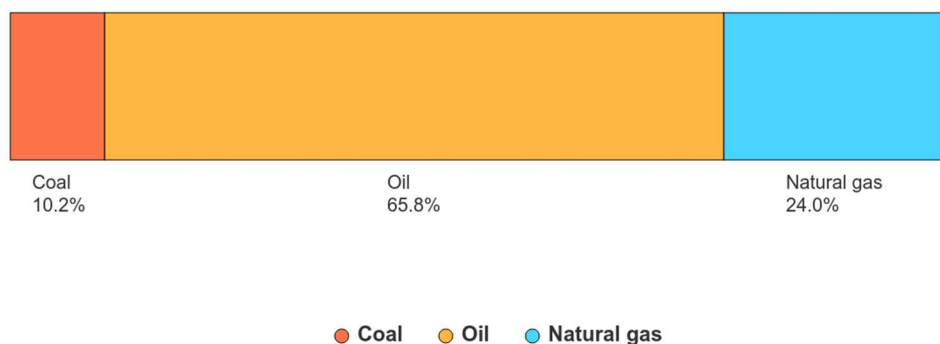
Atualmente, muitas das nossas ações diárias contribuem para a emissão de gases com efeito de estufa sem que nos apercebamos. O conjunto dessas emissões, criadas por indivíduos, empresas e produtos, é conhecido como pegada de carbono. A pegada de carbono é normalmente expressa em toneladas de dióxido de carbono equivalente (t CO₂ eq.) por ano e inclui outros gases com efeito de estufa, como o metano e os óxidos de azoto. Esta resulta de emissões diretas, como a combustão de combustíveis fósseis, e de emissões indiretas, provenientes, por exemplo, da produção de energia que sustenta as indústrias, os transportes e as habitações.

Ao longo de todo o ciclo de vida dos produtos e atividades humanas, cada fase contribui para o aumento desta pegada, desde a extração de matérias-primas até ao fim de vida dos produtos.

O setor energético mantém-se como o maior responsável pelas emissões de gases com efeito de estufa, principalmente devido à queima de combustíveis fósseis para a produção de energia. Em 2021, devido ao mesmo, a Europa foi responsável por 22,3% das emissões globais de gases provenientes da queima de combustíveis fósseis, correspondendo a 7 479,821 megatoneladas de dióxido de carbono.

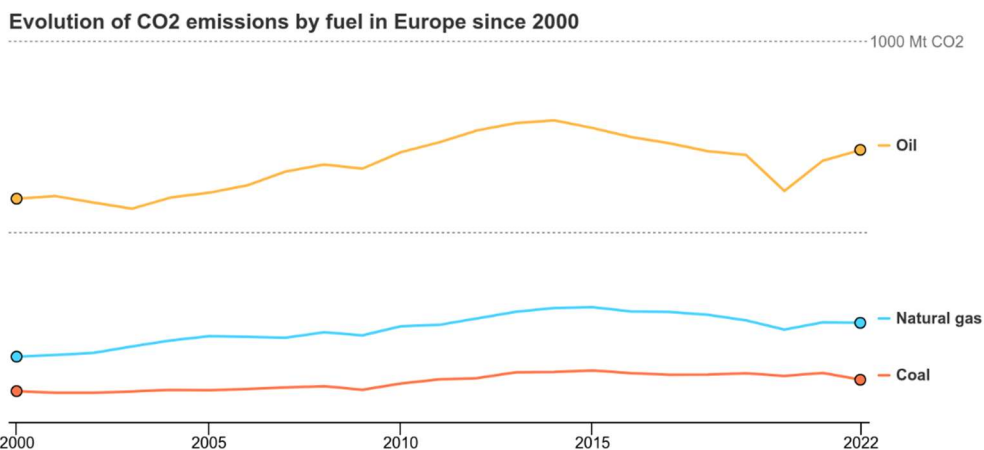
No contexto das emissões totais do setor energético na Europa em 2021, o petróleo foi responsável por 40.1% das emissões, seguido do gás natural com 31,2%, o carvão com 26,4%, e 2,4% provenientes de outras fontes (IEA, 2022). Estes dados ilustram a relevância de cada tipo de combustível na composição das emissões, como pode ser observado na Figura 4.3 e na Figura 4.4, sendo nesta última ainda possível ver a evolução dessas mesmas emissões.

CO2 emissions by fuel, Europe, 2022



Source: International Energy Agency. Licence: CC BY 4.0

Figura 4.3 - Emissões de CO₂ por tipo de combustível fóssil na Europa em 2022
(Retirado de: <https://www.iea.org/regions/europe/emissions>)



Source: International Energy Agency. Licence: CC BY 4.0

Figura 4.4 – Evolução das emissões de CO₂ por tipo de combustível fóssil na Europa
(Retirado de: <https://www.iea.org/regions/europe/emissions>)

Para calcular a pegada de carbono da energia produzida em Portugal, utiliza-se o Fator de Emissão de Eletricidade (FEE), sendo que este indicador quantifica a emissão de gases de efeito estufa provenientes da queima ou transformação de matérias-primas, sendo especialmente relevante para o setor energético quando a produção de eletricidade envolve combustíveis fósseis. O fator é expresso em kg/MWh, refletindo a quantidade de emissões por unidade de energia gerada.

Em março de 2024, a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) publicou um documento com os valores de FEE desde 2005 até 2022 para Portugal Continental, Madeira, Açores e Portugal no geral, sendo que para Portugal Continental em 2022 por cada Megawatt-hora consumidos são emitidas 0,157 toneladas de dióxido de carbono equivalente (APA, 2024).

Como os últimos dados para o FEE acabam em 2022, iremos utilizar este valor para os dados de 2023. Em 2023 a produção de energias renováveis conseguiu abranger 61% dos consumos energéticos de Portugal tendo sido possível reduzir as emissões de GEE para o nível mais baixo já registado, o que indica que o valor para o fator de emissão de eletricidade em 2023 irá atingir um novo recorde para o valor mínimo, no entanto, como este valor não pode ser estimado foi decidido utilizar os dados referentes a 2022 (LUSA, 2024).

Para calcular a pegada energética dos locais selecionados, foi escolhido o fator de emissão de eletricidade médio para Portugal, em vez das emissões de CO₂ específicas de cada trimestre indicadas nas faturas de eletricidade dos locais uma vez que esta decisão garante consistência e padronização, uma vez que o fator de emissão reflete o impacto ambiental médio do consumo de eletricidade em todo o país, independentemente de variações sazonais ou específicas do fornecedor.

4.2.2 Pegada de Carbono dos painéis fotovoltaicos

Como mencionado anteriormente, os impactos ambientais e, conseqüentemente, as emissões de CO₂ durante o ciclo de vida de um sistema fotovoltaico são estimados através de uma Análise de Ciclo de Vida (ACV). Esta análise considera todos os fatores em cada fase da vida útil do sistema. Embora um sistema fotovoltaico não emita CO₂ durante os seus anos de funcionamento, é fundamental ter em conta todas as etapas do seu ciclo de vida.

Para produzir os painéis fotovoltaicos, é necessário extrair e processar matérias-primas, como silício, vidro e metais. A produção dos painéis envolve custos energéticos elevados, geralmente provenientes de fontes de energia fóssil. Além disso, a montagem do sistema fotovoltaico também exige uma quantidade significativa de energia.

O transporte das matérias-primas para as fábricas e, posteriormente, dos sistemas fotovoltaicos para os locais de instalação gera emissões de CO₂. A instalação dos painéis solares, por sua vez, envolve emissões associadas ao uso de máquinas pesadas e ao transporte das equipas de instalação. Após instalado, o sistema não emite CO₂ durante a sua operação, mas as atividades de manutenção podem gerar pequenas emissões relacionadas com o transporte das equipas de manutenção.

Quando os sistemas fotovoltaicos atingem o fim da sua vida útil, há emissões de CO₂ associadas à desmontagem e ao transporte dos componentes. Além disso, as operações de reciclagem ou separação das peças também podem gerar emissões adicionais.

Os estudos sobre as emissões de CO₂ em cada fase do ciclo de vida dos painéis solares são escassos e variam conforme fatores como o local de produção dos painéis, a origem

das matérias-primas e os recursos necessários. Assim, as emissões de CO₂ para os painéis solares são geralmente calculadas utilizando o conceito de Tempo de Retorno Energético (TRE). Este conceito representa o tempo necessário para que o sistema fotovoltaico gere a mesma quantidade de energia que foi utilizada na sua produção. A energia gerada após esse período é então multiplicada pelo fator de emissão de CO₂ estimado para os sistemas fotovoltaicos.

Alguns estudos indicam que, quando os sistemas fotovoltaicos começam a funcionar, são necessários três anos para que estes atinjam o TRE. Durante esse período, estima-se que, por cada quilowatt-hora de energia produzida, seja emitido o equivalente a 50 g de CO₂ para a atmosfera. Após esse período, os painéis solares tornam-se neutros em carbono (SOLARIS Renewables, 2019).

Num estudo conduzido por de Wild-Scholten et al. (2014) sobre os recursos solares e a pegada de carbono da energia fotovoltaica na Europa, foram calculados os dados de radiação solar e o *output* energético dos sistemas fotovoltaicos, considerando as diferentes regiões europeias e assumindo a instalação dos mesmos num ângulo ótimo de funcionamento.

Este estudo incluiu a análise da pegada de carbono associada à produção dos painéis solares, utilizando uma ACV e dados recolhidos da *SmartGreenScans*, entre outras fontes. Partiu-se do pressuposto de que todos os gases com efeito de estufa gerados durante a produção dos painéis solares são devidamente controlados e não escapam para a atmosfera. Além disso, foram considerados os tipos de painéis solares mais utilizados no mercado para calcular a pegada de carbono.

O output energético dos sistemas fotovoltaicos foi determinado com base nos níveis de radiação solar de cada região em 2013 e na eficiência dos sistemas, assumindo o uso de células de silício cristalino e uma perda de energia do sistema fixada em 10%.

Para calcular a pegada de carbono, foram também consideradas as instalações fotovoltaicas já existentes em cada país até 2013, de modo a obter um fator de emissão mais preciso e específico para cada local.

O estudo conclui que em 2013, para Portugal, a radiação solar anual foi de 2007 kWh/m². A capacidade cumulativa das instalações de painéis solares foi de 278 MWp. A pegada de carbono total estimada para a energia elétrica foi de 269 g CO₂ eq./kWh, enquanto a pegada de carbono dos sistemas fotovoltaicos foi de 43 g CO₂ eq./kWh. No entanto, este estudo não tem em conta nem oferece dados sobre o TRE dos painéis solares (Wild-Scholten, Cassagne, & Huld, 2014).

Os estudos encontrados com menção à pegada de carbono dos sistemas fotovoltaicos apresentam valores distintos uma vez que este fator varia com base no tipo de painel solar, local de estudo e também varia com os métodos de produção dos painéis solares. Como tal, para o cálculo da pegada de carbono será utilizado o fator de emissão de 43 g CO₂ eq./kWh, sendo este o estudo encontrado que abrange o território português, que será multiplicado pelo output energético dos sistemas fotovoltaicos para cada localização para obtermos as emissões de CO₂ para da produção energética.

4.2.3 Avaliação da redução da Pegada de Carbono

Para avaliar a redução da pegada de carbono associada à instalação dos sistemas fotovoltaicos, serão utilizados os dados sobre a pegada de carbono total da CMS, a pegada de carbono dos três locais selecionados com base no seu consumo energético e a pegada de carbono dos sistemas fotovoltaicos dimensionados. Com esses dados, será feita a análise da redução no consumo energético proveniente de fontes não renováveis, resultante da produção de energia renovável pelos sistemas fotovoltaicos. Essa redução será calculada com base na quantidade de energia gerada pelos sistemas e na correspondente diminuição do consumo de eletricidade não renovável.

4.3 Avaliação de Impactos Ambientais

De acordo os critérios para do Decreto-Lei n.º 151-B/2013, de 31 de outubro, um projeto para uma central fotovoltaica só precisa de ser submetida a Avaliação de Impacte Ambiental se em casos gerais se apresentar uma produção energética superior a 50MW, e no caso de serem instaladas em áreas sensível são sujeitos a RJAIA em casos sensíveis se apresentarem uma produção energética superior a 20MW. No entanto, é sempre necessário considerar os possíveis impactos ambientais que os projetos de menor dimensão podem apresentar, arrançando maneira de os mitigar.

Para avaliar os impactos ambientais da instalação dos sistemas fotovoltaicos em locais urbanos irão ser utilizados vários estudos de impactos ambientais de centrais solares em zonas rurais como forma de comparação e de avaliar os benefícios que a instalação de sistemas fotovoltaicos em zonas urbanizadas, como o topo de edifícios e parques de estacionamento, apresentam.

Para sustentar a análise será ainda utilizada uma matriz de impactos ambientais, sendo esta uma ferramenta que permite a esquematização e respetiva avaliação dos impactos que podem ser causados durante o decorrer de um projeto e serve como via para definir ações preventivas para reduzir, ou mitigar, os impactos.

Para efetuar a matriz de impactos ambientais são tidas em conta as áreas de intervenção do projeto que podem ser afetadas durante o ciclo de vida do mesmo, sendo estas: o clima, a qualidade do ar, biodiversidade, recursos hídricos, geologia e geomorfologia, solo e o seu uso, património cultural, paisagem, fatores socioeconómicos e ambiente sonoro (APA, 2018).

Os impactos serão classificados de acordo com os seguintes parâmetros:

- **Importância:** A importância está relacionada com o facto de se o projeto vai beneficiar ou prejudicar a área em questão, sendo esta classificada como impacto negativo ou impacto positivo, respetivamente;
- **Incidência:** A incidência traduz-se numa relação de causa e efeito, no qual o efeito do impacto possui uma consequência direta, ou indireta, na área em questão. Sendo a sua classificação de impacto direto ou impacto indireto, respetivamente;
- **Grau de Significância:** O grau de significância está ligado à importância do efeito causado pelo impacto, podendo o impacto ser classificado como pouco significativo, significativo ou muito significativo;
- **Probabilidade:** A probabilidade de ocorrência representa a probabilidade do impacto ocorrer em determinadas circunstâncias, sendo a probabilidade classificada como baixa, média ou elevada;

- **Magnitude:** A magnitude define a dimensão do impacto e o grau de incidência que as circunstâncias que o causaram terão no meio ambiente afetado. A magnitude pode ser classificada como baixa, média ou elevada;
- **Duração:** A duração de um impacto representa o período no qual o efeito deste vai estar ativo, podendo ser temporário ou permanente;
- **Reversibilidade:** A reversibilidade é definida como sendo a possibilidade do meio ambiente voltar às condições originais após o impacto, sendo que esta pode ser classificada como reversível ou irreversível.

Esta metodologia será aplicada de acordo com o modelo apresentado na Tabela 4.1 contando com uma coluna adicional para as medidas de minimização de impactos, caso seja necessário recorrer às mesmas (APA, 2018).

Tabela 4.1 - Modelo de Matriz de Impactos Ambientais

Fatores ambientais	Fase	Critérios de avaliação								
		Impactos inerentes	Importância	Incidência	Significância	Probabilidade	Magnitude	Duração	Reversebilidade	Medidas de minimização
Clima										
Qualidade do ar										
Biodiversidade										
Recursos hídricos										
Geologia e geomorfologia										
Solo e uso do solo										
Ambiente sonoro										
Paisagem										
Patrimônio cultural										
Socioeconomia										

5. Casos de estudo

5.1 Câmara Municipal de Sesimbra

5.1.1 Localização

O Concelho de Sesimbra está localizado na Península de Setúbal, fazendo parte da Área Metropolitana de Lisboa. Este território é dividido em três freguesias distintas: Santiago, Castelo e Quinta do Conde, cada uma com características únicas.

A Freguesia do Castelo, apresenta raízes rurais, tendo uma forte ligação à agricultura, e o seu território estende-se desde a Baía de Sesimbra até ao Cabo Espichel, enquanto a sua costa ocidental prolonga-se até à Lagoa de Albufeira, integrando áreas de grande valor natural e paisagístico.

A Freguesia de Santiago é a mais antiga do concelho, correspondendo à área histórica da Vila de Sesimbra, onde se concentra grande parte do património cultural da região.

Já a Freguesia da Quinta do Conde apresenta um perfil mais urbano, sendo uma área de desenvolvimento residencial e comercial em crescimento constante.

A costa atlântica de Sesimbra estende-se por mais de 40 quilómetros, desde a Lagoa de Albufeira até à Serra da Arrábida. Ao longo da costa ocidental, encontram-se várias praias, enquanto a sul existem as falésias do Cabo Espichel, dando lugar a pequenas enseadas protegidas, como a do Ribeiro de Cavalo (Visit Sesimbra, s.d.).

5.1.2 Enquadramento Histórico

O território de Sesimbra foi considerado, desde os tempos pré-históricos, um local de posição geográfica privilegiada tendo sido possível desenvolver uma atividade marítima acentuada, destacando-se a pesca. É estimado que esta atividade tenha prosperado durante o Império Romano devido à descoberta de achados arqueológicos e uma fábrica de preparados piscícolas, sendo que as primeiras referências documentais às suas atividades marítimas remontam ao ano de 1201 no Foral concedido por D. Sancho I.

Durante os séculos XV e XVI deu-se um crescimento urbano abundante impulsionado pelos Descobrimentos e pela expansão marítima, sendo que a pesca continuou a expandir-se através da instalação de armações fixas ao longo da costa. Foi durante este período que foram construídos monumentos patrimoniais significantes, tais como a Capela do Espírito Santo e a Igreja Matriz de Santiago, situadas no coração da Vila de Sesimbra.

No século XVII, como objetivo da Coroa de controlar os portos portugueses, foram construídos vários fortes ao longo da costa, destacando-se entre estes a Fortaleza de Santiago. No decorrer do século foi intensificada a exploração rural de forma a ser possível abastecer as frotas marítimas que partiam para o mar.

No entanto, devido às invasões francesas e epidemias do século XIX a vila de Sesimbra entrou em declínio com o decréscimo da pesca e da construção naval, sendo que só no século XX é que as atividades marítimas voltaram a crescer com a introdução de novas técnicas e a construção do Porto de Abrigo resultando na expansão de um novo negócio, o turismo, impulsionado pelas paisagens naturais de Sesimbra, águas limpas e a introdução do *Big Game Fishing*, sendo esta a pesca desportiva em alto mar de peixes como o espadarte e o atum, bem como a construção do Hotel Espadarte.

Atualmente, Sesimbra é conhecida como a vila com o melhor peixe do mundo, com vários pontos de interesse histórico e Natural, dos quais se destacam o Castelo de Sesimbra e o Cabo Espichel, tendo-se tornado num importante destino turístico daqueles que querem conhecer melhor Portugal e o Distrito de Setúbal (Sesimbra A, s.d.).

5.1.3 Funções e responsabilidades da Câmara

A CMS é o órgão autárquico do Concelho de Sesimbra, sendo que é responsabilidade da mesma promover o desenvolvimento do mesmo em todos os aspetos relacionados com o bem-estar e com a vida dos cidadãos que nela habitam, promovendo assim a qualidade de vida dos cidadãos e paralelamente gerir de forma sustentável os recursos existentes no território e desenvolvendo com qualidade o serviço público (ePortugal, s.d.).

5.1.4 Dados sociodemográficos

O Concelho de Sesimbra ocupa um território de cerca 196 quilómetros quadrados, estando dividido pelas freguesias do Castelo, Santiago e Quinta do Conde. Através do website do Instituto Nacional de Estatística (INE), que conta com os dados dos Censos para efetuar estudos estatísticos, é possível observar que em 2021 o Concelho de Sesimbra possuía 52384 residentes, tendo sido observado que a Freguesia mais habitada é a da Quinta do Conde abrigoando 53.62% dos seus residentes, e a Freguesia de Santiago é a que conta com menos população residente, no entanto é onde se situam a maioria dos habitantes de faixa etária mais elevada.

No geral, 53,66% dos residentes do Concelho de Sesimbra têm uma idade compreendida entre os 24 e os 65 anos de idade. Além disso, 10,48% da população residente no Concelho de Sesimbra é composta por imigrantes, dos quais 2,26% são de origem europeia, que escolheram Sesimbra como local de residência.

Também foi possível observar que 45,94% dos habitantes apenas possuem o ensino básico, sendo que a grande parte destes pertence a pessoas de faixa etária mais elevada, sendo que a seguir 24,22% da população residente apenas completou o ensino secundário (PORDATA, s.d.).

5.1.5 Consumos energéticos

A gestão eficiente dos consumos elétricos é um passo essencial para qualquer organização, particularmente nas Câmaras Municipais onde a diversidade e a complexidades das infraestruturas geridas alcançam consumos de energia significativos ao longo dos anos. O aumento progressivo dos custos energéticos e das preocupações ambientais emergentes tornam imprescindível a compreensão dos consumos elétricos, identificando fontes de desperdício e implementando estratégias e adotando práticas que permitam a redução dos consumos, ou a substituição do consumo energético proveniente de matérias-primas pelas energias renováveis, de forma a progredirmos em direção à sustentabilidade.

Esta análise tem como objetivo analisar os consumos da CMS através dos consumos anuais das várias infraestruturas. Através desta análise, espera-se não só compreender melhor os padrões de consumo da CMS e servir como indicador para avaliar a redução do consumo energético global através do dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos.

Através dos dados partilhados pela CMS, presentes no Anexo I, esta apresenta quatro tipos de consumos energéticos definidos pelo seu uso, e estes encontram-se organizados posteriormente pelo local do consumo. Estes são:

- **Consumo Doméstico:** Este tipo de consumo engloba três categorias, sendo estas o consumo eventual, o consumo para habitação e o consumo para local comercial;
- **Consumo em Edifícios do Estado:** Este tipo de consumo abrange diversas categorias e infraestruturas, tais como administração pública, armazéns, associações, clubes, coletividades, cemitérios, edifícios escolares, escadas e portarias, escritórios, Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR), consumo eventual, garagens, habitações, habitações para animais, infantários, locais comerciais, avenças, consumos provisórios, recintos de espetáculos, recintos desportivos, recintos para motor, semáforos, serviços públicos, serviços comuns e outros;
- **Consumo em Iluminação de Vias Públicas:** Este tipo de consumo engloba quatro categorias, sendo estas os consumos provenientes de administração pública, consumo eventual, iluminação pública e outros;

- **Consumo Não Doméstico:** Este tipo de consumo abrange duas categorias, sendo estas o consumo eventual e o consumo para local comercial.

Em 2022 o consumo total energético da CMS foi aproximadamente 12,38 GWh, sendo que no ano seguinte houve uma redução de 8,56% do consumo energético tendo sido consumido nesse ano aproximadamente 11,32GWh. Ao analisar os consumos energéticos mensais da CMS nos anos 2022 e 2023, representados na Figura 5.1, verifica-se existe uma variação acentuada nos consumos à exceção dos meses de outubro e dezembro de 2023.

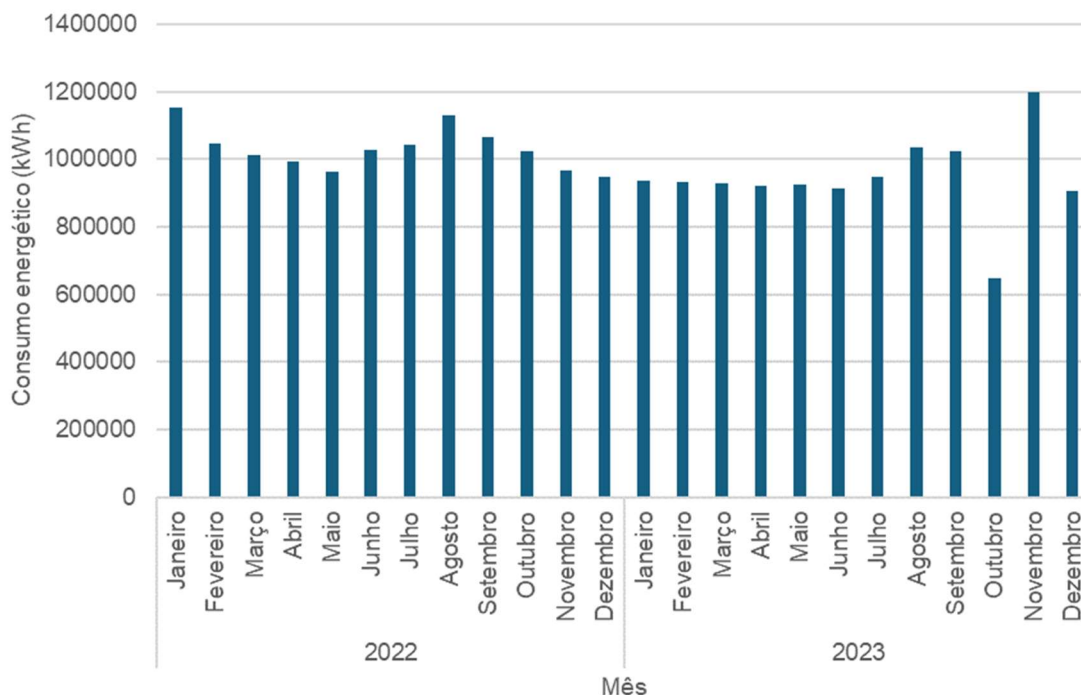


Figura 5.1 - Consumos energéticos mensais da Camara Municipal de Sesimbra em 2022 e 2023. (Obtido através dos dados presentes na tabela 2 do anexo I)

Em 2022, os consumos energéticos mais elevados foram registados nos edifícios do Estado, representando 61,017% do total. O consumo em iluminação de vias públicas foi o segundo mais elevado, correspondendo a 38,893% do total. Por outro lado, o consumo doméstico (normal) e o não doméstico representaram apenas 0,013% e 0,076% do total, respetivamente, como possível observar a partir da figura 5.2, tendo estes dados sido facultados pela CMS estando presentes no anexo I.

Já em 2023, os edifícios do Estado continuaram a apresentar os consumos mais elevados, com 69,867% do total. O consumo em iluminação de vias públicas, embora ainda significativo, reduziu-se para 30,1% do total. Os consumos domésticos (normal) e não doméstico, por sua vez, representaram 0,026% e 0,03% do total, respetivamente.



Figura 5.2 – Consumo energético por tipo de consumo da Câmara Municipal de Sesimbra em 2022 e 2023
(Obtido através dos dados presentes na tabela 3 do anexo I)

Analisando cuidadosamente os consumos anuais dos edifícios de estado é possível observar a variação dos consumos de energia elétrica proveniente da rede nas infraestruturas dos mesmos entre 2022 e 2023. Com base na Figura 5.3 é possível observar que os consumos mais elevados para ambos os anos estão no tipo de local classificado como "Outros". Estes representam 59,26% do total em 2023 sofrendo um ligeiro aumento para 62,45% em 2023. O termo "Outros" é utilizado para agrupar consumos energéticos provenientes de diversas localizações que, individualmente, não apresentam uma relevância significativa. Contudo, devido à falta de dados adicionais, não é possível realizar uma análise mais detalhada dessas mesmas fontes de consumo.

O segundo consumo mais elevado é proveniente dos locais designados por "Recinto para motor" sendo que este consumo representava 13,18% do consumo energético total em 2022 sofrendo uma ligeira redução para 11,28% em 2023, o que indica que existiu uma redução no uso de energia nessas infraestruturas.

Os consumos para locais de Administração Pública mantiveram-se estáveis, sendo que isto indica que não se deu uma diferença significativa na utilização energética nesses locais, representando 5,28% do consumo total energético em 2022 e 5,21% em 2023.

Os consumos para os locais designados por "Serviços Públicos" e "Edifícios escolares" não registaram mudanças significativas entre 2022 e 2023 sendo que os "Serviços Públicos" sofreram uma leve redução de 4,61% em 2022 para 4,27% em 2023, e os "Edifícios escolares" a manterem-se constantes em 4,34% em ambos os anos.

Os "Recintos de Espetáculos" e os "Recintos Desportivos" apresentaram pequenas diminuições nos seus consumos percentuais, sendo que o consumo para os locais designados de "Recintos de Espetáculos" passaram de 3,24% em 2022 para 3,17% em 2023, enquanto o consumo para os locais designados de "Recintos Desportivos" reduziram de 3,13% para 2,84% no mesmo período.

Por fim, os consumos restantes sofreram também uma redução ligeira, passando de 2,23% em 2022 para 2,01% em 2023, o que demonstra uma pequena redução nos consumos energéticos.

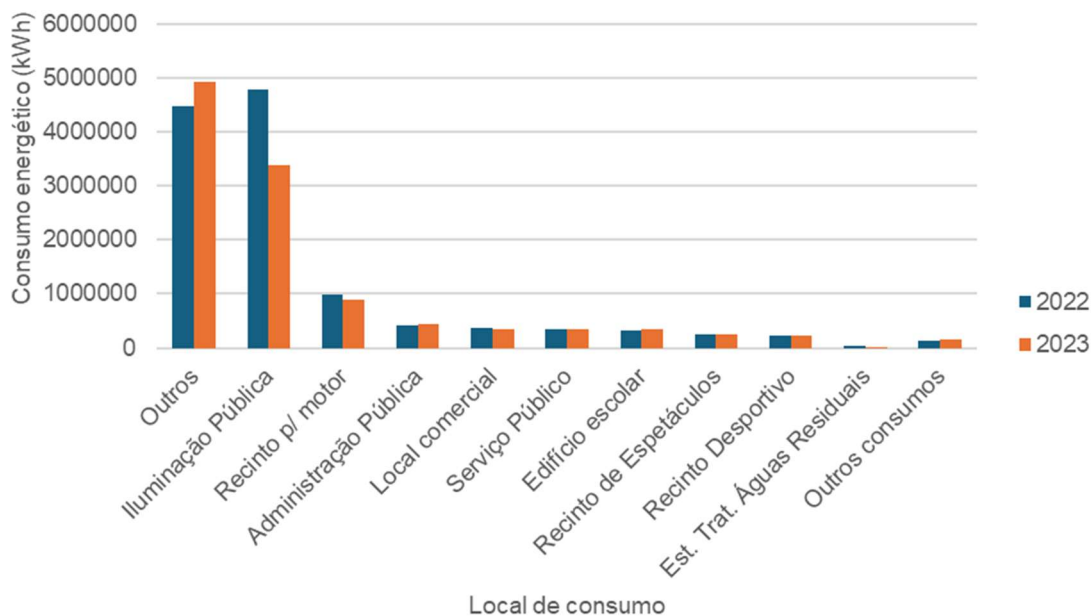


Figura 5.3 - Consumos dos edifícios de estado da CMS por local de consumo em 2022 e 2023 (Obtido através dos dados da tabela 4 do anexo I)

Analisando o segundo maior consumo, sendo este o consumo em iluminação de vias públicas através da Figura 5.4 é possível observar que, como o nome indica, o seu local de maior consumo está associado a iluminação pública que representou 99,7% do consumo total em 2022 tendo sofrido uma ligeira diminuição para 99,3% em 2023. Os restantes consumos para locais de administração pública, consumo eventual e outros colmatam os restantes 0,3% e 0,7% de 2022 e 2023 respetivamente.

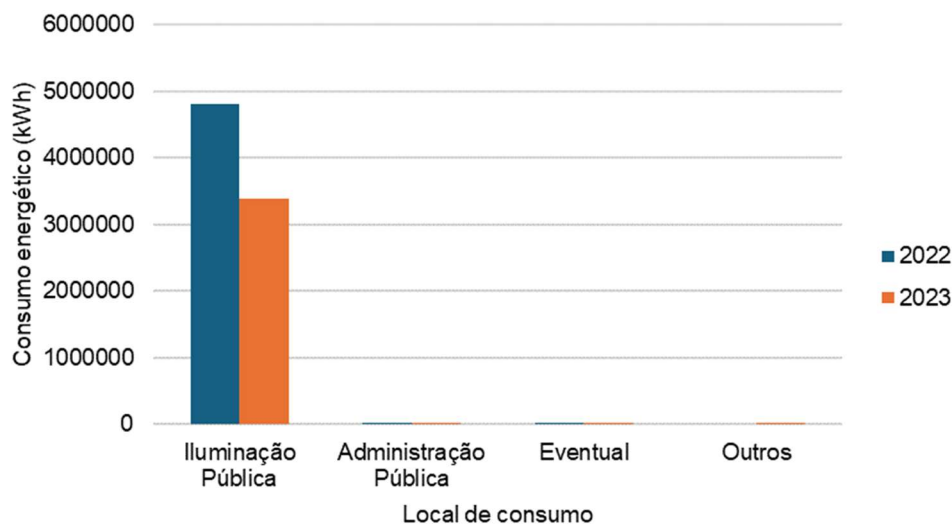


Figura 5.4 - Consumos da Iluminação Pública da CMS por local de consumo em 2022 e 2023
(Obtido através dos dados da tabela 5 do anexo I)

Os consumos energéticos da CMS revelam uma tendência de redução moderada entre 2022 e 2023, com destaque para os edifícios do Estado, que representam a maioria dos consumos. Apesar de algumas variações percentuais, a distribuição dos consumos manteve-se relativamente estável, com a iluminação pública e as infraestruturas ligadas ao Estado a apresentarem os maiores impactos. A partir desta análise é possível identificar áreas de melhoria e estratégias de otimização, visando à redução de desperdícios e à transição para fontes de energia mais sustentáveis.

5.1.6 Pegada de Carbono

Conforme observado anteriormente, em 2022 e 2023, os consumos energéticos totais da CMS foram de aproximadamente 12,38 GWh e 11,32 GWh, respetivamente. Esse elevado consumo deve-se ao facto de o município abranger um vasto território, no qual se localizam diversos edifícios com altos níveis de consumo energético.

*Tabela 5.1 - Consumos energéticos da rede da CMS e a respetiva emissão de CO₂
(Tabela adaptada dos dados presentes na tabela 7 do anexo I)*

Ano	Mês	Consumo energético (MWh)	Fator de emissão de eletricidade (t CO ₂ eq./MWh)	CO ₂ emitido (t CO ₂ eq.)
2022	Janeiro	1152,28	0,157	180,91
	Fevereiro	1046,63		164,32
	Março	1013,96		159,19
	Abril	994,84		156,19
	Maio	963,03		151,20
	Junho	1027,57		161,33
	Julho	1044,13		163,93
	Agosto	1129,18		177,28
	Setembro	1064,45		167,12
	Outubro	1023,86		160,75
	Novembro	966,34		151,72
	Dezembro	949,31		149,04
2023	Janeiro	935,06	0,157	146,80
	Fevereiro	933,33		146,53
	Março	928,39		145,76
	Abril	920,97		144,59
	Maio	925,59		145,32
	Junho	914,63		143,60
	Julho	948,21		148,87
	Agosto	1033,21		162,21
	Setembro	1023,82		160,74
	Outubro	647,16		101,60
	Novembro	1199,73		188,36
	Dezembro	905,52		142,17

De acordo com a Tabela 5.1 e tendo em conta o fator de emissão de eletricidade a CMS foi responsável pela emissão de 1942,97 toneladas equivalentes de CO₂ em 2022 e de 1776,55 toneladas equivalentes de CO₂ em 2023. É possível observar o gráfico das emissões mensais através da Figura 5.5.

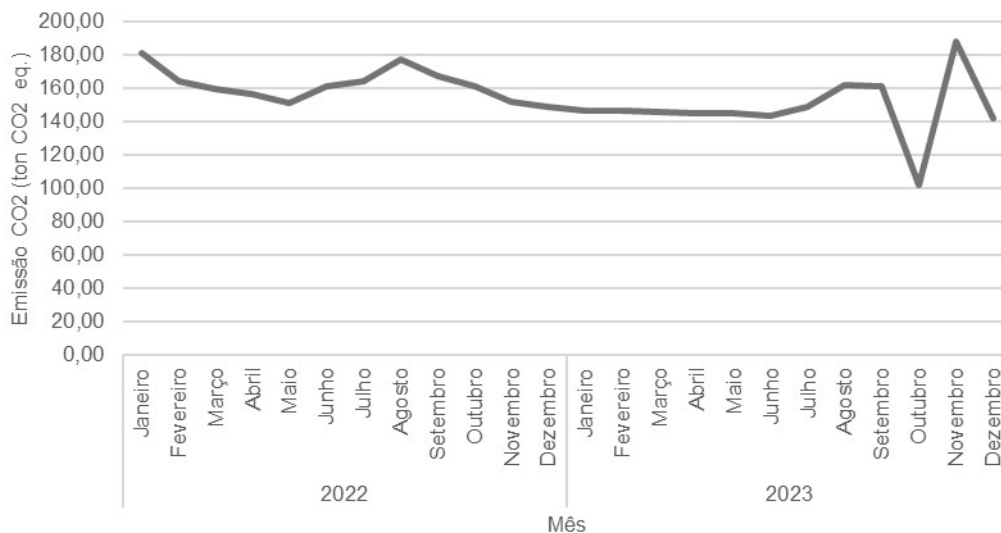


Figura 5.5 - Emissões mensais de dióxido de carbono da Câmara Municipal de Sesimbra em 2022 e 2023

5.2 Escolha dos equipamentos

5.2.1 Painéis solares

De modo a ser possível realizar o correto dimensionamento de um sistema fotovoltaico é fundamental escolher quais os painéis solares que serão utilizados no mesmo. Esta escolha é essencial pois permite-nos determinar o output energético que o sistema tem a capacidade de gerar em condições favoráveis e a quantidade de painéis que serão necessários, tendo em consideração a área disponível para a instalação e os consumos energéticos que se pretendem mitigar.

O funcionamento dos painéis solares baseia-se em várias características técnicas e funcionais sendo que os principais fatores a considerar são a potência máxima dos painéis, que determina a quantidade de energia que cada painel pode gerar em condições ideais, a eficiência do módulo e o tipo de material utilizado na fabricação dos painéis.

Outros fatores importantes que ajudam no dimensionamento do sistema fotovoltaico e determinam qual o output energético são ainda a corrente e a tensão na potência máxima, a corrente e a tensão em curto-circuito e as temperaturas e radiação de referência dos painéis solares, sendo estes dados adquiridos nas fichas técnicas disponibilizadas pelo fabricante.

Estes fatores determinam o desempenho do sistema e têm implicações diretas no custo dos painéis uma vez que painéis com maior eficiência ou feitos com certos materiais apresentam preços mais elevados, não só na aquisição, mas também na instalação dos mesmos, uma vez que podem exigir suportes e infraestruturas especiais. Além disso, a

durabilidade e a manutenção dos painéis ao longo do tempo também são fatores importantes que influenciam a viabilidade econômica do projeto a longo prazo.

Outro aspecto importante a considerar, que tem sido alvo de estudo, são ainda os impactos ambientais que os vários tipos de painéis solares apresentam, sejam estes a extração das matérias-primas, o processo de produção dos painéis solares, o transporte e a instalação dos mesmos, e ainda, o que fazer com eles quando estes chegam ao fim de vida podendo ser descartados ou mesmos reciclados, tendo cada etapa impactos ambientais associados, como visto no capítulo 3. Estes impactos podem variar dependendo do tipo de material utilizado, da eficiência energética dos processos de fabricação e das práticas de fim de vida adotadas pelos fabricantes ou respetivos proprietários.

O modelo de painel solar escolhido para o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos é o JAM72S20 445/MR da marca JAM SOLAR. Este modelo foi escolhido, apesar da disponibilidade de modelos de maior potência da mesma marca, devido ao seu equilíbrio entre desempenho e custo do modelo. Cada módulo é composto por 144 células monocristalinas que permitem converter a radiação solar em energia elétrica na forma de corrente contínua. Apresentam uma potência máxima de 445W com uma eficiência de 20% entre outras características presentes nas Tabelas 5.2 e 5.3.

Tabela 5.2 - Condições STC do módulo fotovoltaico JAM72S20 445/MR da JAM SOLAR

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC						
TYPE	JAM72S20 -445/MR	JAM72S20 -450/MR	JAM72S20 -455/MR	JAM72S20 -460/MR	JAM72S20 -465/MR	JAM72S20 -470/MR
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	445	450	455	460	465	470
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.56	49.70	49.85	50.01	50.15	50.31
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	41.21	41.52	41.82	42.13	42.43	42.69
Short Circuit Current(Isc) [A]	11.32	11.36	11.41	11.45	11.49	11.53
Maximum Power Current(Imp) [A]	10.80	10.84	10.88	10.92	10.96	11.01
Module Efficiency [%]	20.0	20.3	20.5	20.7	20.9	21.2
Power Tolerance	0~+5W					
Temperature Coefficient of Isc(α_{Isc})	+0.044%/°C					
Temperature Coefficient of Voc(β_{Voc})	-0.272%/°C					
Temperature Coefficient of Pmax(γ_{Pmp})	-0.350%/°C					
STC	Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1.5G					

Tabela 5.3 - Condições NOCT do módulo fotovoltaico JAM72S20 445/MR da JAM SOLAR

ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT							OPERATING CONDITIONS	
TYPE	JAM72S20 -445/MR	JAM72S20 -450/MR	JAM72S20 -455/MR	JAM72S20 -460/MR	JAM72S20 -465/MR	JAM72S20 -470/MR	Maximum System Voltage	1000V/1500V DC
Rated Max Power(Pmax) [W]	336	340	344	348	352	355	Operating Temperature	-40 C ~+85 C
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	46.65	46.90	47.15	47.38	47.61	47.84	Maximum Series Fuse Rating	20A
Max Power Voltage(Vmp) [V]	38.95	39.19	39.44	39.68	39.90	40.10	Maximum Static Load,Front*	5400Pa(112 lb/ft ²)
Short Circuit Current(Isc) [A]	9.20	9.25	9.29	9.33	9.38	9.42	Maximum Static Load,Back*	2400Pa(50 lb/ft ²)
Max Power Current(Imp) [A]	8.64	8.68	8.72	8.76	8.81	8.86	NOCT	45±2 C
NOCT	Irradiance 800W/m ² , ambient temperature 20°C, wind speed 1m/s, AM1.5G						Safety Class	Class II
							Fire Performance	UL Type 1

*For NexTracker installations ,Maximum Static Load, Front is 1800Pa while Maximum Static Load, Back is 1800Pa.

5.2.2 Inversores

Um inversor é um equipamento fundamental para os sistemas fotovoltaicos, sendo responsável por converter a eletricidade de corrente contínua (CC), gerada pelos painéis solares, em eletricidade de corrente alternada (CA), que é utilizada pela rede elétrica e pelos aparelhos domésticos. A conversão ocorre devido à capacidade do inversor em alternar rapidamente as entradas de corrente contínua, transformando-as numa saída de corrente alternada que oscila numa determinada frequência.

Além da conversão de energia, os inversores desempenham um papel crucial na regulação do fluxo de energia elétrica, garantindo que a energia seja fornecida de maneira eficiente e segura. Monitorizam ainda o desempenho do sistema fotovoltaico, fornecendo dados importantes sobre a produção de energia, possíveis falhas, e eficiência do sistema. Em certos casos, os inversores podem ainda ser equipados com funções avançadas, como a gestão da injeção de energia na rede elétrica e a integração com sistemas de armazenamento de energia, como baterias (EERE, s.d.).

Os inversores escolhidos para o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos são do fabricante *SMA Solar Technology AG* cujo modelo a ser utilizado é o *SUNNY TRIPOWER CORE2 STP 110-60* cujas especificações do equipamento estão apresentadas na Tabela 5.4.



Figura 5.6 - Imagem fotográfica do inversor SUNNY TRIPOWER CORE2 STP 110-60.

(Retirada de: <https://www.sma-brasil.com/produtos/inversores-fotovoltaicos/sunny-tripower-core2>)

Tabela 5.4 - Especificações do inversor SUNNY TRIPOWER CORE2 STP 110-60 dadas pelo fabricante

Technical data*	Sunny Tripower CORE2
Input (DC)	
Max. PV array power	165000 Wp STC
Max. input voltage	1100 V
MPP voltage range	500 V to 800 V
Rated input voltage	585 V
Min. input voltage / Start input voltage	200 V / 250 V
Max. useable input current per MPP tracker / Max. short-circuit current per MPP tracker	26 A (22 A < 600 V) / 40 A
Number of independent MPP trackers / Strings per MPP tracker	12 / 2
Output (AC)	
Rated power (at 400 V, 50Hz)	110000 W
Rated / Max. apparent power	110000 VA / 110000 VA
Rated voltage	400 V
Voltage range	320 V to 460 V
Grid frequency / range	50 Hz / 45 Hz to 55 Hz 60 Hz / 55 Hz to 65 Hz
Rated grid frequency	50 Hz
Rated output current / max. output current	158.8 A / 158.8 A
Power factor at rated power / displacement power factor adjustable	1 / 0.8 overexcited to 0.8 underexcited
Harmonic (THD)	< 3%
Feed-in phases / AC connection	3 / 3-PE
Efficiency	
Max. efficiency / European efficiency	98.6% / 98.4%

5.3 Parque Operacional da Fonte de Sesimbra

5.3.1 Descrição do local

O Parque Operacional da Fonte de Sesimbra destina-se à centralização e gestão dos recursos e atividades operacionais da CMS, este localiza-se na Rua da Fonte de Sesimbra na zona da Almoinha.

Nele são desempenhados diversos serviços tais como armazenamento de materiais dos serviços da CMS e serviços de logística, serralharia, carpintaria, obras, água e saneamento, oficina e posto de abastecimento de combustível das viaturas municipais e parque automóvel. Com o intuito de melhorar o Parque Operacional também foi criado nos últimos anos um edifício para realizar todos os serviços operacionais e foram instalados painéis solares com o objetivo de aquecer as águas dos balneários. Em 2016 foi ainda proposta uma intervenção de forma a ser instalada uma central de lavagem das viaturas, um novo posto de abastecimento bem como a melhoria das estradas e dos parques de estacionamento do Parque colocando ainda coberturas na zona de resguardo dos materiais e no parque de viaturas e máquinas (Sesimbra B, s.d.).

Este local, que é uma infraestrutura urbana bastante ativa que desempenha um papel importantes nos serviços municipais e, conseqüentemente, possui uma elevada demanda energética. No parque são efetuadas várias atividades que criam consumos energéticos significativos, o que torna o investimento em energias renováveis, como a solar, uma oportunidade promissora para reduzir custos e impactos ambientais associados ao consumo de energia tradicional. A implementação de um sistema fotovoltaico neste local não só atenderia às necessidades energéticas do mesmo, como também seria uma solução sustentável que alinharia as operações do município com práticas ecológicas e o desenvolvimento sustentável.

Através do *software* da *PVGis* é possível obter os dados da radiação solar e da temperatura médias do local durante o ano de 2020, como mostrado na Figura 5.7 e na Figura 5.8, bem como os dados diários das mesmas de modo a ser possível efetuar o dimensionamento do sistema fotovoltaico e calcular os *outputs* energéticos do mesmo.

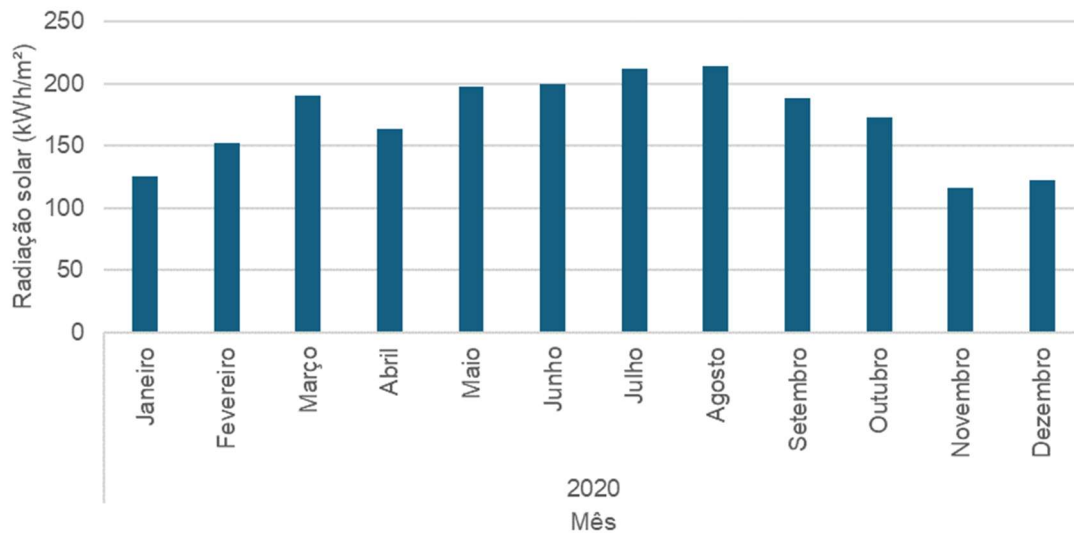


Figura 5.7 - Radiação solar incidente média na localização do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra mensalmente em 2020 (Obtido através da tabela 1 do anexo II)

Através dos dados da radiação solar média mensal, presentes no gráfico da Figura 5.7, é possível perceber que os meses que apresentaram os valores máximos foram julho e agosto, com valores de 212,19 kWh/m² e 213,59 kWh/m², enquanto o mês onde a radiação solar foi menor foi o mês de novembro com um valor de 116,36 kWh/m².

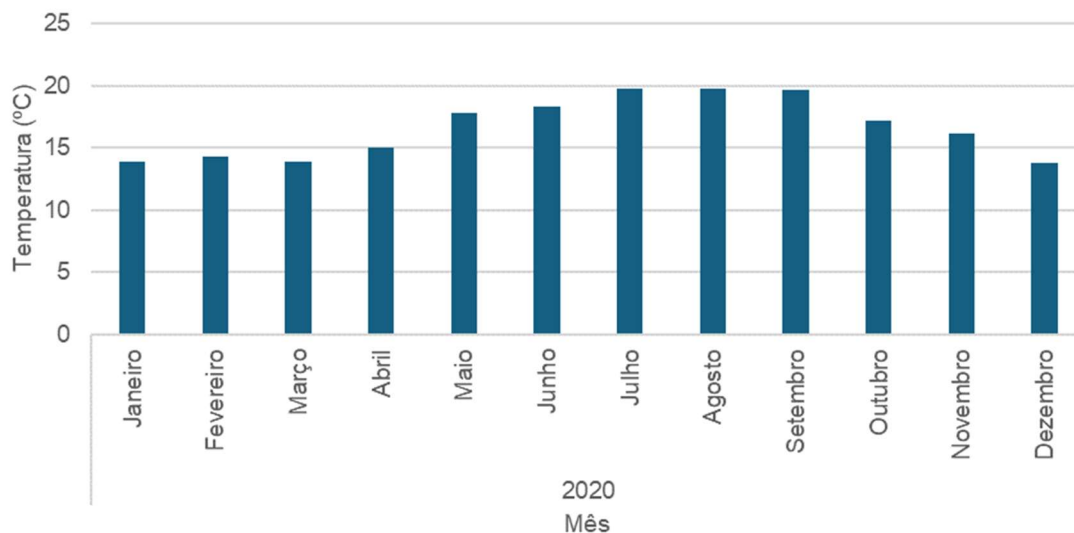


Figura 5.8 – Temperatura ambiente média na localização do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra mensalmente em 2020 (Obtido através da tabela 1 do anexo II)

Pelos dados da temperatura ambiente média mensal, presentes no gráfico da Figura 5.8, é possível perceber que os meses de maior calor foram julho e agosto, que apresentaram uma temperatura ambiente média de 19,8°C, enquanto o mês de menor calor foi dezembro com uma temperatura ambiente média de 13,8°C.

5.3.2 Consumos anuais e diagramas de carga

O Parque Operacional da Fonte de Sesimbra apresenta uma tarifa de Baixa Tensão Especial (BTE) de longas utilizações apresentando ainda um ciclo horário diário, isto significa que os períodos horários são iguais todos os dias, sem distinção entre dias úteis e fins de semana, só sendo afetados pelo horário de inverno ou pelo horário de verão.



Figura 5.9 - Dados do período horário diário durante o inverno para consumos BTE (Retirado de: <https://www.erse.pt/atividade/regulacao/tarifas-e-precos-eletricidade/>)

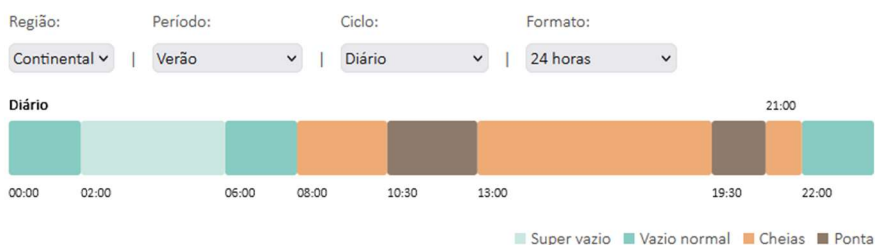


Figura 5.10 - Dados do período horário diário durante o verão para consumos BTE (Retirado de: <https://www.erse.pt/atividade/regulacao/tarifas-e-precos-eletricidade/>)

Através da análise das faturas energéticas foi possível observar que de dezembro de 2022 a novembro de 2023 o Parque Operacional da Fonte de Sesimbra apresentou um consumo total de 123219 kWh, sendo que os meses registados com maior consumo foram os meses do período de inverno, à exceção de dezembro de 2022, como é possível observar na Figura 5.11, onde estão representados os consumos energéticos totais por mês de dezembro de 2022 a novembro de 2023.

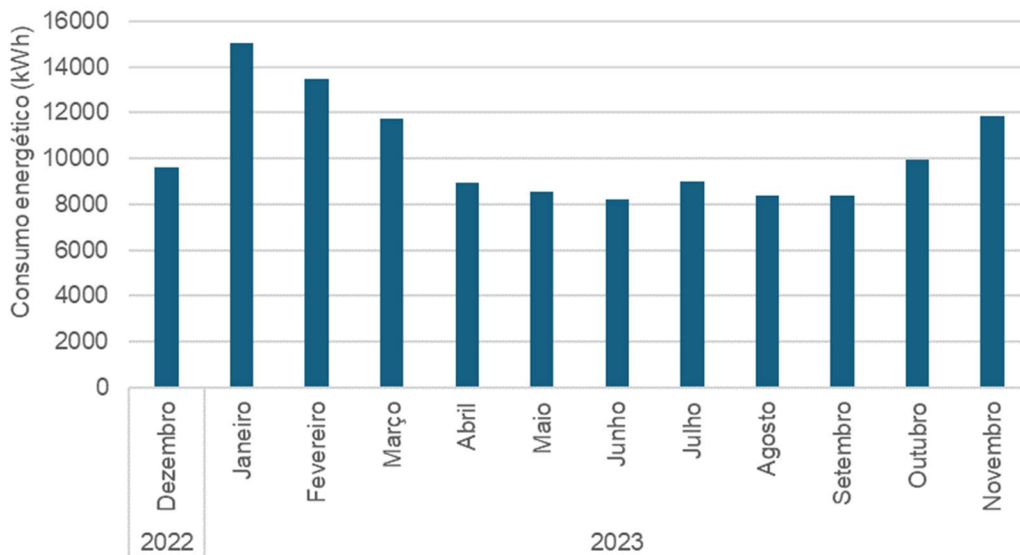


Figura 5.11 - Consumo energético total por mês do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra (Obtido através dos dados da tabela 3 do anexo II)

Após terem sido calculadas as horas mensais para cada consumo foi possível criar os diagramas de carga diários para cada mês. Na Figura 5.11 está exemplificado o diagrama de carga diário para o mês de janeiro que apresentou o maior consumo energético mensal, e na Figura 5.13 está exemplificado o diagrama de carga diário para o mês de junho que apresentou o menor consumo energético mensal.

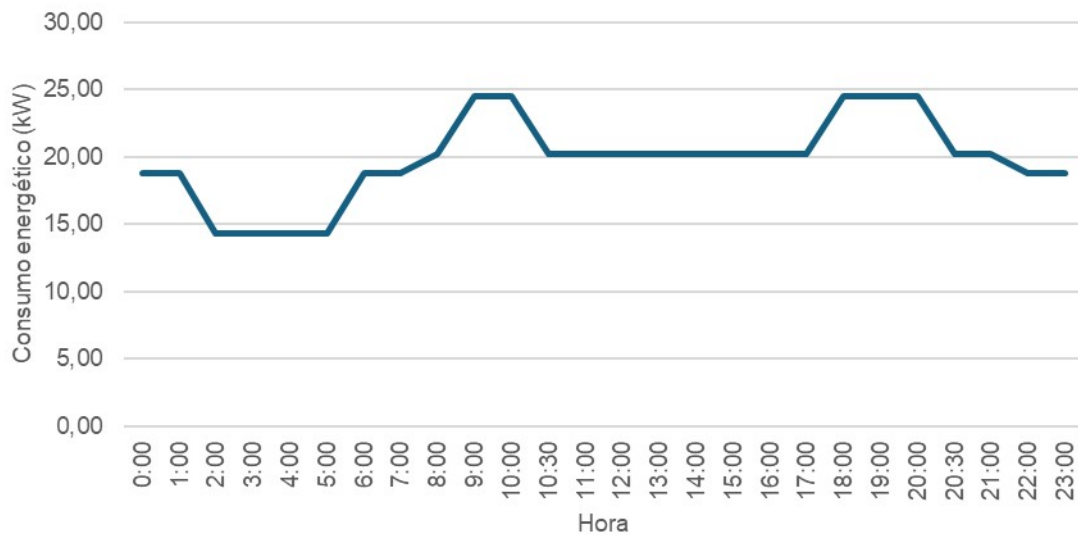


Figura 5.12 - Diagrama de carga diário de janeiro 2023 para o Parque Operacional da Fonte de Sesimbra (Obtido através dos dados da tabela 5 do anexo II)

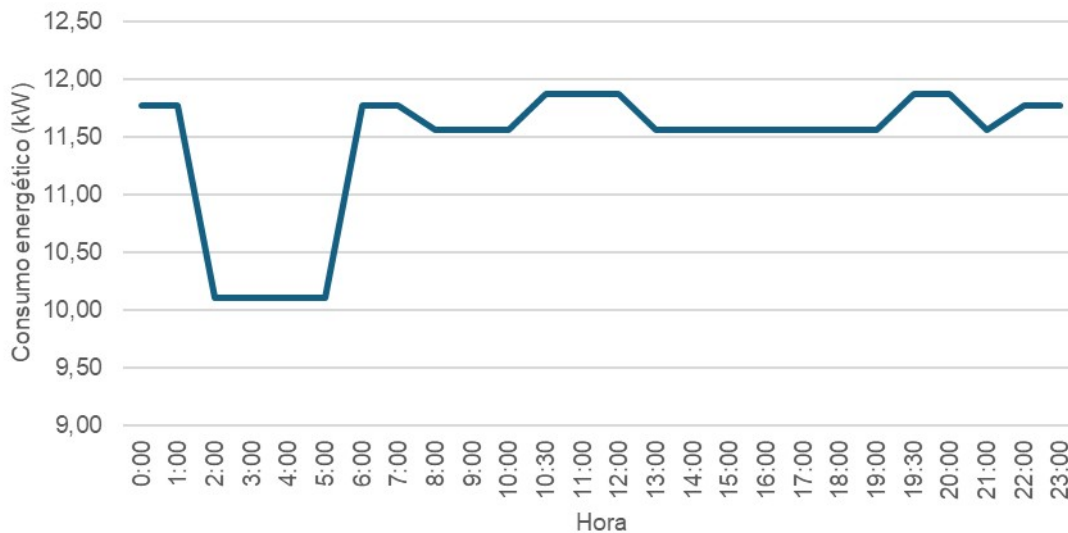


Figura 5.13 - Diagrama de carga diário de junho 2023 para o Parque Operacional da Fonte de Sesimbra (Obtido através dos dados da tabela 7 do anexo II)

5.3.3 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

Embora o Parque Operacional apresente vários edifícios foi escolhido fazer a instalação dos painéis solares no parque de estacionamento exterior do mesmo, visível na Figura 5.14, uma vez que o ângulo e a direção dos telhados dos edifícios secundários não apresentariam um resultado de rendimento energético tão favorável e o no telhado do edifício central do Parque já se encontram as infraestruturas de aquecimento de água.

Além disso, este parque de estacionamento não apresenta sombreamentos durante o dia que possam impactuar na eficiência do sistema fotovoltaico.



Figura 5.14 - Fotografia do local de instalação potencial do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra

Após efetuados os cálculos foi possível determinar a energia produzida por um painel fotovoltaico, e a energia produzida pelo sistema considerando que serão utilizados 26 painéis solares, de forma a evitar produção de energia em excesso.

Na tabela 5.5 é possível ver o potencial de produção energética por mês no Parque Operacional da Fonte de Sesimbra.

Tabela 5.5 - Potencial de produção energética por mês do sistema fotovoltaico dimensionado para o Parque Operacional da Fonte de Sesimbra (Construída a partir dos dados da tabela 10 do anexo II)

Mês	Energia produzida (kWh)
Janeiro	1821,50
Fevereiro	2455,80
Março	983,54
Abril	1366,09
Mai	1039,93
Junho	2607,22
Julho	2526,48
Agosto	2318,58
Setembro	1852,86
Outubro	980,67
Novembro	1601,81
Dezembro	1950,00

Através destes dados é possível construir o gráfico de produção mensal representado na Figura 5.15.

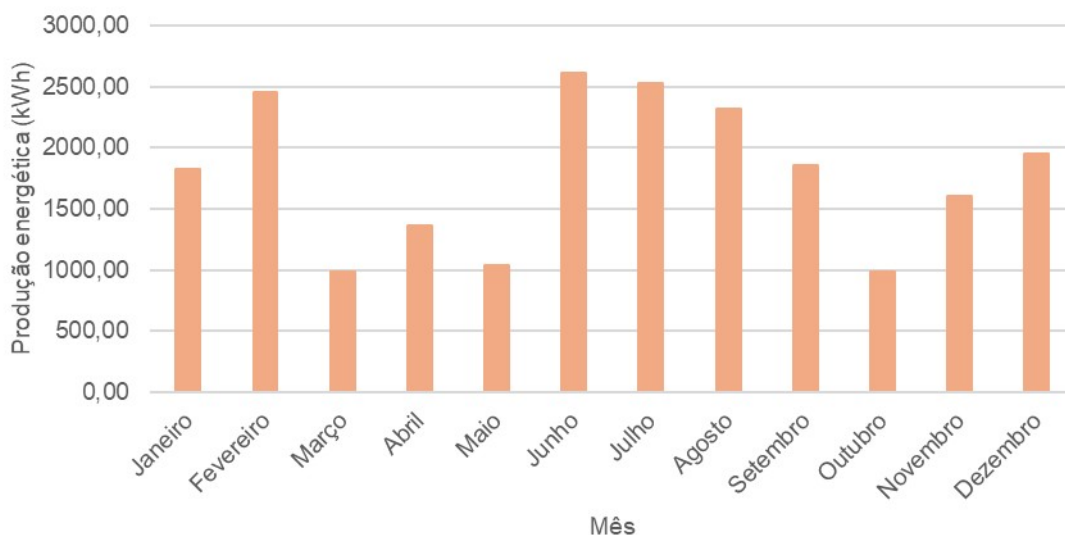


Figura 5.15 - Potencial de produção energética por mês do sistema fotovoltaico dimensionado para o Parque Operacional da Fonte de Sesimbra (Obtido a partir dos dados da tabela 10 do anexo II)

Com base nos cálculos de dimensionamento, o sistema fotovoltaico tem capacidade para produzir 21504,46 kWh ao longo de um ano.

Através dos dados obtidos na análise dos consumos energéticos mensais e do dimensionamento do sistema fotovoltaico para o Parque Operacional da Fonte de Sesimbra é possível calcular a autossuficiência do sistema fotovoltaico.

Tabela 5.6 – Potencial de autossuficiência do sistema fotovoltaico do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra (Obtida através dos dados da tabela 13 do anexo II)

Mês	Consumo total (kWh)	Energia produzida (kWh)	Autossuficiência (%)
Dezembro	9591	1950,00	20,33
Janeiro	15044	1821,50	12,11
Fevereiro	13471	2455,80	18,23
Março	11770	983,54	8,36
Abril	8963	1366,09	15,24
Mai	8567	1039,93	12,14
Junho	8224	2607,22	31,70
Julho	9009	2526,48	28,04
Agosto	8401	2318,58	27,60
Setembro	8389	1852,86	22,09
Outubro	9933	980,67	9,87
Novembro	11857	1601,81	13,51

Toda a energia produzida pelo sistema fotovoltaico é consumida, tendo um autoconsumo de 100%. A autossuficiência dos painéis fotovoltaicos é um parâmetro que varia diariamente de acordo com a radiação solar e temperatura ambiente do local, sendo que mensalmente a autossuficiência está especificada na tabela 5.6.

A comparação entre o potencial de produção e consumos energéticos está exemplificada na Figura 5.16 e na Figura 5.17 para os meses de junho e janeiro de 2023.

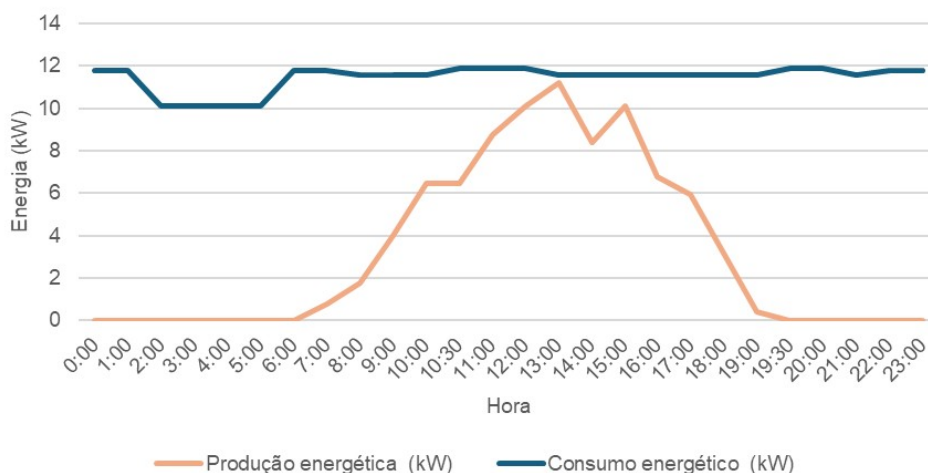


Figura 5.16 - Diagrama de carga diário de comparação entre o potencial de produção e consumo energéticos do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra para junho de 2023 (Obtido através dos dados da tabela 17 do anexo II)

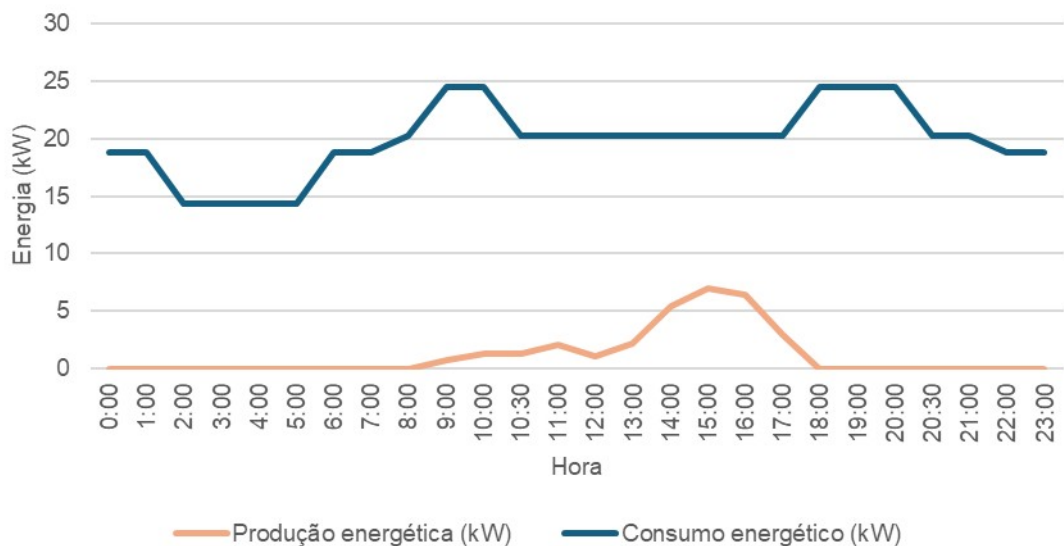


Figura 5.17 - Diagrama de carga diário de comparação entre o potencial de produção e consumo energéticos do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra para janeiro de 2023
Obtido através dos dados da tabela 18 do anexo II

5.3.4 Pegada de carbono

Como os consumos dos locais em estudo são significativamente inferiores ao consumo total da CMS o fator de emissão de eletricidade vai ser convertido para kg de CO₂ eq./kWh, que é dado pela expressão:

$$0.157 \text{ t CO}_2 \text{ eq./MWh} = \frac{0.157 \times 1000}{1000} \text{ kg CO}_2 \text{ eq./kWh} = 0.157 \text{ kg CO}_2 \text{ eq./kWh} \quad (4.18.)$$

Considerando os consumos energéticos do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra os dados relacionados com a emissão de CO₂ podem ser observados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Dados da energia convencional consumida e pegada de carbono respetiva do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra de dezembro de 2022 a novembro de 2023
(Obtida através dos dados da tabela 11 do anexo II)

Ano	Mês	Consumo energético total (kWh)	CO ₂ emitido (kg CO ₂ eq.)
2022	Dezembro	9591	1505,787
	Janeiro	15044	2361,908
	Fevereiro	13471	2114,947
	Março	11770	1847,89
	Abril	8963	1407,191
	Mai	8567	1345,019
2023	Junho	8224	1291,168
	Julho	9009	1414,413
	Agosto	8401	1318,957
	Setembro	8389	1317,073
	Outubro	9933	1559,481
	Novembro	11857	1861,549

Através dos dados da tabela é possível observar que os consumos energéticos do Parque provocaram uma emissão de 19345,383 kg de CO₂ entre dezembro de 2022 e novembro de 2023.

Considerando o fator de emissão de CO₂ para os painéis fotovoltaicos é possível estimar a pegada de carbono do sistema fotovoltaico, como é possível observar na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Pegada de carbono do sistema fotovoltaico do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra (Obtida através dos dados da tabela 12 do anexo II)

Mês	Energia produzida (kWh)	Fator de emissão (kg CO ₂ eq./kWh)	Pegada de carbono (kg CO ₂ eq.)
Janeiro	1821,50		78,32
Fevereiro	2455,80		105,60
Março	983,54		42,29
Abril	1366,09		58,74
Mai	1039,93		44,72
Junho	2607,22	0,043	112,11
Julho	2526,48		108,64
Agosto	2318,58		99,70
Setembro	1852,86		79,67
Outubro	980,67		42,17
Novembro	1601,81		68,88
Dezembro	1950,00		83,85

Através destes dados foi possível comparar a pegada de carbono do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra sem sistema fotovoltaico e com sistema fotovoltaico. Estes dados estão apresentados na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Comparação da pegada de carbono do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra sem sistema fotovoltaico e com sistemas fotovoltaico (Obtida através dos dados tabela 13 do anexo II)

Ano	Mês	Pegada de carbono sem sistema (kg CO ₂ eq.)	Pegada de carbono total (kg CO ₂ eq.)	
2022	Dezembro	1505,787	1283,487	
	Janeiro	2361,908	2154,257	
	Fevereiro	2114,947	1834,986	
	Março	1847,890	1735,767	
	Abril	1407,191	1251,457	
	Mai	1345,019	1226,468	
	2023	Junho	1291,168	993,945
		Julho	1414,413	1126,394
		Agosto	1318,957	1054,639
		Setembro	1317,073	1105,847
		Outubro	1559,481	1447,685
	Novembro	1861,549	1678,943	

É então possível construir o gráfico de comparação das respetivas pegadas carbónicas como ilustrado na Figura 5.18.

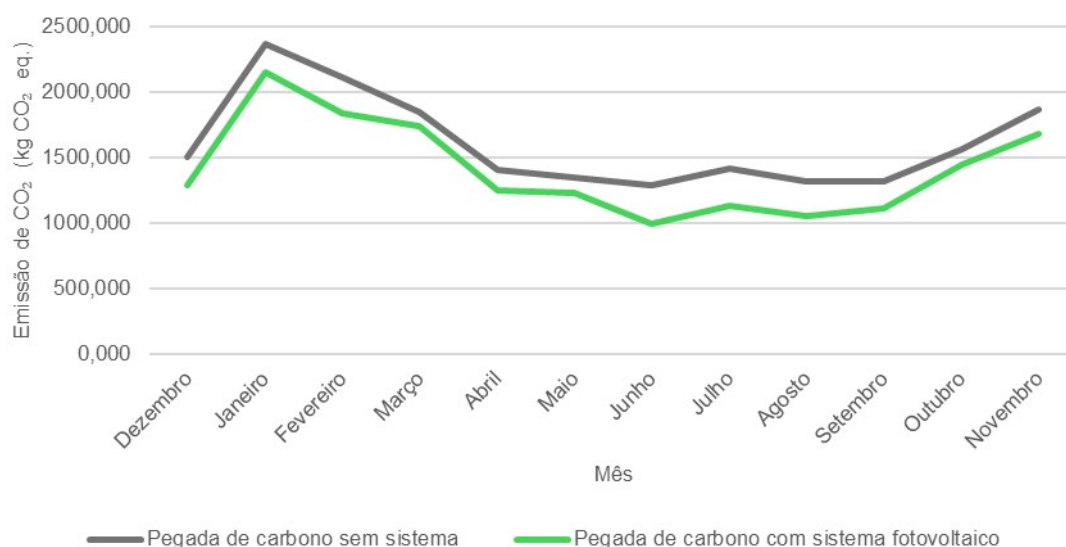


Figura 5.18 - Comparação da pegada de carbono do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra sem sistema fotovoltaico e com sistema fotovoltaico (Obtida através dos dados da tabela 13 do anexo II)

Através do uso de sistemas fotovoltaicos é possível reduzir a pegada de carbono em 12,67% quando em comparação com a pegada de carbono energética do local sem o sistema fotovoltaico.

5.4 Mercado Municipal da Quinta do Conde

5.4.1 Descrição do local

O Mercado Municipal da Quinta do Conde, inaugurado a 1 de abril de 2000, foi concebido para servir a comunidade local, oferecendo aos cidadãos um espaço onde pudessem vender e comprar produtos frescos e de qualidade. Atualmente, este mercado conta com várias bancas que oferecem uma vasta gama de produtos, incluindo frutas, hortícolas, lacticínios, plantas e muito mais, garantindo uma oferta diversificada para atender às necessidades dos consumidores.

Além das bancas tradicionais, o mercado dispõe também de uma área comercial que inclui várias lojas, tanto no interior como no exterior. Este espaço, embora situado numa zona urbanizada com poucas áreas verdes nas proximidades, destaca-se como um ponto central de convivência e atividade económica na Quinta do Conde, onde a comunidade pode encontrar produtos frescos e de origem local, contribuindo para a sustentabilidade e o apoio aos produtores da região. (Sesimbra C, s.d.)

Este Mercado é uma infraestrutura comercial de grande relevância no concelho. Sendo um ponto de encontro diário para comerciantes e consumidores, o mercado representa

uma excelente oportunidade para a instalação de um sistema fotovoltaico, especialmente no seu parque de estacionamento. A colocação de painéis solares no estacionamento não só ajudaria a mitigar os consumos de energia do mercado, como também proporcionaria aos visitantes o benefício adicional de sombreamento para os seus veículos. Este tipo de intervenção, além de ser sustentável, oferece valor acrescentado para a comunidade local, tornando a energia renovável uma solução agradável para o dia a dia dos cidadãos.



Figura 5.19 - Fotografia do Mercado Municipal da Quinta do Conde (Retirado de: <https://www.sesimbra.pt/noticia-72/mercado-da-quinta-do-conde-encerrado-para-limpeza>)

Através do software da PVGYS é possível obter os dados da radiação solar e da temperatura médias do local durante o ano de 2020, como mostrado na Figura 5.20 e na Figura 5.21, bem como os dados diários das mesmas de modo a ser possível efetuar o dimensionamento do sistema fotovoltaico e calcular os outputs energéticos do mesmo.

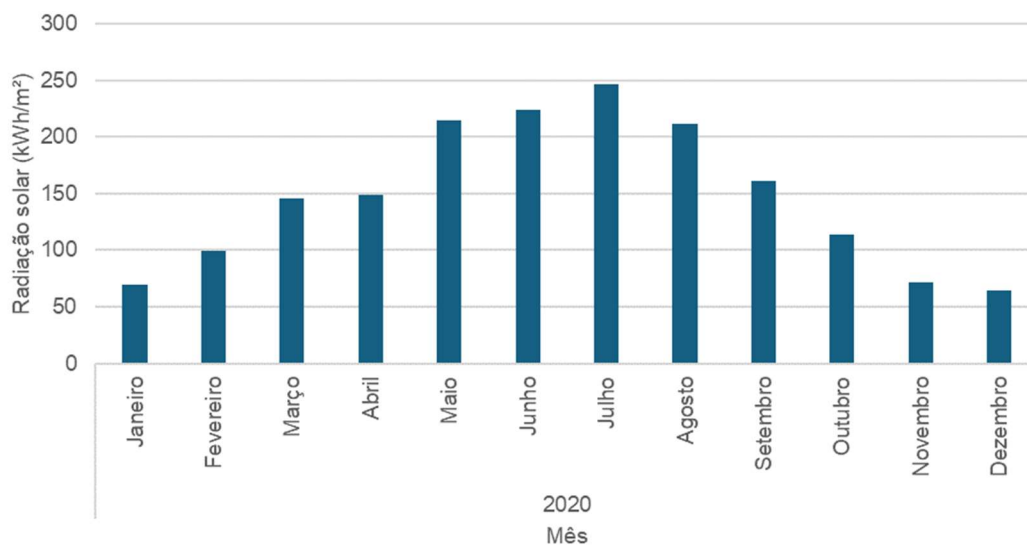


Figura 5.20 – Radiação solar incidente média na localização do Mercado Municipal da Quinta do Conde mensalmente em 2020 (Obtido através da tabela 1 do anexo III)

Pelos dados da radiação solar média mensal é possível perceber que o mês que apresentou o valor máximo de radiação solar foi o mês de julho, com um valor de 237,39 kWh/m² enquanto o mês onde a radiação solar foi menor foi o mês de dezembro com um valor de 103,81 kWh/m².

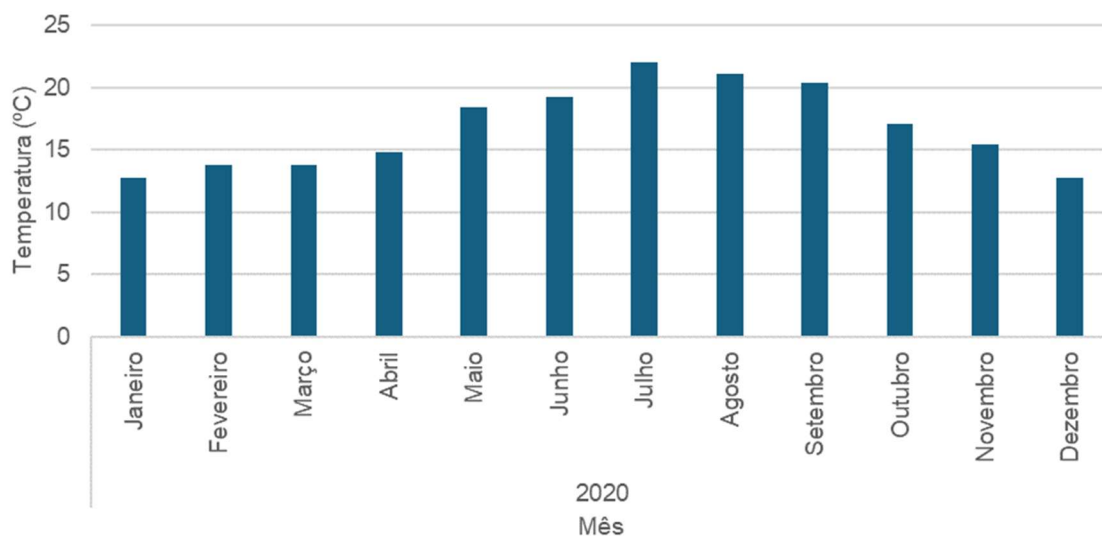


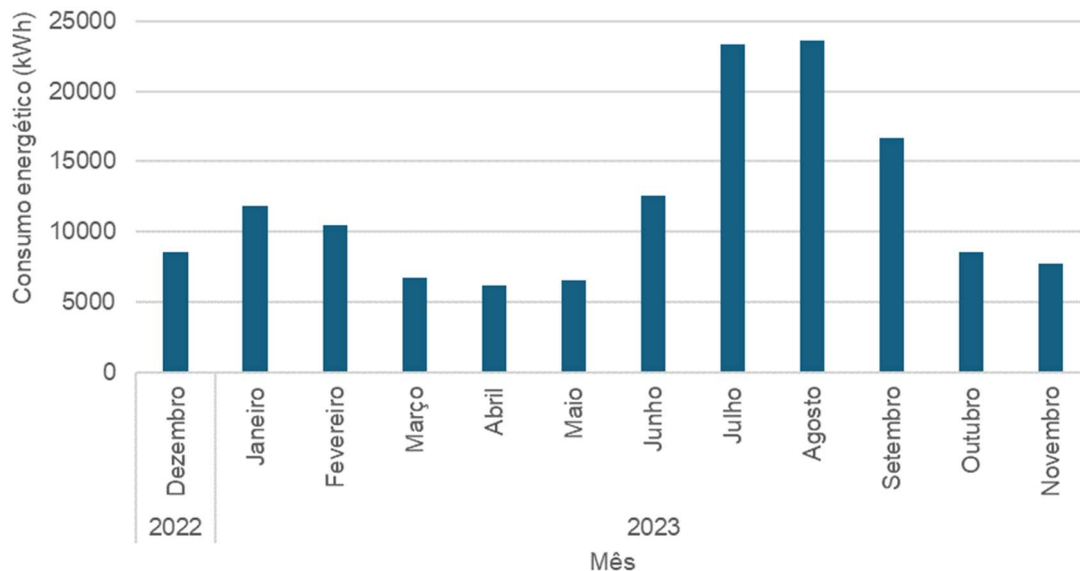
Figura 5.21 – Temperatura ambiente média na localização do Mercado Municipal da Quinta do Conde mensalmente em 2020 (Obtido através da tabela 1 do anexo III)

Pelos dados da temperatura ambiente média mensal é possível perceber que o mês de maior calor foi julho com uma temperatura ambiente média de 22°C, enquanto os meses de menor calor foram janeiro e dezembro com uma temperatura ambiente média de 12,8°C para ambos.

5.4.2 Consumos anuais e diagramas de carga

O Mercado Municipal da Quinta do Conde apresenta uma tarifa BTE de longas utilizações com um ciclo diário, tal como o Parque Operacional da Fonte de Sesimbra, na qual os consumos horários estão especificados nas Figuras 5.9 e 5.10.

Através da análise das faturas energéticas foi possível observar que de dezembro de 2022 a novembro de 2023 o Mercado Municipal da Quinta do Conde apresentou um consumo total de 142859 kWh, na Figura 5.22 é possível ver os consumos energéticos mensais.



*Figura 5.22 – Consumo energético total por mês do Mercado Municipal da Quinta do Conde
Obtido através dos dados da tabela 3 do anexo III*

Após terem sido calculadas as horas mensais para cada consumo foi possível criar os diagramas de carga diários para cada mês como exemplificado nas Figuras 5.23 e 5.24 para os meses de abril e agosto sendo estes os meses de menor e maior consumo, respetivamente.

O maior consumo em agosto pode-se dar devido à necessidade de arrefecimento das instalações e das bancas que fazem a venda de produtos frescos o que leva a consumos energéticos superiores.

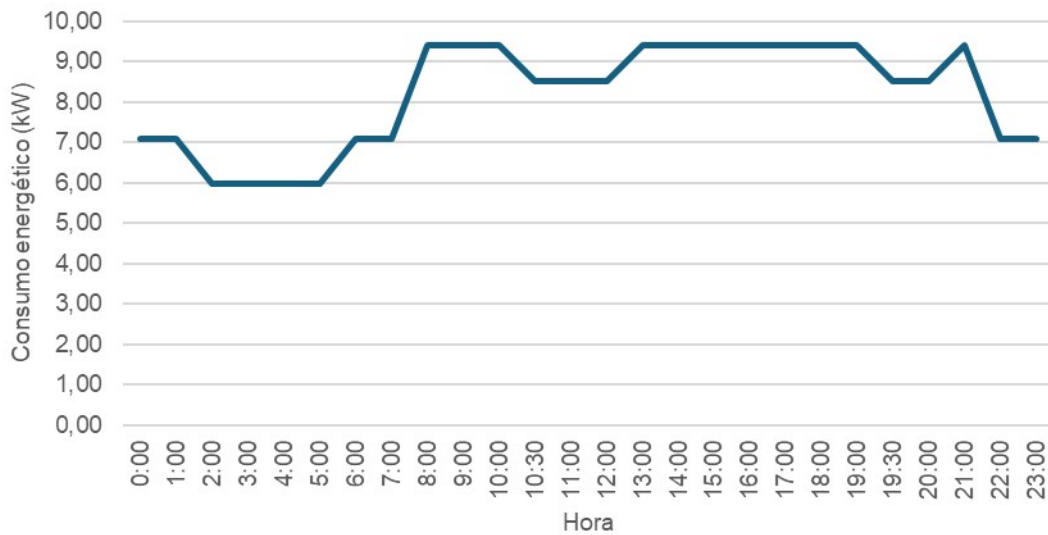


Figura 5.23 - Diagrama de carga diário de abril 2023 para o Mercado Municipal da Quinta do Conde Obtido através dos dados da tabela 7 do anexo III

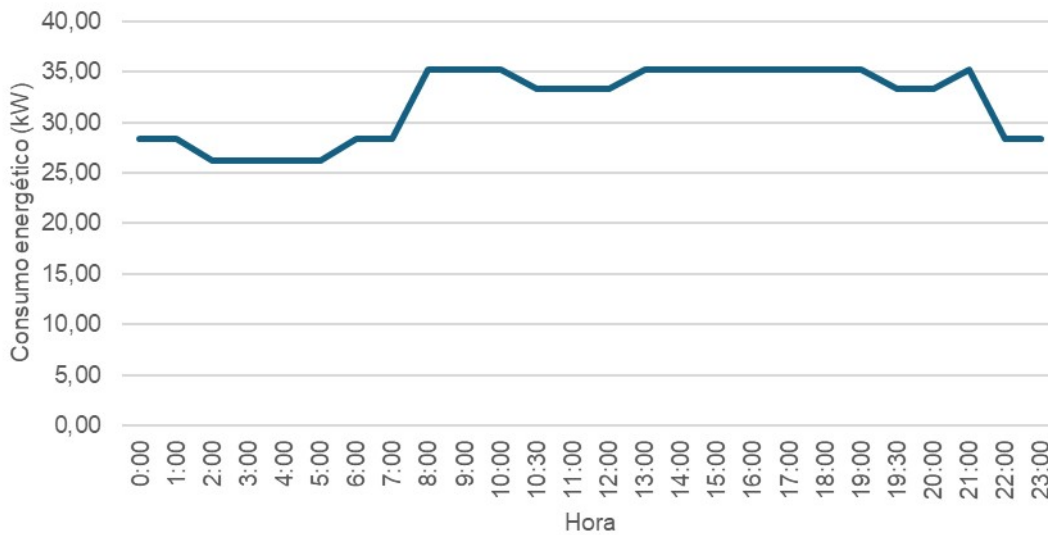


Figura 5.24 - Diagrama de carga diário de agosto 2023 para o Mercado Municipal da Quinta do Conde (Obtido através dos dados da tabela 5 do anexo III)

5.4.3 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

Após efetuados os cálculos foi possível determinar a energia produzida por um painel fotovoltaico, e a energia produzida pelo sistema considerando que serão utilizados 27 painéis fotovoltaicos. Estando estes valores demonstrados na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 – Potencial de produção energética por mês do sistema fotovoltaico dimensionado para o Mercado Municipal da Quinta do Conde (Construída a partir dos dados da tabela 10 do anexo III)

Mês	Energia produzida (kWh)
Janeiro	889,93
Fevereiro	1218,82
Março	1698,56
Abril	1658,34
Maio	2305,39
Junho	2477,84
Julho	2704,00
Agosto	2428,52
Setembro	1878,10
Outubro	1377,90
Novembro	864,65
Dezembro	804,71

Através destes dados é possível construir o gráfico de produção mensal, como é possível verificar na Figura 5.25.

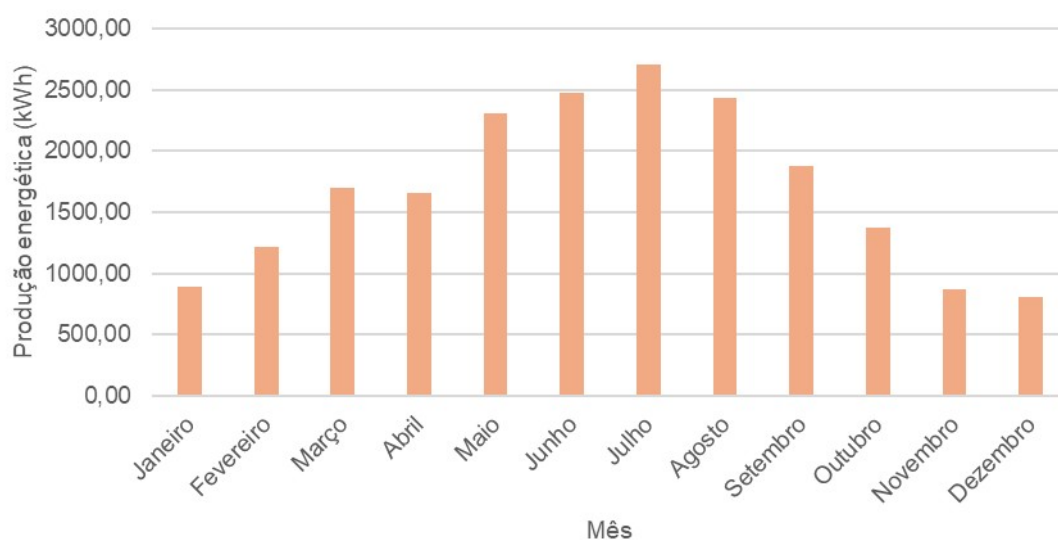


Figura 5.25 - Produção energética por mês do sistema fotovoltaico dimensionado para o Mercado Municipal da Quinta do Conde (Obtido a partir dos dados da tabela 10 do anexo III)

Com base nos cálculos de dimensionamento, o sistema fotovoltaico tem capacidade para produzir 20306,76 kWh ao longo de um ano.

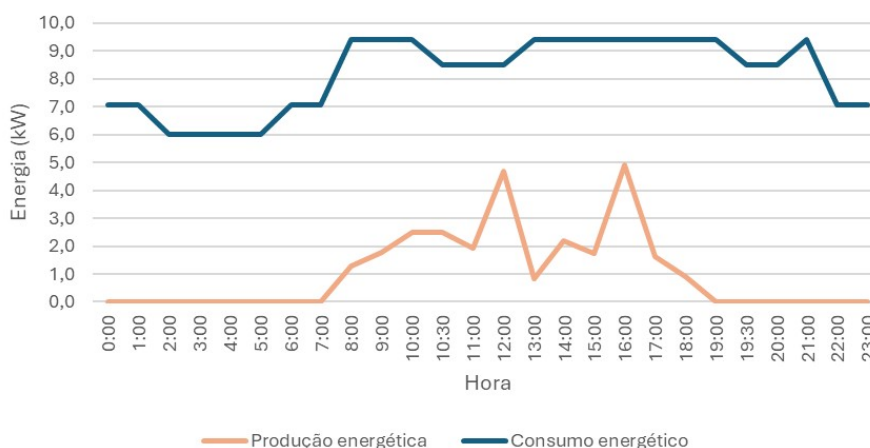
Através dos dados obtidos na análise dos consumos energéticos mensais e do dimensionamento do sistema fotovoltaico para o Mercado Municipal da Quinta do Conde é possível calcular a autossuficiência do sistema fotovoltaico.

*Tabela 5.11 - Potencial de autossuficiência do sistema fotovoltaico do Mercado Municipal da Quinta do Conde
(Obtida através dos dados da tabela 13 do anexo III)*

Ano	Mês	Consumo total (kWh)	Energia produzida (kWh)	Autossuficiência (%)
2022	Dezembro	8600	804,71	9,36
	Janeiro	11863	889,93	7,50
	Fevereiro	10431	1218,82	11,68
	Março	6702	1698,56	25,34
	Abril	6170	1658,34	26,88
	Maio	6528	2305,39	35,32
2023	Junho	12560	2477,84	19,73
	Julho	23374	2704,00	11,57
	Agosto	23591	2428,52	10,29
	Setembro	16700	1878,10	11,25
	Outubro	8594	1377,90	16,03
	Novembro	7746	864,65	11,16

Toda a energia produzida pelo sistema fotovoltaico é consumida, tendo um autoconsumo de 100% sendo que mensalmente a autossuficiência está especificada na Tabela 5.11.

A comparação entre o potencial de produção e consumos energéticos está exemplificada na Figura 5.26 e na Figura 5.27 para os meses de abril e agosto de 2023, sendo estes os meses de menor e maior consumo do Mercado Municipal da Quinta do Conde.



*Figura 5.26 - Diagrama de carga diário de comparação entre o potencial de produção e consumo energéticos do Mercado Municipal da Quinta do Conde para abril de 2023
(Obtido através dos dados da tabela 17 do anexo III)*

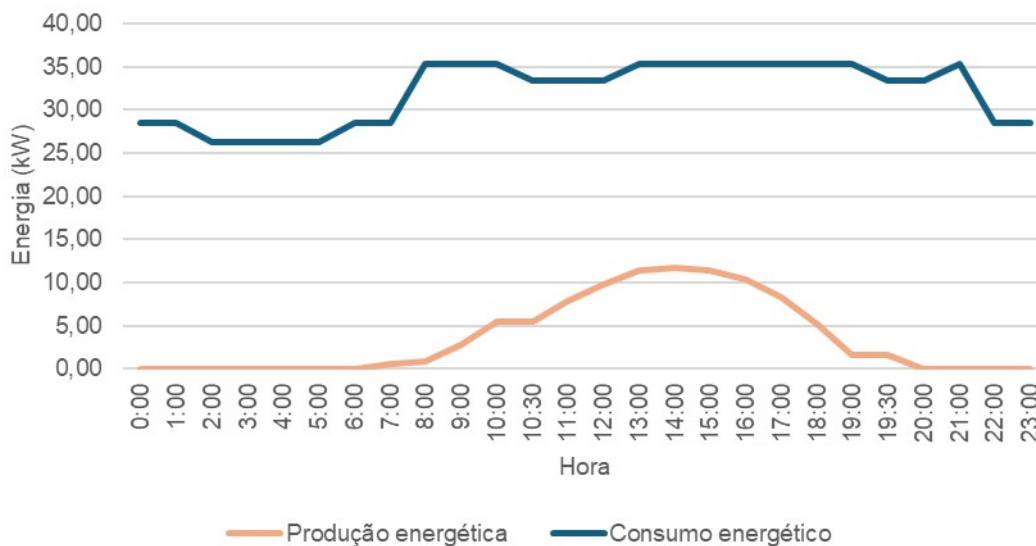


Figura 5.27 - Diagrama de carga diário de comparação entre o potencial de produção e consumo energéticos do Mercado Municipal da Quinta do Conde para agosto de 2023 (Obtida através dos dados da tabela 18 do anexo III)

5.4.4 Pegada de Carbono

Considerando os consumos energéticos do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra os dados relacionados com a emissão de CO₂ podem ser observados na Tabela 5.12, bem como a quantidade de energia renovável e energia convencional consumida.

Tabela 5.12 - Dados da energia convencional consumida e pegada de carbono respetiva do Mercado Municipal da Quinta do Conde de dezembro de 2022 a novembro de 2023 (Obtida através dos dados da tabela 11 do anexo III)

Ano	Mês	Consumo energético total (kWh)	CO ₂ emitido (kg CO ₂ eq.)
2022	Dezembro	8600	1350,2
	Janeiro	11863	1862,491
	Fevereiro	10431	1637,667
	Março	6702	1052,214
	Abril	6170	968,69
	Mai	6528	1024,896
2023	Junho	12560	1971,92
	Julho	23374	3669,718
	Agosto	23591	3703,787
	Setembro	16700	2621,9
	Outubro	8594	1349,258
	Novembro	7746	1216,122

Através dos dados da Tabela 5.12 é possível observar que os consumos energéticos do Parque provocaram uma emissão de 22428,863 kg de CO₂ entre dezembro de 2022 e novembro de 2023.

Através dos dados da energia produzida pelos painéis fotovoltaicos e considerando o fator de emissão de CO₂ para os painéis fotovoltaicos é possível estimar a pegada de carbono do sistema fotovoltaico, como é possível observar na Tabela 5.13.

Tabela 5.13 - Pegada de carbono do sistema fotovoltaico do Mercado Municipal da Quinta do Conde (Obtida através dos dados da tabela 12 do anexo III)

Mês	Energia produzida (kWh)	Fator de emissão (kg CO ₂ eq./kWh)	Pegada de carbono (kg CO ₂ eq.)
Janeiro	889,93	0,043	38,27
Fevereiro	1218,82		52,41
Março	1698,56		73,04
Abril	1658,34		71,31
Mai	2305,39		99,13
Junho	2477,84		106,55
Julho	2704,00		116,27
Agosto	2428,52		104,43
Setembro	1878,10		80,76
Outubro	1377,90		59,25
Novembro	864,65		37,18
Dezembro	804,71		34,60

O sistema fotovoltaico irá ser responsável pela emissão de 873,190 kg de CO₂ por ano. Através destes dados foi possível comparar a pegada de carbono do Mercado Municipal da Quinta do Conde sem sistema fotovoltaico e com sistema fotovoltaico. Estes dados estão apresentados na Tabela 5.14.

Tabela 5.14 - Comparação da pegada de carbono do Mercado Municipal da Quinta do Conde sem sistema fotovoltaico e com sistemas fotovoltaico (Obtida através dos dados da tabela 13 do anexo III)

Ano	Mês	Pegada de carbono sem sistema (kg CO ₂ eq.)	Pegada de carbono total (kg CO ₂ eq.)
2022	Dezembro	1350,200	1258,463
	Janeiro	1862,491	1761,039
	Fevereiro	1637,667	1498,721
	Março	1052,214	858,578
	Abril	968,690	779,639
2023	Mai	1024,896	762,081
	Junho	1971,920	1689,446
	Julho	3669,718	3361,462
	Agosto	3703,787	3426,936
	Setembro	2621,900	2407,797
	Outubro	1349,258	1192,177
	Novembro	1216,122	1117,552

É então possível construir o gráfico de comparação das respectivas pegadas carbônicas como ilustrado na Figura 5.28.

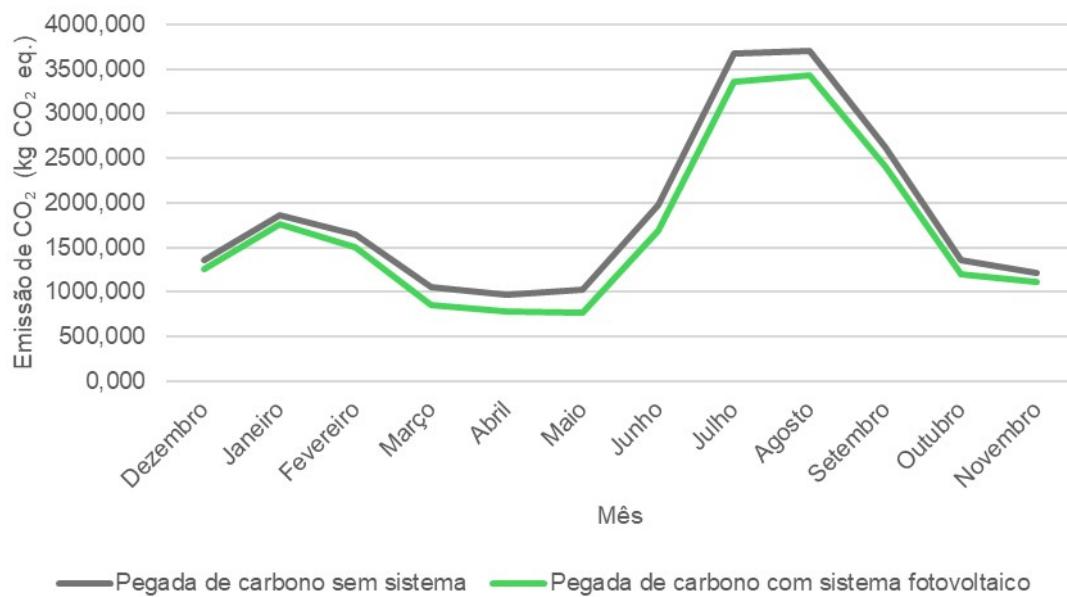


Figura 5.28 - Comparação da pegada de carbono do Mercado Municipal da Quinta do Conde sem sistema fotovoltaico e com sistemas fotovoltaico (Obtida através dos dados da tabela 13 do anexo III)

Através do uso de sistemas fotovoltaicos é possível reduzir a pegada de carbono em 10,31% quando em comparação com a pegada de carbono energética do local sem o sistema fotovoltaico.

5.5 Parque de Campismo do Forte do Cavalo

5.5.1 Descrição do local

O Parque de Campismo do Forte do Cavalo está localizado na Vila de Sesimbra, numa posição privilegiada perto das praias e da doca de Sesimbra. Este parque de campismo foi cuidadosamente concebido para atender às necessidades dos campistas, proporcionando um ambiente imerso na natureza. Com uma área de 110 000 m², o parque oferece um espaço amplo para a instalação de caravanas e tendas, com várias áreas equipadas com acesso a corrente elétrica, garantindo um maior conforto e conveniência aos seus visitantes, como é possível observar na planta do parque representado na Figura 5.29. A proximidade do parque com as zonas costeiras permite que os campistas desfrutem de várias atividades náuticas, como passeios de barco, mergulho, entre outros. Este é um espaço natural que combina a tranquilidade da natureza com a facilidade de acesso a experiências ao ar livre, fazendo dele um destino ideal para os amantes do campismo que querem conhecer melhor a Vila de Sesimbra (Sesimbra D, s.d.).



Figura 5.29 - Planta do Parque de Campismo do Forte do Cavalo
(Retirada de: <https://www.sesimbra.pt/turismo/parque-municipal-de-campismo-forte-do-cavalo>)



Figura 5.30 - Imagem fotográfica do Parque de Campismo do Forte do Cavallo

Este local possui uma mistura de áreas urbanizadas e zonas naturais, oferecendo aos visitantes uma experiência de contacto com a natureza, enquanto fornece infraestruturas essenciais ao acampamento. A decisão de instalar painéis fotovoltaicos no estacionamento deste local e nos telhados dos edifícios do mesmo reflete uma dupla função pois além de fornecer energia renovável para reduzir os consumos energéticos do parque, os painéis também forneceriam sombreamento para os veículos estacionados. Esta abordagem sustentável seria benéfica tanto para os utilizadores, que teriam proteção contra o calor nos seus veículos, como para o ambiente, promovendo uma gestão energética mais eficiente no parque.

Através do software da PVGYS é possível obter os dados da radiação solar e da temperatura médias do local durante o ano de 2020, como mostrado na Figura 5.31 e na Figura 5.32, bem como os dados diários das mesmas de modo a ser possível efetuar o dimensionamento do sistema fotovoltaico e calcular os outputs energéticos do mesmo.

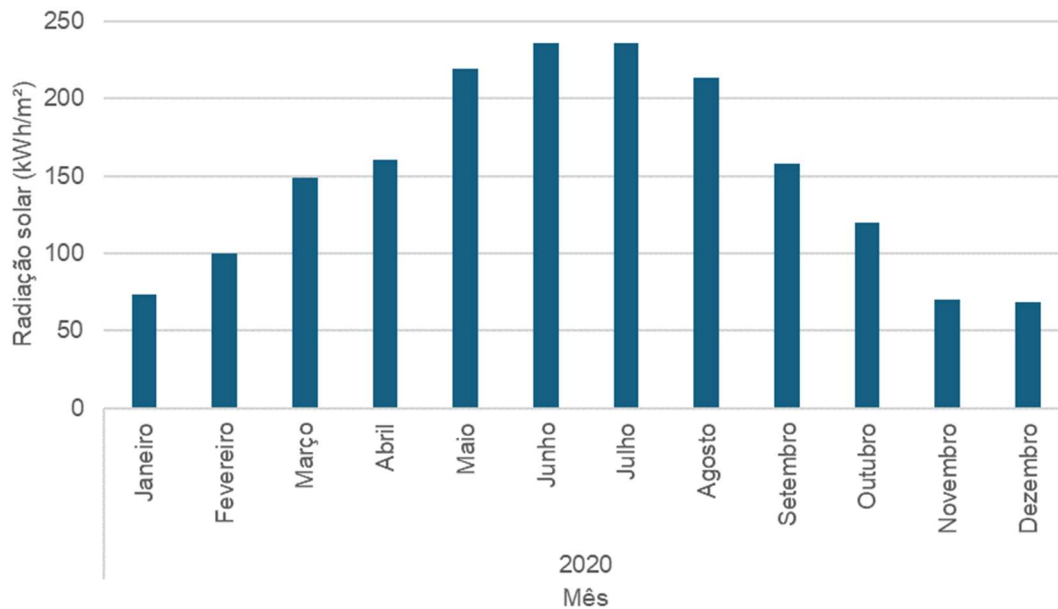


Figura 5.31 - Radiação solar incidente média na localização do Parque de Campismo do Forte do Cavallo mensalmente em 2020 (Obtido através da tabela 1 do anexo IV)

Pelos dados da radiação solar média mensal é possível perceber que os meses que apresentaram os valores máximos foram junho e julho, com valores de 235,56 kWh/m² e 235,62 kWh/m², enquanto o mês onde a radiação solar foi menor foi o mês de novembro com um valor de 70,57 kWh/m².

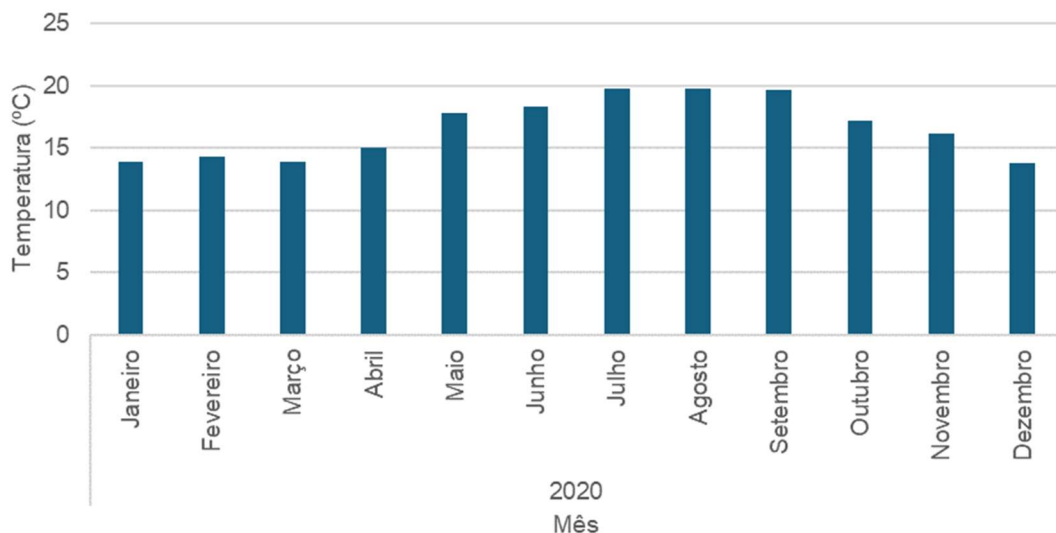


Figura 5.32 - Temperatura ambiente média na localização do Parque de Campismo do Forte do Cavallo mensalmente em 2020 (Obtido através da tabela 1 do anexo IV)

Pelos dados da temperatura ambiente média mensal é possível perceber que os meses de maior calor foram julho e agosto, que apresentaram uma temperatura ambiente média de 19,8°C, enquanto o mês de menor calor foi dezembro com uma temperatura ambiente média de 13,8°C.

5.5.2 Consumos anuais e diagrama de carga

O Parque de Campismo do Forte do Cavalo apresenta um contrato energético de Média Tensão apresentando ainda um ciclo horário semanal. Isto significa que existe distinção entre os períodos horários, existindo ciclos específicos para os dias da semana, sábados e domingos ou feriados, que são ainda afetados pelo horário de inverno ou pelo horário de verão.



Figura 5.33 - Dados do período horário semanal durante o inverno para consumos BTE (Retirado de: <https://www.erse.pt/atividade/regulacao/tarifas-e-precos-eletricidade/>)

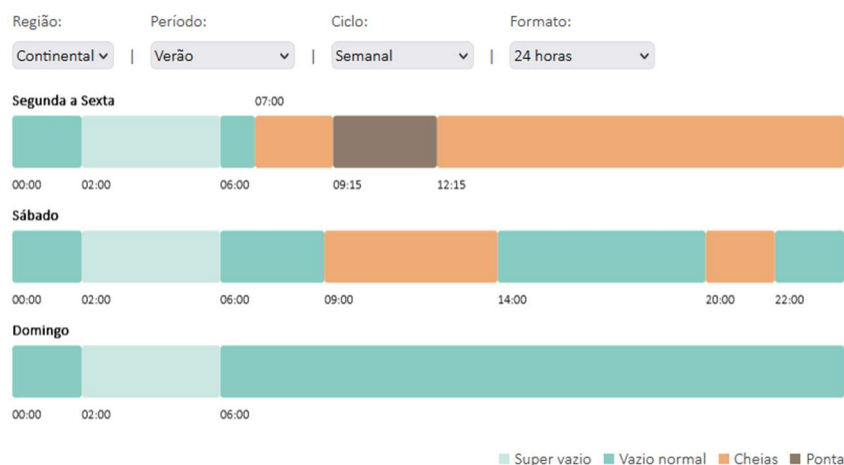


Figura 5.34 - Dados do período horário semanal durante o verão para consumos BTE (Retirado de: <https://www.erse.pt/atividade/regulacao/tarifas-e-precos-eletricidade/>)



Figura 5.37 - Diagrama de carga diário de março 2023 para o Parque de Campismo do Forte do Cavallo (Obtido através dos dados das tabelas 5, 6 e 7 do anexo IV)

5.5.3 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

Após efetuados os cálculos foi possível determinar a energia produzida por um painel fotovoltaico, e a energia produzida pelo sistema considerando que serão utilizados 21 painéis solares, de forma a evitar produção de energia em excesso.

Na Tabela 5.15 é possível ver o potencial de produção energética por mês no Parque de Campismo da Fonte de Sesimbra.

Tabela 5.15 - Potencial de produção energética por mês do sistema fotovoltaico dimensionado para o Parque de Campismo do Forte do Cavallo (Construída a partir dos dados da tabela 14 do anexo IV)

Mês	Energia produzida (kWh)
Janeiro	568,57
Fevereiro	809,63
Março	1241,64
Abril	1355,36
Mai	1899,30
Junho	2051,52
Julho	2053,17
Agosto	1844,29
Setembro	1332,13
Outubro	981,80
Novembro	552,55
Dezembro	534,79

Através destes dados é possível construir o gráfico de produção mensal, como é possível ver na Figura 5.38.

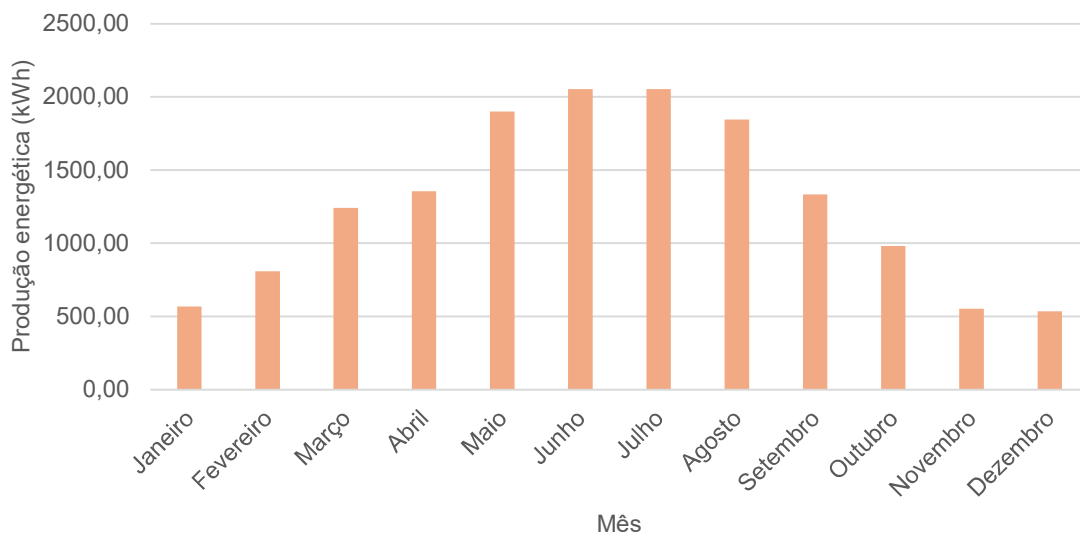


Figura 5.38 - Produção energética por mês do sistema fotovoltaico dimensionado para o Parque de Campismo do Forte do Cavalo (Construída a partir dos dados da tabela 14 do anexo IV)

Com base nos cálculos de dimensionamento, o sistema fotovoltaico tem capacidade para produzir 15224,73 kWh ao longo de um ano.

Através dos dados obtidos na análise dos consumos energéticos mensais e do dimensionamento do sistema fotovoltaico para o Parque de Campismo do Forte de Cavalo é possível calcular a autossuficiência do sistema fotovoltaico.

Tabela 5.16 - Autossuficiência do sistema fotovoltaico do Parque de Campismo do Forte do Cavalo (Obtida através dos dados da tabela 13 do anexo IV)

Ano	Mês	Consumo total (kWh)	Energia de autoconsumo (kWh)	Autossuficiência (%)
2022	Dezembro	6362	534,79	8,41
	Janeiro	11442	568,57	4,97
	Fevereiro	7287	809,63	11,11
	Março	6194	1195,63	19,30
	Abril	10216	1355,36	13,27
	Maio	7565	1899,30	25,11
	Junho	7960	2051,52	25,77
	Julho	11416	2053,17	17,99
	Agosto	12151	1844,29	15,18
	Setembro	8001	1332,13	16,65
	Outubro	11581	930,31	8,03
	Novembro	9830	552,55	5,62

Toda a energia produzida pelo sistema fotovoltaico é consumida, tendo um autoconsumo de 100%, menos para os meses de março e de outubro onde o autoconsumo é de 99,62% e 99,59%, respetivamente, estando estes dados e respetivos cálculos nas Tabelas 23 e 24 do anexo IV. A autossuficiência dos painéis fotovoltaicos é um parâmetro que varia diariamente de acordo com a radiação solar e temperatura ambiente do local, sendo que mensalmente a autossuficiência está especificada na Tabela 5.16.

A comparação entre o potencial de produção e consumos energéticos está exemplificada na Figura 5.39 e na Figura 5.40 para os meses de março e agosto de 2023.

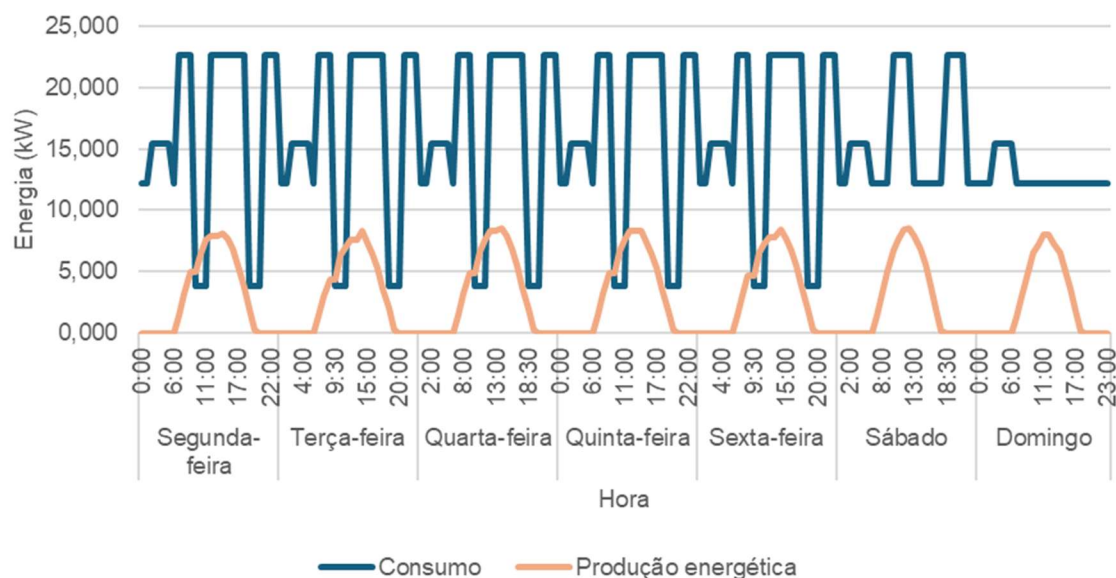


Figura 5.39 - Diagrama de carga diário de comparação entre o potencial de produção e consumo energéticos do Parque de Campismo do Forte do Cavallo para março de 2023 (Obtido através dos dados da tabela 22 do anexo IV)

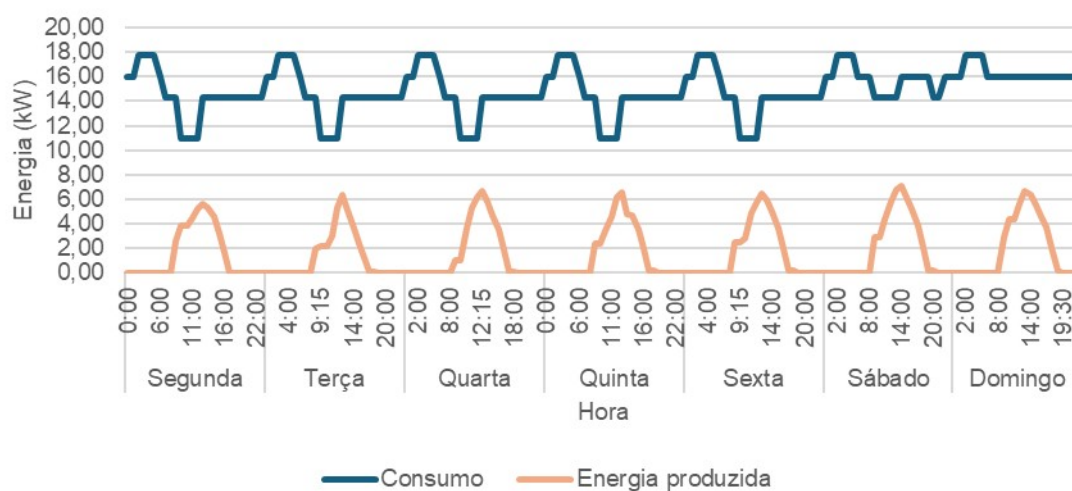


Figura 5.40 - Diagrama de carga diário de comparação entre o potencial de produção e consumo energéticos do Parque de Campismo do Forte do Cavallo para agosto de 2023 (Obtido através dos dados da tabela 21 do anexo IV)

5.5.4 Pegada de Carbono

Considerando os consumos energéticos do Parque de Campismo do Forte do Cavalo os dados relacionados com a emissão de CO₂ podem ser observados na Tabela 5.17.

*Tabela 5.17 - Dados da energia convencional consumida e pegada de carbono respetiva do Parque de Campismo do Forte do Cavalo de dezembro de 2022 a novembro de 2023
Obtida através dos dados da tabela 15 do anexo IV*

Ano	Mês	Consumo energético total (kWh)	CO ₂ emitido (kg CO ₂ eq.)
2022	Dezembro	6362	998,834
	Janeiro	11442	1796,394
	Fevereiro	7287	1144,059
	Março	6194	972,458
	Abril	10216	1603,912
	Maio	7565	1187,705
2023	Junho	7960	1249,72
	Julho	11416	1792,312
	Agosto	12151	1907,707
	Setembro	8001	1256,157
	Outubro	11581	1818,217
	Novembro	9830	1543,31

Através dos dados da Tabela 5.17 é possível observar que os consumos energéticos do Parque provocaram uma emissão de 17270,785 kg de CO₂ entre dezembro de 2022 e novembro de 2023.

Através dos dados da energia produzida pelos painéis fotovoltaicos e considerando o fator de emissão de CO₂ para os painéis fotovoltaicos é possível estimar a pegada de carbono do sistema fotovoltaico, como é possível observar na Tabela 5.18.

*Tabela 5.18 - Pegada de carbono do sistema fotovoltaico do Parque de Campismo do Forte do Cavalo
(Obtida através dos dados da tabela 16 do anexo IV)*

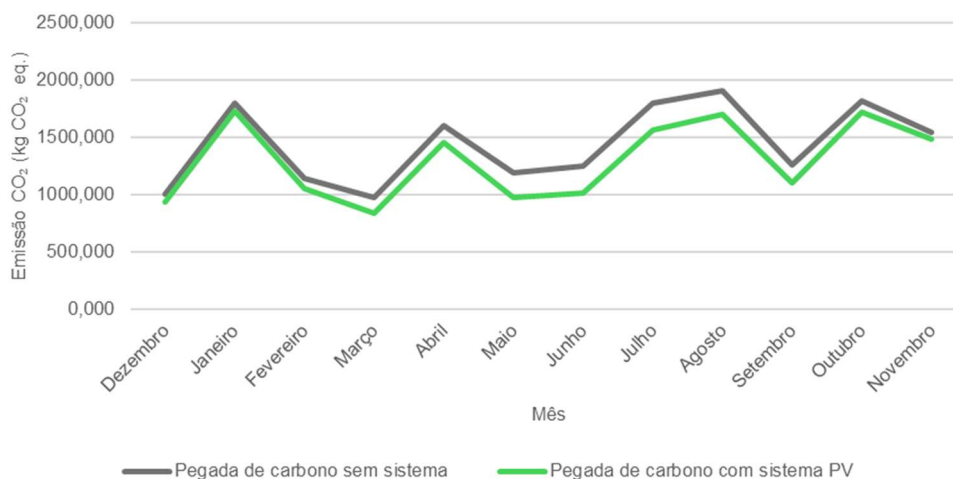
Mês	Energia produzida (kWh)	Fator de emissão (kg CO ₂ eq./kWh)	Pegada de carbono (kg CO ₂ eq.)
Janeiro	568,57	0.043	24,45
Fevereiro	809,63		34,81
Março	1241,64		53,39
Abril	1355,36		58,28
Maio	1899,30		81,67
Junho	2051,52		88,22
Julho	2053,17		88,29
Agosto	1844,29		79,30
Setembro	1332,13		57,28
Outubro	981,80		42,22
Novembro	552,55		23,76
Dezembro	534,79		23,00

O sistema fotovoltaico irá ser responsável pela emissão de 654,66 kg de CO₂ por ano. Através destes dados foi possível comparar a pegada de carbono do Mercado Municipal da Quinta do Conde sem sistema fotovoltaico e com sistema fotovoltaico. Estes dados estão apresentados na Tabela 5.19.

*Tabela 5.19 - Comparação da pegada de carbono do Parque de Campismo do Forte do Cavallo sem sistema fotovoltaico e com sistemas fotovoltaico
Obtida através dos dados da tabela 15 e da tabela 17 do anexo IV*

Ano	Mês	Pegada de carbono sem sistema (kg CO ₂ eq.)	Pegada de carbono total (kg CO ₂ eq.)
2022	Dezembro	998,834	937,868
	Janeiro	1796,394	1731,577
	Fevereiro	1144,059	1051,761
	Março	972,458	838,164
	Abril	1603,912	1449,402
2023	Maio	1187,705	971,185
	Junho	1249,720	1015,847
	Julho	1792,312	1558,250
	Agosto	1907,707	1697,458
	Setembro	1256,157	1104,294
	Outubro	1818,217	1714,431
	Novembro	1543,310	1480,320

É então possível construir o gráfico de comparação das respetivas pegadas carbónicas como ilustrado na Figura 5.41.



*Figura 5.41 - Comparação da pegada de carbono do Parque de Campismo do Forte do Cavallo sem sistema fotovoltaico e com sistemas fotovoltaico
(Obtida através dos dados da tabela 15 e da tabela 17 do anexo IV)*

Através do uso de sistemas fotovoltaicos é possível reduzir a pegada de carbono em 9,96% quando em comparação com a pegada de carbono energética do local sem o sistema fotovoltaico.

5.6 Avaliação de Impactos ambientais

5.6.1 Comparação dos impactos das centrais solares com os dos sistemas fotovoltaicos em locais urbanos

Clima

A descentralização da produção de energia, promovida pela instalação de sistemas fotovoltaicos em áreas urbanas, apresenta vantagens e desvantagens. Em relação ao clima, os sistemas instalados em zonas urbanizadas não geram impactos negativos significativos ao longo do seu ciclo de vida, uma vez que, tal como as grandes centrais em zonas rurais, não emitem poluentes durante a sua operação.

No entanto, nos impactos ambientais das centrais solares, observou-se um efeito direto no clima relacionado ao aumento da temperatura do ar ao redor da superfície dos painéis, que pode alcançar cerca de 2°C. Esse fenômeno também pode ocorrer em painéis solares instalados em áreas urbanas, uma vez que parte da energia absorvida pelos painéis é dissipada na forma de calor, tanto na superfície superior quanto na inferior, contribuindo para o chamado efeito albedo.

Um estudo realizado por Sailor et al. (2021) reviu a literatura sobre o impacto dos painéis fotovoltaicos na temperatura do ar em ambientes urbanos. A pesquisa concluiu que sistemas fotovoltaicos de grande escala em áreas urbanas podem causar um aumento da temperatura do ar ao redor dos painéis durante o dia, contudo, para determinar os valores concretos desse aumento e avaliar a sua significância, é essencial considerar fatores como a eficiência dos painéis fotovoltaicos bem como as características de instalação do sistema e a reflexão solar das superfícies em que os painéis estão instalados (Sailor, Anand, & King, 2021).

A descentralização energética gera ainda impactos positivos e indiretos no clima e na qualidade do ar, ao contribuir para a redução das emissões de GEE associadas à produção de energia convencional. No entanto, devido à limitada disponibilidade de espaço em áreas urbanas para a instalação de sistemas fotovoltaicos, o impacto na redução das emissões de GEE é relativamente limitado em comparação com as reduções alcançadas por grandes centrais solares.

Qualidade do ar

A instalação de sistemas fotovoltaicos em zonas urbanas não necessita de atividades relacionados com preparação de terreno uma vez que os locais de instalação, como coberturas de edifícios ou espaços já pavimentados, não exigem muitas vezes preparação prévia. Não há necessidade de remoção de vegetação ou terraplenagem, e, conseqüentemente, a emissão de poeiras e partículas para o ar é praticamente inexistente. As atividades de construção, neste caso, envolvem principalmente a montagem dos painéis e a instalação de equipamentos elétricos, o que reduz significativamente os impactos ambientais negativos relacionados com a qualidade do ar.

Ainda que em áreas urbanas seja necessário o uso de veículos para o transporte de materiais e de equipas de trabalho, as emissões associadas a essas atividades são significativamente menores e de curta duração. A emissão de gases de efeito estufa durante a instalação de sistemas fotovoltaicos em zonas urbanas são temporárias e limitadas ao período de construção. Além disso, em muitos casos, esses veículos operam em áreas já servidas por infraestruturas, o que reduz a necessidade de tráfego adicional, ao contrário do que ocorre nas áreas rurais, onde são muitas vezes criadas vias de acesso.

Assim, do ponto de vista da qualidade do ar, a descentralização da produção de energia nas áreas urbanas apresenta vantagens claras em comparação com as centrais solares em áreas rurais. A menor necessidade de alterações no terreno, a quase inexistente emissão de poeiras e a redução das emissões de gases poluentes associadas à instalação tornam este modelo mais favorável para a preservação da qualidade do ar.

Biodiversidade

Em comparação com as centrais solares, os sistemas fotovoltaicos em zonas urbanas têm impactos bastante mais limitados na biodiversidade local. Como estes são instalados em locais já alterados previamente a construção de sistemas fotovoltaicos em telhados ou outras infraestruturas urbanas não exige a remoção de habitats naturais ou a destruição significativa de vegetação. Os impactos mais relevantes que podem ocorrer são observados durante as fases de construção e desativação, especialmente em relação às espécies de aves que podem habitar nas proximidades. A movimentação e o ruído associados à instalação e ao desmantelamento podem afastar temporariamente as aves da área, mas esses efeitos são geralmente de curta duração e pouco significativos em termos da biodiversidade local.

Assim, em termos de conservação da biodiversidade, os sistemas fotovoltaicos em zonas urbanas apresentam uma clara vantagem em comparação com as centrais solares rurais. A ausência de grandes intervenções nos ecossistemas naturais e a

limitação dos impactos a fases curtas e temporárias de construção e desativação tornam este modelo muito mais sustentável do ponto de vista ecológico. Enquanto as centrais solares em áreas rurais podem causar danos mais profundos e duradouros à biodiversidade local, a descentralização em áreas urbanizadas oferece uma solução mais amigável para o ambiente, com impactos mínimos sobre a fauna e flora.

Recursos hídricos

A instalação de sistemas fotovoltaicos em áreas urbanas tem impactos muito menores, ou mesmo inexistentes, sobre os recursos hídricos. Nessas áreas, o solo já é predominantemente impermeável devido à presença de construções e infraestruturas, o que significa que a infiltração de água no solo não apresenta uma preocupação significativa. Embora possa haver derrames de substâncias químicas durante a instalação e desativação, o risco de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos é praticamente inexistente, uma vez que esses locais geralmente possuem sistemas de drenagem e impermeabilização eficazes. Além disso, os derrames podem ser facilmente mitigados através de boas práticas de manuseio e gestão de resíduos pelas equipas de trabalho, garantindo que esses materiais não causem poluição.

Assim, do ponto de vista dos recursos hídricos, os sistemas fotovoltaicos instalados em zonas urbanas representam uma solução mais sustentável, uma vez que os riscos de poluição e de impactos no ciclo hidrológico são significativamente menores do que nas centrais solares instaladas em áreas rurais. As intervenções necessárias para preparar o solo em áreas rurais têm um impacto direto nos ecossistemas e nos recursos hídricos, enquanto nas áreas urbanas, esses impactos são praticamente inexistentes, devido à natureza já modificada do ambiente.

Geologia e geomorfologia

A instalação de sistemas fotovoltaicos em áreas urbanas, como telhados de edifícios, estacionamento ou terrenos já urbanizados, praticamente elimina os impactos sobre a morfologia e a geologia dos solos. Nestas áreas, o solo já foi alterado significativamente em fases anteriores de urbanização e desenvolvimento, como a construção de edifícios e infraestruturas. Consequentemente, a instalação de painéis solares em locais urbanos não requer atividades de preparação do terreno que possam alterar a morfologia natural, uma vez que estes impactos já ocorreram devido a outros usos. Isso elimina os riscos associados à erosão, compactação e modificação da estrutura do solo, tornando os sistemas fotovoltaicos urbanos uma opção mais sustentável em termos de impactos geomorfológicos. O ambiente urbano oferece uma vantagem clara nesse sentido, ao minimizar os impactos negativos sobre o solo e o terreno em comparação com as centrais solares instaladas em áreas rurais.

Solo e uso do solo

A instalação de sistemas fotovoltaicos em áreas urbanizadas apresenta uma alternativa mais sustentável, mitigando os impactos relacionados ao uso do solo. Em vez de ocupar grandes extensões de terra em áreas rurais, os painéis solares podem ser instalados em telhados de edifícios, estacionamentos ou outros terrenos já urbanizados. Este tipo de intervenção elimina a necessidade de modificar solos férteis ou ecologicamente importantes, aproveitando espaços subutilizados nas áreas urbanas. Além disso, a instalação de sistemas fotovoltaicos em áreas urbanizadas pode contribuir para uma utilização mais eficiente do espaço, sem prejudicar a produtividade agrícola ou a integridade dos ecossistemas naturais.

Ao adotar essa abordagem, os impactos ambientais negativos relacionados com o uso do solo em zonas rurais podem ser evitados. A instalação de painéis solares em áreas urbanas não interfere com o uso agrícola ou ecológico do solo, permitindo que essas áreas continuem a ser utilizadas para atividades sustentáveis, como agricultura, apicultura ou conservação da biodiversidade. Dessa forma, os sistemas fotovoltaicos urbanos oferecem uma solução dupla: promovem a produção de energia limpa enquanto preservam o uso sustentável do solo em áreas rurais, mantendo a integridade dos ecossistemas e a produtividade agrícola local.

Património cultural

A instalação de sistemas fotovoltaicos em áreas urbanizadas oferece uma vantagem clara no que diz respeito à preservação do património cultural. Nessas áreas, os impactos sobre o património são mínimos ou inexistentes, pois os locais de instalação, como telhados de edifícios ou terrenos já urbanizados, não envolvem intervenções diretas em áreas sensíveis do ponto de vista cultural. As zonas urbanas já foram amplamente desenvolvidas, e a instalação de painéis solares não requer modificações significativas que possam interferir com elementos arquitetónicos ou arqueológicos. Além disso, em muitas áreas urbanas, o património cultural já foi protegido ou documentado, garantindo que as novas instalações não prejudiquem o seu valor histórico.

Essa abordagem garante que a preservação do património cultural seja compatível com o avanço das energias renováveis, oferecendo uma solução equilibrada entre a proteção dos elementos históricos e o desenvolvimento sustentável das cidades.

Paisagem

A descentralização da produção de energia, com a instalação de sistemas fotovoltaicos em locais urbanos, apresenta uma alternativa com impactos significativamente menores sobre a paisagem. Em ambientes urbanos, a presença de painéis solares não representa uma alteração substancial, uma vez que essas áreas já estão altamente modificadas e desenvolvidas pela infraestrutura urbana existente, como edifícios, estradas e outros elementos construídos. Assim, a instalação de sistemas fotovoltaicos em telhados ou parques de estacionamento não altera de forma significativa o aspeto visual do espaço urbano. Pelo contrário, pode até ser visto como uma valorização desse espaço, uma vez que a integração de tecnologia de energia limpa e sustentável contribui para um uso mais eficiente e ecológico do ambiente construído.

Além disso, em áreas urbanas, os impactos visuais ou paisagísticos tendem a ser mínimos, já que a densidade de infraestruturas existentes faz com que a adição de painéis solares passe quase despercebida no contexto geral. Esta abordagem pode ser encarada como uma solução eficaz e harmoniosa para a produção de energia renovável em locais que não interferem com a estética natural ou cultural da paisagem, permitindo, ao mesmo tempo, que se faça um uso mais sustentável do espaço disponível sem causar danos às áreas rurais ou naturais.

Fatores socioeconómicos

A instalação de sistemas fotovoltaicos em áreas urbanas não provoca impactos significativos na criação de empregos durante a fase de construção, pois, sendo projetos de pequena dimensão, não necessitam de grande mão-de-obra. No entanto, pode haver algum transtorno local para os residentes ou, no caso de instalações em estabelecimentos comerciais e públicos, para os seus utilizadores, devido ao aumento do tráfego ou a restrições de acesso durante a obra. No caso de parques de estacionamento, o acesso pode ser condicionado durante o período de instalação dos sistemas fotovoltaicos.

Na fase de exploração, os impactos são positivos, uma vez que a produção de energia renovável em áreas urbanas contribui para o cumprimento das metas do Plano Nacional de Energia e Clima. Adicionalmente, no caso de parques de estacionamento cobertos por sistemas fotovoltaicos, os utilizadores beneficiam do sombreamento proporcionado pelas estruturas.

Ambiente sonoro

Quando se trata da instalação de sistemas fotovoltaicos em zonas urbanas, o impacto sonoro é pouco significativo. As zonas urbanas já estão habituadas a níveis mais elevados de ruído, devido à circulação de veículos, atividades industriais ou comerciais, e outros fatores associados à vida urbana. As atividades de instalação dos painéis solares, embora gerem algum ruído, são menos disruptivas no contexto urbano, pois integram-se nos sons de fundo já existentes. Além disso, as atividades de instalação em ambientes urbanos tendem a ter uma duração mais curta e uma escala menor em comparação com a construção de centrais solares em zonas rurais, o que limita ainda mais o impacto.

No geral, o ruído gerado durante a instalação de sistemas fotovoltaicos em zonas urbanas é temporário e considerado de baixa magnitude. Sendo que nestes locais as comunidades já estão habituadas a níveis moderados de ruído, o impacto é avaliado como negativo, mas pouco significativo. Assim, a implementação de sistemas solares em áreas urbanas continua a ser uma alternativa vantajosa, não apenas em termos de sustentabilidade energética, mas também pela minimização dos impactos ambientais, incluindo o ambiente sonoro.

Gestão de resíduos

A instalação de sistemas fotovoltaicos em áreas urbanas, a geração de resíduos é consideravelmente menor quando comparada com a de uma central solar em áreas rurais. Durante a fase de construção, os resíduos sólidos gerados, como plásticos, embalagens e sobras de materiais de instalação, são limitados, e a sua gestão recai sobre as equipas de trabalho responsáveis. Estes resíduos devem ser segregados e encaminhados para reciclagem ou disposição adequada, conforme as regulamentações ambientais locais.

O risco de geração de resíduos líquidos, como óleos ou solventes, também pode existir embora seja significativamente menor em áreas urbanas devido à menor escala das operações. Com a implementação de medidas de prevenção adequadas os riscos de contaminação são minimizados.

Uma das principais vantagens dos sistemas fotovoltaicos em áreas urbanas é a sua integração em estruturas já existentes, como telhados, fachadas de edifícios, e estacionamento. Estas soluções reduzem significativamente a necessidade de intervenções no solo e minimizam a geração de resíduos associada à preparação de terrenos. Além disso, a manutenção necessária durante a fase de exploração é mínima, limitando a produção de resíduos a pequenas peças substituídas ou reparadas nos equipamentos.

Durante a fase de desativação dos sistemas fotovoltaicos em áreas urbanas, a produção de resíduos também é reduzida. Tal como acontece nas centrais solares, o destino dos painéis solares no fim do seu ciclo de vida deve ser previamente planeado, de modo a garantir a sua reciclagem ou disposição adequada, respeitando as normas vigentes. No entanto, devido à menor dimensão destes projetos urbanos, os impactos são mais facilmente geridos e controlados.

Vantagens e desvantagens da implementação de sistemas fotovoltaicos em locais urbanos

Ao implementarmos sistemas fotovoltaicos em locais urbanos existem vantagens e desvantagens significativas que devem ser consideradas de modo a ser possível fazer uma transição energética eficiente e sustentável.

A principal desvantagem da descentralização energética é a limitação do potencial de produção de energia limpa uma vez que os espaços urbanos apresentam uma área disponível menor para instalação quando comparado com os terrenos rurais normalmente utilizados, restringindo assim a capacidade total de produção de energia. Para além disso, dependendo da localização da instalação dos sistemas fotovoltaicos, podem ser originadas perturbações temporárias no local urbano tais como o aumento do tráfego no local, ruído e possíveis restrições de acesso caso as instalações ocorram em edifícios comerciais, impactando assim a rotina dos utilizadores desses espaços público. Pode ainda existir um aumento na temperatura ao redor dos sistemas fotovoltaicos, caso estes possuam um número elevado de painéis solares, criando a possibilidade da existência de formação de ilhas de calor através do efeito albedo.

No entanto, as vantagens que a descentralização energética oferece a nível ambiental são extremamente significativas. A escolha de instalação de sistemas fotovoltaicos em locais urbanos permite-nos evitar a ocupação dos terrenos rurais preservando assim a biodiversidade local e evitando alterações nas paisagens verdes dos locais, solo e subsolo que precisariam de ser alterados, provocando impactos negativos, caso a instalação se desse em locais rurais, sendo que alguns destes impactos são por vezes duradouros. Para além do mais, a descentralização energética protege o património cultural dos locais e promove a sustentabilidade utilizando os espaços urbanos, como telhados ou parques de estacionamento, de forma eficiente e reduzindo a necessidade de novas construções e minimizando os impactos ambientais.

Conclusão

A análise comparativa dos impactos ambientais criados pelas centrais solares em relação à descentralização energética por meio da implementação de sistemas fotovoltaicos em zonas urbanas permite avaliar de forma abrangente os benefícios e desvantagens de ambas as abordagens.

Nas zonas rurais, a construção de centrais solares apresenta impactos ambientais significativos. As atividades de preparação do terreno e construção podem alterar a morfologia do solo e causar erosão, resultando na perda de fertilidade em terrenos que poderiam ser utilizados para a agricultura ou outras atividades após a desativação da central. Além disso, essas atividades frequentemente levam à remoção da vegetação e destruição de habitats, o que contribui para a perda de biodiversidade e pode provocar a contaminação de recursos hídricos devido a derrames de substâncias químicas. Em contrapartida, os sistemas fotovoltaicos instalados em áreas urbanas não impactam os solos nem seu uso, apresentando impactos muito reduzidos em relação à biodiversidade, qualidade do ar e recursos hídricos.

Em termos de fatores socioeconômicos, embora as centrais solares possam gerar empregos temporários na construção, também criam incômodos para os residentes locais, como ruído e aumento do tráfego. A instalação de sistemas fotovoltaicos em áreas urbanas, embora não gere uma quantidade significativa de empregos devido à sua menor escala, tende a causar menos perturbações na comunidade e não compete com o uso de terrenos agrícolas ou pecuários.

A descentralização da energia também permite a preservação do patrimônio cultural e das paisagens das regiões.

Embora os sistemas fotovoltaicos urbanos não consigam igualar a capacidade de produção energética das centrais solares rurais, estes oferecem uma solução mais sustentável a longo prazo e contribuem para uma redução significativa dos impactos ambientais. À medida que as cidades e suas infraestruturas evoluem e se tornam mais sustentáveis, com uma maior integração de energias renováveis, a diferença na capacidade de produção energética entre os dois tipos de instalações começará a diminuir, reduzindo a necessidade de ocupar solos rurais.

Em conclusão, a descentralização energética representa um avanço significativo na adoção de energias fotovoltaicas e renováveis, apoiando os objetivos de neutralidade carbônica e sustentabilidade para as futuras gerações. A transição em direção à descentralização energética é um passo crucial que, a longo prazo, terá um impacto significativo que será sentido por todos.

5.6.2 Matriz de impactos ambientais

A matriz de impactos ambientais foi construída de acordo com a metodologia do Subcapítulo 4.3 e está presente na Figura 5.42 bem como no anexo V.

Durante a fase de exploração, identifica-se um impacto positivo no clima, devido à redução das emissões de gases com efeito de estufa através da produção de energia limpa. Este impacto é indireto e significativo. É considerado significativo porque a produção de energia limpa diminui os GEE, embora a magnitude seja menor em comparação com outras fontes renováveis. O impacto é temporário, uma vez que cessará quando os sistemas atingirem o fim da sua vida útil. Este impacto também se aplica à qualidade do ar durante a fase de exploração. É identificado também um impacto negativo sendo este o aumento da temperatura do ar ao redor da superfície dos painéis solares, no entanto, não sendo possível quantificar o aumento e considerando que nas centrais solares de grande dimensão este aumento de temperatura ronda os 2°C, este impacto foi considerado como sendo pouco significativo, com baixa probabilidade uma vez que os sistemas fotovoltaicos têm uma dimensão reduzida, de magnitude reduzida e é temporário e reversível.

Relativamente à qualidade do ar, foram identificados dois impactos negativos durante as fases de construção e desativação dos sistemas fotovoltaicos em áreas urbanas. O primeiro impacto é a emissão de GEE provenientes do transporte de materiais e equipas de trabalho. Considerando o tráfego elevado habitual nas zonas urbanas, as emissões adicionais não deverão ter um impacto significativo na qualidade do ar. Este impacto é direto, pouco significativo, com elevada probabilidade, de magnitude reduzida e é temporário e reversível. Para mitigação, sugere-se a contratação de empresas "amigas do ambiente" que utilizem veículos híbridos ou elétricos.

O segundo impacto é a emissão de poeiras devido às atividades de instalação e remoção dos painéis e infraestruturas. O nível de poeiras depende do tipo de intervenção, sendo mínima em instalações em telhados, mas mais elevada em parques de estacionamento que requeiram perfurações no solo. No entanto, uma vez que os projetos de sistemas fotovoltaicos urbanos têm fases de construção e desativação mais curtas do que as grandes centrais solares, o impacto na qualidade do ar será direto, pouco significativo, com baixa probabilidade, de magnitude reduzida, e temporário e reversível após o término das atividades.

Para a biodiversidade, foi identificado um impacto nas fases de construção e desativação, devido ao afastamento temporário das aves que habitam nas proximidades da instalação dos sistemas fotovoltaicos, causado pelo ruído e perturbação no local. No entanto, as aves que habitam em áreas urbanas, como pombos e pardais, já estão

habitadas ao tráfego e às atividades de construção. Assim, embora o afastamento possa ocorrer, as aves tendem a deslocar-se para áreas próximas e retornar após o fim das atividades. Este impacto é considerado negativo, direto, pouco significativo, de probabilidade baixa e magnitude reduzida, sendo temporário e reversível.

De forma geral, a instalação de sistemas fotovoltaicos em áreas urbanas traz um impacto positivo para a conservação da biodiversidade local, pois não é necessário remover vegetação ou destruir habitats. Este impacto é considerado positivo, indireto e significativo.

Em relação aos recursos hídricos, foi identificado um impacto que pode ocorrer em qualquer fase do projeto, relacionado ao derrame de substâncias químicas que possam afetar os recursos hídricos superficiais. Embora as zonas urbanas não possuam recursos hídricos superficiais de grande relevância, um derrame em dias de chuva pode ser arrastado pela água, contaminando-a e poluindo os solos por onde passar. Este impacto é considerado negativo, direto, pouco significativo, com probabilidade baixa e magnitude reduzida, sendo temporário e reversível. Pode ser mitigado através da adoção de boas práticas pelas equipas de trabalho.

No que diz respeito ao uso do solo, a instalação de sistemas fotovoltaicos em áreas urbanas apresenta impactos positivos, uma vez que utiliza espaços já urbanizados, evitando danos ao solo causados por atividades de preparação de terras e preservando terrenos férteis que poderiam ser destinados à agricultura, pecuária, entre outros. Este impacto é considerado positivo, indireto e muito significativo.

Quanto à geologia e geomorfologia, os impactos também são positivos, já que a instalação dos sistemas não requer alterações na morfologia ou geologia do solo. Este impacto é igualmente considerado positivo, indireto e muito significativo.

No que se refere ao ambiente sonoro, o impacto causado pela instalação de sistemas fotovoltaicos em áreas urbanas afeta as fases de construção e desativação, devido ao ruído gerado pelas atividades associadas à instalação e remoção dos painéis e infraestruturas. No entanto, em áreas urbanas, os residentes já estão habituados a um certo nível de ruído, pelo que o impacto sonoro destas atividades não será muito significativo, especialmente considerando que a duração dessas fases é menor em comparação com centrais solares. Este impacto é considerado negativo, direto, pouco significativo, com probabilidade média e de magnitude reduzida, sendo temporário e reversível. Para mitigar este impacto, sugere-se garantir que as atividades de construção e desativação ocorram durante o dia, minimizando o incómodo para os residentes.

Relativamente à paisagem, durante as fases de construção e desativação pode haver uma perturbação estética do local devido às atividades nessas fases. No entanto, como a duração dessas atividades é significativamente menor do que em centrais solares e os habitantes urbanos já estão habituados a obras e outras intervenções que afetam a paisagem, este impacto é considerado negativo, direto, pouco significativo, com probabilidade baixa e de magnitude reduzida, sendo temporário e reversível. No geral, o impacto paisagístico é positivo, pois não há danos às paisagens naturais. Este impacto é considerado positivo, indireto e muito significativo. A instalação de sistemas fotovoltaicos em locais urbanos permite ainda a preservação do património cultural compatível com o avanço das energias renováveis sendo este impacto positivo, direto e significativo.

Relativamente à socioeconomia, foram identificados dois impactos nas fases de construção e exploração. Durante estas fases, podem ser criados postos de trabalho adicionais para as atividades relacionadas, mas, sendo estes projetos de pequena dimensão, a necessidade de contratação de mão-de-obra será limitada. Este impacto é considerado positivo, direto, pouco significativo, de probabilidade baixa e magnitude reduzida, sendo temporário e reversível.

O segundo impacto refere-se ao possível incômodo causado às pessoas que residem ou frequentam a área de instalação, devido às atividades de construção e ao aumento de ruído. No caso de instalação em parques de estacionamento, o acesso poderá ser limitado. Este impacto é considerado negativo, direto, significativo, com probabilidade média e magnitude reduzida, sendo temporário e reversível. Para mitigar este incômodo, uma medida seria assegurar que as atividades de construção e desativação ocorram durante o dia, minimizando o impacto na população. Durante a fase de exploração, os impactos na socioeconomia são positivos. A descentralização energética contribui para as metas estabelecidas no PNEC 2030, sendo este impacto considerado positivo, indireto, pouco significativo, de elevada probabilidade, mas de magnitude reduzida, temporário e reversível.

No caso da instalação de sistemas fotovoltaicos em parques de estacionamento, estes oferecem sombreamento para os utilizadores, o que é considerado um impacto positivo, direto, significativo, de elevada probabilidade e magnitude reduzida, temporário e reversível.

Tabela 5.20 - Matriz de Impactos ambientais (Obtida do anexo V)

Fatores ambientais	Fase	Critérios de avaliação								
		Impactos inerentes	Importância	Incidência	Significância	Probabilidade	Magnitude	Duração	Reversebilidade	Medidas de minimização
Clima	Geral	Aumento da temperatura do ar	Negativo	Direto	Pouco significativo	Baixa	Reduzida	Temporário	Reversível	Sem medidas a apresentar
	Exploração	Redução na emissão de gases de efeito de estufa para a atmosfera devido à produção de energia limpa	Positivo	Indireto	Significativo					Sem medidas a apresentar
Qualidade do ar	Construção	Emissões de gases de efeito de estufa para a atmosfera provenientes do transporte de materiais e das equipas de trabalho para o local	Negativo	Direto	Pouco significativo	Elevada	Reduzida	Temporário	Reversível	Escolher empresas verdes que utilizem veículos de transporte híbridos ou elétricos
	Desativação	Emissão de poeiras durante a instalação/desinstalação dos sistemas fotovoltaicos	Negativo	Direto	Pouco significativo	Baixa	Reduzida	Temporário	Reversível	Sem necessidade de medidas de mitigação
	Exploração	Redução na emissão de gases de efeito de estufa para a atmosfera devido à produção de energia limpa	Positivo	Indireto	Significativo					Sem medidas a apresentar
Biodiversidade	Construção	Afastamento temporário das aves que habitam nos locais ao redor da zona de instalação dos sistemas fotovoltaicos	Negativo	Direto	Pouco significativo	Baixa	Reduzida	Temporário	Reversível	Sem medidas a apresentar
	Desativação	Conservação da biodiversidade	Positivo	Indireto	Significativo					Sem medidas a apresentar
Recursos hídricos	Geral	Derrame de substâncias químicas que afetem os recursos hídricos superficiais	Negativo	Direto	Pouco significativo	Baixa	Reduzida	Temporário	Reversível	Adoção de boas práticas pelas equipas de trabalho
Solo e uso do solo	Geral	Aproveitamento de espaços urbanos para instalação de sistemas fotovoltaicos	Positivo	Indireto	Muito significativo					Sem medidas a apresentar

(continuação Tabela 5.20)

Fatores ambientais	Fase	Impactos inerentes	Critérios de avaliação							Medidas de minimização	
			Importância	Incidência	Significância	Probabilidade	Magnitude	Duração	Reversebilidade		
Geologia e geomorfologia	Construção	Atividades de instalação não requerer a alterações a nível do solo do local	Positivo	Indireto	Muito significativo						Sem medidas a apresentar
	Desativação										
Ambiente sonoro	Construção	Ruído sonoro associado às atividades de construção/desativação dos painéis fotovoltaicos e infraestruturas dos mesmos	Negativo	Direto	Pouco significativo	Média	Reduzida	Temporário	Reversível		Garantir que as atividades relacionadas com as fases de construção e desativação ocorram durante o dia
	Desativação										
Paisagem	Construção	Distúrbio estético do local	Negativo	Direto	Pouco significativo	Baixa	Reduzida	Temporário	Reversível		Sem medidas a apresentar
	Desativação										
Património cultural	Geral	Mitigação de danos à paisagem natural	Positivo	Indireto	Muito significativo						Sem medidas a apresentar
		Preservação do património cultural compatível com o avanço das energias renováveis	Positivo	Direto	Significativo						Sem medidas a apresentar
Socioeconomia	Construção	Criação de postos de trabalho para as atividades de instalação dos sistemas fotovoltaicos e respetivas infraestruturas	Positivo	Direto	Pouco significativo	Baixa	Reduzida	Temporário	Reversível		Sem medidas a apresentar
		Incómodo dos habitantes ou pessoas que frequentam o local devido às atividades de construção e aumento do ruído	Negativo	Direto	Significativo	Média	Reduzida	Temporário	Reversível		Garantir que as atividades relacionadas com as fases de construção e desativação ocorram durante o dia
	Desativação										
			Apoio no cumprimento das metas estabelecidas no PNEC 2030	Positivo	Indireto	Pouco significativo	Elevada	Reduzida	Temporário	Reversível	
Exploração	Sombreamento para os habitantes ou pessoas que frequentam o local de instalação no caso se serem criados parques de estacionamento com painéis fotovoltaicos	Positivo	Direto	Significativo	Elevada	Reduzida	Temporário	Reversível		Sem medidas a apresentar	

6. Conclusões e recomendações

Os sistemas fotovoltaicos instalados em áreas urbanas, tanto para uso doméstico quanto em espaços públicos ou comerciais, podem contribuir significativamente para a redução do consumo energético e dos custos operacionais. No entanto, para garantir que esses sistemas sejam eficientes, é fundamental avaliar cuidadosamente a viabilidade do local de instalação e realizar o correto dimensionamento dos sistemas.

Como observado, o dimensionamento adequado dos sistemas fotovoltaicos depende de fatores como a radiação solar e a temperatura ambiente do local de instalação, que influenciam diretamente o desempenho das células fotovoltaicas. Além disso, é essencial escolher de forma adequada os painéis solares e os demais componentes, garantindo que estejam adaptados às especificidades do local.

Para simplificar o processo de dimensionamento, foi utilizado o modelo de 1 díodo e 3 parâmetros, considerando apenas o tipo de painel solar e o inversor nos cálculos. Com essa abordagem, foi possível estimar o potencial energético dos sistemas fotovoltaicos nas áreas analisadas, no entanto é necessário referir que os valores obtidos através deste modelo não representam os valores reais que seriam obtidos através de sistemas fotovoltaicos, sendo estes valores superiores ao que seria esperado na realidade.

Foi possível observar que os locais escolhidos possuem infraestruturas com consumos energéticos elevados, e, embora não seja possível eliminar completamente esses consumos, a implementação dos sistemas fotovoltaicos pode contribuir positivamente para a redução dos custos energéticos e para a sustentabilidade dos edifícios. Além disso, a instalação de sistemas fotovoltaicos em locais urbanos representa uma importante estratégia para a descentralização da produção de energia uma vez que permite que os locais escolhidos produzam parte da sua própria energia reduzindo a dependência da rede elétrica centralizada. Portanto, a descentralização através da adoção de sistemas fotovoltaicos não só contribui para a sustentabilidade local, mas também reforça a eficiência do sistema elétrico, alinhando-se com os objetivos de transição energética estabelecidos no PNEC 2030. Ao implementar esses sistemas em espaços urbanos, promove-se o acesso à energia renovável e incentiva-se o uso mais consciente e eficiente dos recursos energéticos.

Paras as emissões de GEE e pegada carbónica foi visto que a CMS e os locais seleccionados apresentam emissões significativas anuais, sendo que através da utilização de sistemas fotovoltaicos seria possível reduzir a pegada carbónica dos locais, e embora estas reduções isoladas não sejam substanciais quando comparadas à pegada total da CMS é importante reconhecer que representam um avanço significativo em direção à sustentabilidade energética e à neutralidade carbónica. Estes resultados

demonstram o impacto positivo da adoção de sistemas fotovoltaicos, mesmo que parcial em contexto urbano. É necessário ainda notar que o potencial de redução da pegada carbónica através da implementação de sistemas fotovoltaicos nestes três locais serve como um exemplo prático da aplicação de tecnologias de energia renovável em infraestruturas públicas, sendo que se este modelo fosse replicado para outros locais e infraestruturas da CMS a redução da pegada de carbono seria mais expressiva. Demonstrando ainda que o caminho para a sustentabilidade energética é progressivo, e cada passo dado, por menor que pareça, contribui para uma mudança significativa no combate às alterações climáticas.

No que toca aos impactos ambientais a descentralização energética através da instalação de sistemas fotovoltaicos em áreas urbanas, quando comparada com centrais solares em áreas rurais, apresenta impactos ambientais menos suscetíveis de prejudicar o meio ambiente e mais sustentáveis a longo prazo. Embora a descentralização energética não permita uma produção de energia limpa comparável à das centrais solares apresenta impactos ambientais positivos e significativos especialmente no que toca à proteção da biodiversidade e aos usos do solo e alterações geomorfológicas que advém da construção de grandes centrais solares, contribuindo diretamente para os objetivos do PNEC 2030 de forma sustentável e para os ODS da Agenda 2030, promovendo o uso de energias renováveis e a sustentabilidade em áreas urbanas, auxiliando na redução dos efeitos das alterações climáticas e na proteção da biodiversidade terrestre através da produção de energia em espaços urbanos ao invés do uso de terrenos rurais. Estes aspetos estão alinhados com os ODS 7 de Energias renováveis e acessíveis, ODS 11 Cidades e Comunidades Sustentáveis, ODS 13 Ação Climática e ODS 15 Proteger a vida Terrestre.

Embora a escolha de utilizar sistemas fotovoltaicos em locais urbanos crie uma cadência na produção energética e não crie benefícios socioeconómicos em grande escala, comparativamente com a capacidade de produção das centrais solares, não cria impactos diretos na biodiversidade do local nem necessita de alterar o solo o que representam benefícios muito importantes nos dias de hoje, e caso mais organizações decidam adotar estes sistemas a produção de energia renovável representa um grande potencial de crescimento e diminui a necessidade de construção das centrais solares em locais urbanos. Reforçando ainda o facto de que a descentralização energética fortalece a sustentabilidade em contextos urbanos, evidenciando uma escolha vantajosa para a promoção de um futuro mais sustentável.

Por fim, é possível concluir que a energia solar representa uma tecnologia com um imenso potencial em Portugal, e a descentralização energética, por meio da adoção de sistemas fotovoltaicos em áreas urbanas, é um fator crucial para alcançar as metas

nacionais estabelecidas para a produção de energias renováveis e para a sustentabilidade energética. Com a crescente preocupação em relação às alterações climáticas e à necessidade de reduzir as emissões de carbono, a transição para fontes de energia renovável torna-se imprescindível.

Esta dissertação de mestrado permitiu uma análise mais simplificada do comportamento dos sistemas fotovoltaicos em contextos urbanos, além de avaliar o impacto direto que esses sistemas podem ter na redução da pegada carbónica associada a infraestruturas de dimensões consideráveis. Embora os resultados apresentados não revelem valores extremamente promissores, demonstram um potencial positivo para a redução da pegada de carbono em áreas urbanas.

Os benefícios da descentralização começarão a ser mais pronunciados à medida que as tecnologias fotovoltaicas evoluem e sua eficiência aumenta. O progresso tecnológico pode permitir que uma quantidade maior de energia seja produzida em áreas menores, tornando a energia solar uma opção viável e eficaz para atender à necessidade energética das infraestruturas. Quando alcançarmos níveis mais elevados de eficiência, poderemos maximizar a produção de energia, mesmo em espaços limitados, o que reforçará ainda mais a viabilidade da energia solar como um pilar fundamental para a sustentabilidade urbana.

Como tal, uma possível recomendação à CMS seria a instalação de sistemas fotovoltaicos nos edifícios das escolas públicas do Município.

A CMS apresenta na sua rede pública a presença de 18 estabelecimentos de ensino que vão desde o ensino básico ao ensino secundário dos estudantes da região (Câmara Municipal de Sesimbra, s.d.) sendo que em 2022 e em 2023 estas apresentaram um consumo total de aproximadamente 671 MWh estando estes dados apresentados na Tabela 6 do anexo I.

Os edifícios escolares têm tipicamente telhados com grandes áreas que podem representar locais ideais para a instalação de sistemas fotovoltaicos. A instalação de painéis solares nestes telhados teria o potencial de reduzir significativamente o consumo de energia da rede pública e a pegada de carbono das escolas. Uma iniciativa deste tipo contribuiria ainda diretamente para a descentralização da energia, aproveitando o espaço disponível para a produção de energia renovável, respondendo a um dos principais desafios do planeamento energético urbano, o espaço de instalação limitado para sistemas de grande escala.

Além disso, esta abordagem apresenta um impacto educativo. Ao incorporar infraestruturas de energia renovável nas escolas, os estudantes teriam a oportunidade de ter contacto direto com práticas sustentáveis e não só poderiam observar os

benefícios diretos da adoção de energias renováveis como também compreenderiam o seu papel no combate às alterações climáticas. Esta experiência de aprendizagem prática promoveria a consciencialização ambiental e encorajaria os alunos a pensar de forma crítica sobre a importância da transição para fontes de energia mais limpas onde a sua implementação pode ser feita de forma eficiente em relação ao espaço que as mesmas ocupam.

Para promover ainda mais a consciencialização ambiental, as escolas poderiam ainda doar aos alunos do ensino secundário mochilas com painéis solares incorporados o que permitiria aos estudantes carregar os seus aparelhos eletrónicos ao ar livre, reduzindo a necessidade de utilizar a eletricidade convencional durante o dia. Esta iniciativa encorajaria ainda os estudantes a passar mais tempo ao ar livre, promovendo a interação social em ambientes naturais e reforçando simultaneamente os benefícios das energias renováveis na vida quotidiana.

Ao implementar estas medidas, a CMS não só reduziria as suas emissões de carbono, como também desempenharia um papel fundamental na educação e inspiração das gerações futuras para abraçarem a sustentabilidade. Este duplo benefício torna a instalação de sistemas fotovoltaicos e a distribuição de mochilas com energia solar integrada uma estratégia de impacto positivo e significativo com uma visão de para o futuro da utilização em grande escala das fontes de energia mais limpas.

Referências

- Adeeb , J., Farhan , A., & Al-Salaymeh, A. (2019). Temperature Effect on Performance of Different Solar Cell Technologies. *Journal of Ecological Engineering*, 20(5). doi: 10.12911/22998993/105543
- Alternative Energy Tutorials. (n.d.). *Solar Irradiance and Solar Irradiation*. Consultado a 15 de junho, 2024. Retirado de Alternative Energy Tutorials: <https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-power/solar-irradiance.html>
- Alternative Energy Tutorials. (s.d.). *Solar Irradiance and Solar Irradiation*. Consultado a 15 de julho de 2024. Retirado de Alternative Energy Tutorials: <https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-power/solar-irradiance.html>
- APA. (2018). *Definição e metodologia do estudo de impacte ambiental*. Agência Portuguesa do Ambiente.
- APA. (2024). *Fator da emissão de eletricidade 2024 Portugal*. Amadora: APA.
- APA. (2024). *Relatório do Estado do Ambiente 2022/2023*. Agência Portuguesa do Ambiente. Consultado a 12 de julho de 2024. Retirado de: <https://rea.apambiente.pt/content/ultimaedicao?language=pt-pt>
- Bošnjakovic, M., Santa, R., Crnac, Z., & Bošnjakovic, T. (2023). Environmental Impact of PV Power Systems. *Sustainability*, 15(15). doi: 10.3390/su151511888
- Boyle, G. (2004). *Renewable Energy: Power for a Sustainable Future* (2ª edição ed.). Oxford: Oxford University Press. Consultado a 9 de setembro de 2024
- Câmara Municipal de Sesimbra. (n.d.). *Rede Pública*. Consultado a 9 de setembro de 2024. Retirado de CM Sesimbra: <https://www.sesimbra.pt/contactos/rede-escolar/rede-publica>
- Castro, R. (2011). *Uma introdução às Energias Renováveis: Eólica, Fotovoltaica e Mini-Hídrica*. IST PRESS. ISBN: 9789898481016
- Chowdhury, M. S., Rahman, K., Chowdhury, T., Nuthammachot, N., Techato, K., M. A., . . . Ami, N. (2020). An overview of solar photovoltaic panels' end-of-life material recycling. *Energy Strategy Reviews*, 27. doi: 10.1016/j.esr.2019.100431
- DGEG. (2024). *Energia em números, edição 2024*. Consultado a 10 de agosto de 2024. Retirado de Direção-Geral de Energia e Geologia: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/destaques/energia-em-numeros-edicao-2024/>
- Diário da República. (2013). Decreto-Lei n.º 151-B/2013, de 31 de outubro. *Diário da República*, n.º 211/2013(2º Suplemento, Série I de 2013-10-31), 6 - 31.

- Diário da República. (n.d.). *Acordo de Paris*. Consultado a 15 de julho, 2024. Retirado de Diário da República: <https://diariodarepublica.pt/dr/lexionario/termo/acordo-paris>
- EERE. (n.d.). *Solar Integration: Inverters and Grid Services Basics*. Consultado a 10 de agosto de 2024. Retirado de Office of Energy Efficiency and Renewable Energy: <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-integration-inverters-and-grid-services-basics>
- ePortugal. (n.d.). *Câmara Municipal de Sesimbra*. Consultado a 20 de agosto de 2024. Retirado de ePortugal: <https://eportugal.gov.pt/entidades/camara-municipal-de-sesimbra>
- European Commission. (2022). *Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions, EU Solar Energy Strategy*. Bruxelas: European Commission.
- Gómez-Catasús, J., Morales, M., Giralt, D., Portillo, D., Manzano-Rubio, R., Solé-Bujalance, L., Bota, G. (2024). Solar photovoltaic energy development and biodiversity conservation: Current knowledge and research gaps. *Conservation Letters*, 17(4). doi: 10.1111/conl.13025
- Greenplan. (2018). *Central Solar do Folar - Estudo de incidências ambientais*. Participa.
- IEA. (2022). *Total CO2 emissions*. Consultado a 1 de julho, 2024. Retirado de International Energy Agency: <https://www.iea.org/regions/europe/emissions>
- International Energy Agency. (2022). *Solar PV Global Supply Chains*. Paris: IEA.
- Lei n.º 19/2014. (2014). Lei n.º 19/2014, de 14 de abril. *Diário da República*, n.º 73/2014(Série I de 2014-04-14). Consultado a 20 de junho de 2024. Retirado de: <https://diariodarepublica.pt/dr/legislacao-consolidada/lei/2014-107758109>
- Leow, W., Irwan, Y., Irwanto, M., & Amelia, A. (2019). Influence of wind speed on the performance of photovoltaic. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 5(1), 60-68. doi: 10.11591/ijeecs.v15.i1.pp62-70
- LUSA. (2024). *Emissões de gases na produção de energia em Portugal caem para níveis recorde em 2023*. Consultado a 23 de julho de 2024. Retirado de Observador: <https://observador.pt/2024/01/09/emissoes-de-gases-na-producao-de-energia-em-portugal-caem-para-niveis-recorde-em-2023/>

- Maradin, D. (2021). Advantages and Disadvantages of Renewable Energy Sources. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 11(3), 176-183. doi: 10.32479/ijeep.11027
- Matos, Fonseca & Associados. (2018). *Estudo de Impacte ambiental da central fotovoltaica de Pinhal Novo 1*. Participa.
- Nações Unidas. (2015). Acordo de Paris. *Jornal Oficial da União Europeia*. Jornal Oficial da União Europeia.
- Noctula. (n.d.). *Desmantelamento e reciclagem de painéis solares fotovoltaicos – O que está a ser feito?* Consultado a 23 de agosto de 2024. Retirado de Noctula - Consultores em Ambiente: <https://noctula.pt/desmantelamento-e-reciclagem-de-paineis-solares-fotovoltaicos/>
- Panjwani, M., & Narejo, D. G. (2024). Effect of Humidity on the Efficiency of Solar Cell (photovoltaic). *International Journal of Engineering Research and General Science*, 2(4), 1-6. ISSN 2091-2730
- Parlamento Europeu. (2024). *Política ambiental: princípios gerais e quadro de base*. Consultado a 15 de julho de 2024. Retirado de European Parliament: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/pt/sheet/71/politica-ambiental-principios-gerais-e-quadro-de-base>
- PORDATA. (n.d.). *População residente (N.º) por Local de residência à data dos Censos [2021] (NUTS - 2013), Sexo, Grupo etário e Nível de escolaridade mais elevado completo*. Consultado a 20 de agosto, 2024. Retirado de PORDATA: <https://www.pordata.pt/pt>
- Prunier, Y., Chuet, D., Nicolay, S., Hamon, G., & Darnon, M. (2023). Optimization of photovoltaic panel tilt angle for short periods of time or multiple reorientations. *Energy Conversion and Management*: X, 20, 1-7. doi: 10.1016/j.ecmx.2023.100417
- REN. (2024). *Produção de energia renovável bate recorde em 2023*. Consultado a 10 de agosto de 2024. Retirado de Redes Energéticas Nacionais: <https://www.ren.pt/pt-pt/media/noticias/producao-de-energia-renovavel-bate-recorde-em-2023>
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020. (2020). Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020 da Presidência do Conselho de Ministros, de 10 de julho. *Diário da República*, n.º 133/2020(Série I de 2020-07-10), 2-158

- RNC 2050. (2019). *Roteiro*. Consultado a 24 de junho de 2024. Retirado de Agência Portuguesa do Ambiente: <https://descarbonizar2050.apambiente.pt/roteiro/>
- Sailor, D., Anand, J., & King, R. (2021). Photovoltaics in the built environment: A critical review. *Energy & Buildings*, 253. doi: 10.1016/j.enbuild.2021.111479
- Sesimbra A. (n.d.). *História*. Consultado a 20 de agosto de 2024. Retirado de Sesimbra: <https://www.sesimbra.pt/municipio/historia>
- Sesimbra B. (n.d.). *Beneficiação do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra*. Consultado a 4 de agosto de 2024. Retirado de Sesimbra: <https://www.sesimbra.pt/noticia-72/beneficiacao-do-parque-operacional-da-fonte-de-sesimbra>
- Sesimbra C. (n.d.). *Mercados Municipais*. Consultado a 28 de julho de 2024. Retirado de Sesimbra: <https://www.sesimbra.pt/investir/mercados-municipais>
- Sesimbra D. (n.d.). *Parque Municipal de Campismo Forte do Cavalo*. Consultado a 3 de agosto de 2024. Retirado de Sesimbra: <https://www.sesimbra.pt/turismo/parque-municipal-de-campismo-forte-do-cavalo>
- Shaik, F., Lingala, S. S., & Ve, P. (2023). *Effect of various parameters on the performance of solar PV power plant: a review and the experimental study*. Sustainable Energy Research. doi: 10.1186/s40807-023-00076-x
- SOLARIS Renewables. (2019). *What Is the Carbon Footprint of Solar Panel Manufacturing?* Consultado a 23 de julho de 2024. Retirado de SOLARIS Renewables: <https://solarisrenewables.com/blog/what-is-the-carbon-footprint-of-solar-panel-manufacturing/>
- Stevanović, S., Stevanović, S., & Živko, R. (2022). Advantages and disadvantages of solar energy production and use. *Journal of Agricultural, Food and Environmental Sciences*, 76(4), 65-70. doi: 10.55302/JAFES22764065s
- Tawalbeh, M., Al-Othma, A., Kafiah, F., Abdelsalam, E., Almomani, F., & Alkasrawi, M. (2021). Environmental impacts of solar photovoltaic systems: A critical review of recent progress and future outlook. *Science of the Total Environment*, 759. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.143528
- TPF Planege Cenor. (2018). *Estudo de incidências ambientais na Central Solar Fotovoltaica de Benavente 2*. Participa.
- União Europeia. (s.d.). *Política ambiental da União Europeia*. Consultado a 23 de junho de 2024. Retirado de EUR-Lex: <https://eur-lex.europa.eu/PT/legal-content/glossary/eu-environmental-policy.html>

- Vickerman, J. (2024). *Everything you need to know about photovoltaic systems*. Consultado a 22 de julho de 2024. Retirado de: RatedPower: <https://ratedpower.com/glossary/photovoltaic-system/>
- Visit Sesimbra. (s.d.). *Porquê Sesimbra?* Consultado a 20 de agosto de 2024. Retirado de: Visit Sesimbra: <https://www.sma-brasil.com/produtos/inversores-fotovoltaicos/sunny-tripower-core2>
- Wild-Scholten, M. d., Cassagne, V., & Huld, T. (2014). *Solar resources and carbon footprint of photovoltaic power in different regions in Europe*.
- Zhang, T., Wang, M., & Yang, H. (2018). A review of the energy performance and life-cycle assessment of building-integrated photovoltaic (BIPV) systems. *Energies*, 11(11), 1- 34. doi:10.3390/en11113157

Anexo I - Dados da Câmara Municipal de Sesimbra

Dados dos consumos de 2022 e de 2023

Para fins de análise, os dados completos estão disponíveis numa folha de cálculo maior, que contém mais de 10.000 linhas de informação. Devido ao volume elevado, nesta anexo serão apresentados apenas os dados referentes aos edifícios escolares para o mês de outubro em 2022 e 2023, como exemplo representativo.

Tabela 1						
Freguesia	Ano	Mês	Tipo de local de consumo (descrição)	Tipo de uso (descrição)	Nível de tensão	Consumo (kWh)
SESIMBRA (CASTELO)	2022	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTN	534
SESIMBRA (CASTELO)	2022	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTN	369
SESIMBRA (CASTELO)	2022	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTN	1142
SESIMBRA (CASTELO)	2022	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTN	443
SESIMBRA (CASTELO)	2022	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTN	1348
SESIMBRA (CASTELO)	2022	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTN	549
SESIMBRA (SANTIAGO)	2022	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTN	680
SESIMBRA (SANTIAGO)	2022	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTN	1418
SESIMBRA (SANTIAGO)	2022	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTN	1099
QUINTA DO CONDE	2022	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTN	1092
QUINTA DO CONDE	2022	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTE	6923
SESIMBRA (CASTELO)	2022	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTE	1976
QUINTA DO CONDE	2022	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTE	4655
SESIMBRA (CASTELO)	2022	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTE	2293
SESIMBRA (CASTELO)	2022	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTN	130
QUINTA DO CONDE	2022	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTE	1983
SESIMBRA (CASTELO)	2023	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTN	541
SESIMBRA (CASTELO)	2023	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTN	379
SESIMBRA (CASTELO)	2023	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTN	3935
SESIMBRA (CASTELO)	2023	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTN	100
SESIMBRA (CASTELO)	2023	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTN	718
SESIMBRA (CASTELO)	2023	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTN	272
SESIMBRA (SANTIAGO)	2023	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTN	739
SESIMBRA (SANTIAGO)	2023	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTN	694
SESIMBRA (SANTIAGO)	2023	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTN	501
QUINTA DO CONDE	2023	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTN	792
QUINTA DO CONDE	2023	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTE	6971
SESIMBRA (CASTELO)	2023	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTE	2053
QUINTA DO CONDE	2023	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTE	4230
SESIMBRA (CASTELO)	2023	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTE	2160
SESIMBRA (CASTELO)	2023	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTN	134
QUINTA DO CONDE	2023	Outubro	Edifício escolar	Consumo em edifícios do estado	BTE	1885

Anexo I - Dados da Câmara Municipal de Sesimbra

Análise dos consumos energéticos da Câmara Municipal de Sesimbra em 2022 e 2023

Tabela 2 - Consumos da Câmara		
Ano	Mês	Consumo (kWh)
2022	Janeiro	1152284
	Fevereiro	1046628
	Março	1013964
	Abril	994843
	Maiο	963030
	Junho	1027571
	Julho	1044129
	Agosto	1129181
	Setembro	1064445
	Outubro	1023861
	Novembro	966342
	Dezembro	949314
2023	Janeiro	935063
	Fevereiro	933327
	Março	928389
	Abril	920965
	Maiο	925588
	Junho	914631
	Julho	948207
	Agosto	1033206
	Setembro	1023817
	Outubro	647155
	Novembro	1199728
	Dezembro	905520

Tabela 3 - Consumos da Câmara		
Tipo de uso	Consumo anual (kWh)	
	2022	2023
Doméstico (normal)	1612	2992
Edifícios do estado	7551263	7905871
Iluminação de vias públicas	4813281	3403320
Não doméstico	9436	3413

Tabela 4 - Consumos edifícios de estado		
Edifício de Estado Local de uso	Consumo anual (kWh)	
	2022	2023
Outros	4474628	4937319
Iluminação Pública	4798710	3379446
Recinto p/ motor	995358	891636
Administração Pública	409844	432672
Local comercial	358959	352473
Serviço Público	348109	337846
Edifício escolar	327931	343003
Recinto de Espetáculos	244992	250368
Recinto Desportivo	236175	224778
Est. Trat. Águas Residuais	48700	17100
Outros consumos	132186	148955

Tabela 5 - Consumos da Iluminação Pública		
Iluminação de vias públicas Local de uso	Consumo anual (kWh)	
	2022	2023
Iluminação Pública	4798710	3379446
Administração Pública	11239	21093
Eventual	3332	2392
Outros	0	389

Anexo I - Dados da Câmara Municipal de Sesimbra

Análise dos consumos energéticos da Câmara Municipal de Sesimbra em 2022 e 2023

Ano	Mês	Consumo (kWh)
2022	Janeiro	29686
	Fevereiro	35254
	Março	42605
	Abril	36147
	Maio	27217
	Junho	25286
	Julho	21896
	Agosto	17023
	Setembro	9912
	Outubro	26634
	Novembro	27370
	Dezembro	28901
2023	Janeiro	31794
	Fevereiro	43141
	Março	49600
	Abril	29618
	Maio	21737
	Junho	26649
	Julho	24411
	Agosto	17253
	Setembro	13552
	Outubro	26104
	Novembro	28153
	Dezembro	30991

Análise da pegada de carbono

Ano	Mês	Consumo (MWh)	Fator de emissão de eletricidade (t CO2 eq./MWh)	CO2 emitido (t CO2 eq.)
2022	Janeiro	1152,28	0,157	180,91
	Fevereiro	1046,63		164,32
	Março	1013,96		159,19
	Abril	994,84		156,19
	Maio	963,03		151,20
	Junho	1027,57		161,33
	Julho	1044,13		163,93
	Agosto	1129,18		177,28
	Setembro	1064,45		167,12
	Outubro	1023,86		160,75
	Novembro	966,34		151,72
	Dezembro	949,31		149,04
2023	Janeiro	935,06		146,80
	Fevereiro	933,33		146,53
	Março	928,39		145,76
	Abril	920,97		144,59
	Maio	925,59		145,32
	Junho	914,63		143,60
	Julho	948,21		148,87
	Agosto	1033,21		162,21
	Setembro	1023,82		160,74
	Outubro	647,16		101,60
	Novembro	1199,73		188,36
	Dezembro	905,52		142,17

Anexo II - Dados do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra

Dados de temperatura e radiação solar da localização do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra

Ano	Mês	Radiação solar (kWh/m ²)	Temperatura (°C)
2020	Janeiro	125,78	13,9
	Fevereiro	152,44	14,3
	Março	190,45	13,9
	Abril	163,24	15
	Maio	197,5	17,8
	Junho	199,78	18,3
	Julho	212,19	19,8
	Agosto	213,59	19,8
	Setembro	188,29	19,6
	Outubro	173,18	17,2
	Novembro	116,36	16,1
	Dezembro	122,41	13,8

Para fins de análise, os dados completos estão disponíveis numa folha de cálculo maior. Devido ao volume elevado, nesta anexo serão apresentados apenas os dados referentes à radiação e temperatura do dia 1 de janeiro de 2020

Ano	Mês	Dia	Hora	Radiação solar (W/m ²)	Temperatura, T (°C)
2020	Janeiro	1	0:00	0	12,59
2020	Janeiro	1	1:00	0	12,45
2020	Janeiro	1	2:00	0	12,27
2020	Janeiro	1	3:00	0	11,96
2020	Janeiro	1	4:00	0	11,59
2020	Janeiro	1	5:00	0	11,19
2020	Janeiro	1	6:00	0	10,86
2020	Janeiro	1	7:00	0	10,54
2020	Janeiro	1	8:00	0	10,43
2020	Janeiro	1	9:00	121,94	10,21
2020	Janeiro	1	10:00	334,1	10,98
2020	Janeiro	1	11:00	461,9	11,25
2020	Janeiro	1	12:00	611,31	11,78
2020	Janeiro	1	13:00	756,88	12,45
2020	Janeiro	1	14:00	749,09	13,17
2020	Janeiro	1	15:00	668,2	13,49
2020	Janeiro	1	16:00	437,93	13,68
2020	Janeiro	1	17:00	0	13,6
2020	Janeiro	1	18:00	0	13,46
2020	Janeiro	1	19:00	0	13,47
2020	Janeiro	1	20:00	0	13,38
2020	Janeiro	1	21:00	0	13,41
2020	Janeiro	1	22:00	0	12,58
2020	Janeiro	1	23:00	0	12,12

Anexo II - Dados do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra

Consumos do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra de dezembro de 2022 a novembro de 2023

Tabela 3 - Dados dos consumos anuais						
Ano	Mês	Vazio Normal (kWh)	Super Vazio (kWh)	Ponta (kWh)	Cheias (kWh)	Energia ativa total (kWh)
2022	Dezembro	2479	1347	1821	3944	9591
2023	Janeiro	3638	1866	3122	6418	15044
	Fevereiro	3261	1788	2704	5718	13471
	Março	2927	1600	2296	4947	11770
	Abril	2338	1286	1622	3717	8963
	Maio	2173	1208	1563	3623	8567
	Junho	2118	1213	1425	3468	8224
	Julho	2324	1285	1599	3801	9009
	Agosto	2245	1192	1528	3436	8401
	Setembro	2152	1088	1682	3467	8389
	Outubro	2565	1305	1944	4119	9933
Novembro	2895	1537	2329	5096	11857	

Para fins de análise, os dados completos estão disponíveis numa folha de cálculo maior. Devido ao volume elevado, nesta anexo serão apresentados apenas os dados referentes aos consumos energéticos de janeiro de 2023 e de junho de 2023

Tabela 4 - Consumos energéticos por tipo em janeiro de 2023					
01.Jan.23 - 02.Jan.23					
Tipo de Energia	Consumo (kWh)	Horas por dia	Total de dias	Horas por período	Consumo médio por hora (kW)
Vazio Normal	134	6	2	12	11,16666667
Super Vazio	94	4		8	11,75
Ponta	82	4		8	10,25
Cheias	137	10		20	6,85
03.Jan.23 - 02.Fev.23					
Tipo de Energia	Consumo (kWh)	Horas por dia	Total de dias	Horas por período	Consumo médio por hora (kW)
Vazio Normal	3504	6	31	186	18,83870968
Super Vazio	1772	4		124	14,29032258
Ponta	3040	4		124	24,51612903
Cheias	6281	10		310	20,26129032

Tabela 5 - Ciclo de consumo médio horário em janeiro		
Ínicio	Tipo	Consumo médio (kW)
0:00	Vazio Normal	18,84
1:00	Vazio Normal	18,84
2:00	Super vazio	14,29
3:00	Super vazio	14,29
4:00	Super vazio	14,29
5:00	Super vazio	14,29
6:00	Vazio Normal	18,84
7:00	Vazio Normal	18,84
8:00	Cheias	20,26
9:00	Ponta	24,52
10:00	Ponta	24,52
10:30	Cheias	20,26
11:00	Cheias	20,26
12:00	Cheias	20,26
13:00	Cheias	20,26
14:00	Cheias	20,26
15:00	Cheias	20,26
16:00	Cheias	20,26
17:00	Cheias	20,26
18:00	Ponta	24,52
19:00	Ponta	24,52
20:00	Ponta	24,52
20:30	Cheias	20,26
21:00	Cheias	20,26
22:00	Vazio Normal	18,84
23:00	Vazio Normal	18,84

Anexo II - Dados do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra

Tabela 6 - Consumos energéticos por tipo em junho de 2023					
03.Jun.23 - 02.Jul.23					
Tipo de Energia	Consumo (kWh)	Horas por dia	Total de dias	Horas por período	Consumo médio por hora (kW)
Vazio Normal	2118	6	30	180	11,77
Super Vazio	1213	4		120	10,11
Ponta	1425	4		120	11,88
Cheias	3468	10		300	11,56

Tabela 7 - Ciclo de consumos médios horários em junho		
Íncio	Tipo	Consumo médio (kW)
0:00	Vazio Normal	11,77
1:00	Vazio Normal	11,77
2:00	Super vazio	10,11
3:00	Super vazio	10,11
4:00	Super vazio	10,11
5:00	Super vazio	10,11
6:00	Vazio Normal	11,77
7:00	Vazio Normal	11,77
8:00	Cheias	11,56
9:00	Cheias	11,56
10:00	Cheias	11,56
10:30	Ponta	11,88
11:00	Ponta	11,88
12:00	Ponta	11,88
13:00	Cheias	11,56
14:00	Cheias	11,56
15:00	Cheias	11,56
16:00	Cheias	11,56
17:00	Cheias	11,56
18:00	Cheias	11,56
19:00	Cheias	11,56
19:30	Ponta	11,88
20:00	Ponta	11,88
21:00	Cheias	11,56
22:00	Vazio Normal	11,77
23:00	Vazio Normal	11,77

Dimensionamento do sistema fotovoltaico

Tabela 8 - Parâmetros constantes	
Dados	Valor
Quantidade de painéis	26
Painéis em série	14
Carga elétrica do eletrão [C]	1,6E-19
Constante de Boltzman [J/K]	1,38E-23
Temperatura de referência (STC) [K]	300,13
Potencial térmico para condições STC [V]	0,025886213
Fator de idealidade do díodo	104,7121549
Fator de idealidade equivalente	4,363006454
Corrente inversa máxima de saturação [A]	1,2981E-07
Rendimento do sistema	0,97416

Anexo II - Dados do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra

Para fins de análise, os dados completos estão disponíveis numa folha de cálculo maior. Devido ao volume elevado, nesta anexo serão apresentados apenas os dados referentes ao potencial de produção energética do sistema fotovoltaico no dia 1 de janeiro de 2020

Tabela 9 - Dimensionamento do sistema fotovoltaico																
Ano	Mês	Dia	Hora	Irradiância (W/m ²)	Temperatura (°C)	Temperatura (K)	Corrente de curto circuito (A)	Temperatura célula (°C)	Potencial térmico (V)	Hiato do semicondutor (E _v)	Corrente de saturação do diodo (A)	Tensão de máxima potência (V)	Intensidade da corrente de máxima potência (A)	Potência máxima de saída (W)	Energia produzida por 1 painel (Wh)	Energia produzida pelo sistema (KWh)
2020	Janeiro	1	0:00	0	12,59	287,72	0	12,59	0,02482	1,123711086	7,44586E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	1:00	0:00	12,45	287,58	0	12,45	0,02480	1,123752952	7,3974E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	2:00	0:00	12,27	287,4	0	12,27	0,02479	1,123806779	7,3355E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	3:00	0:00	11,96	287,09	0	11,96	0,02476	1,123899482	7,22994E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	4:00	0:00	11,59	286,72	0	11,59	0,02473	1,124010126	7,10566E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	5:00	0:00	11,19	286,32	0	11,19	0,02470	1,124129742	6,97337E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	6:00	0:00	10,86	285,99	0	10,86	0,02467	1,124228426	6,86583E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	7:00	0:00	10,54	285,67	0	10,54	0,02464	1,124324118	6,76291E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	8:00	0:00	10,43	285,56	0	10,43	0,02463	1,124357013	6,72784E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	9:00	22:33	10,21	285,34	1,3803608	14,02	0,02461	1,124422802	6,65817E-08	0	1,316952	0	0	0
2020	Janeiro	1	10:00	2:24	10,98	286,11	3,782012	21,42	0,02468	1,124192541	6,90477E-08	35,47887019	3,60828	128,0176977	124,7097204	3,242452731
2020	Janeiro	1	11:00	21:36	11,25	286,38	5,228708	25,68	0,02470	1,1241118	6,99307E-08	38,08636303	4,98852	189,9945837	185,0851236	4,812213215
2020	Janeiro	1	12:00	7:26	11,78	286,91	6,9200292	30,88	0,02475	1,123953309	7,16925E-08	38,93169151	6,602148	257,0327892	250,391062	6,510167611
2020	Janeiro	1	13:00	21:07	12,45	287,58	8,5678816	36,10	0,02480	1,123752952	7,3974E-08	39,66913417	8,174304	324,2675622	315,8884884	8,213100697
2020	Janeiro	1	14:00	2:09	13,17	288,3	8,4796988	36,58	0,02487	1,123537643	7,64951E-08	40,23735661	8,090172	325,5271358	317,1155146	8,24500338
2020	Janeiro	1	15:00	4:48	13,49	288,62	7,564024	34,37	0,02489	1,12344195	7,76391E-08	40,21635807	7,21656	290,223761	282,724379	7,350833855
2020	Janeiro	1	16:00	22:19	13,68	288,81	4,9573676	27,37	0,02491	1,123385133	7,83252E-08	39,92181994	4,729644	188,8159962	183,9369908	4,782361761
2020	Janeiro	1	17:00	0:00	13,6	288,73	0	13,60	0,02490	1,123409056	7,80357E-08	38,81861563	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	18:00	0:00	13,46	288,59	0	13,46	0,02489	1,123450922	7,75312E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	19:00	0:00	13,47	288,6	0	13,47	0,02489	1,123447931	7,75671E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	20:00	0:00	13,38	288,51	0	13,38	0,02488	1,123474845	7,72442E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	21:00	0:00	13,41	288,54	0	13,41	0,02489	1,123465874	7,73517E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	22:00	0:00	12,58	287,71	0	12,58	0,02481	1,123714077	7,44239E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	23:00	0	12,12	287,25	0	12,12	0,02478	1,123851635	7,28426E-08	0	0	0	0	0

Anexo II - Dados do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra

Energia produzida pelo sistema fotovoltaico

Mês	Energia produzida (kWh)
Janeiro	1821,50
Fevereiro	2455,80
Março	983,54
Abril	1366,09
Maio	1039,93
Junho	2607,22
Julho	2526,48
Agosto	2318,58
Setembro	1852,86
Outubro	980,67
Novembro	1601,81
Dezembro	1950,00

Pegada de carbono

Ano	Mês	Consumo energético total (kWh)	Fator de emissão de CO2	CO2 emitido (kg CO2 eq./kWh)
2022	Dezembro	9591	0,157	1505,787
2023	Janeiro	15044		2361,908
2023	Fevereiro	13471		2114,947
2023	Março	11770		1847,89
2023	Abril	8963		1407,191
2023	Maio	8567		1345,019
2023	Junho	8224		1291,168
2023	Julho	9009		1414,413
2023	Agosto	8401		1318,957
2023	Setembro	8389		1317,073
2023	Outubro	9933		1559,481
2023	Novembro	11857		1861,549
Total:				

Anexo II - Dados do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra

Mês	Energia produzida (kWh)	Fator de emissão (kg CO ₂ eq./kWh)	Pegada de carbono antes TRE (kg CO ₂ eq.)
Janeiro	1821,50	0,043	78,32
Fevereiro	2455,80		105,60
Março	983,54		42,29
Abril	1366,09		58,74
Maiο	1039,93		44,72
Junho	2607,22		112,11
Julho	2526,48		108,64
Agosto	2318,58		99,70
Setembro	1852,86		79,67
Outubro	980,67		42,17
Novembro	1601,81		68,88
Dezembro	1950,00		83,85

Mês	Autoconsumo sistema	Energia da rede	Fator de emissão de eletricidade	Fator de emissão (kg CO ₂ eq./kWh)	Pegada de carbono sem sistema	Pegada de carbono com sistema PV
Dezembro	20,332	7641,002	0,157	0,043	1505,787	1283,487
Janeiro	12,108	13222,496			2361,908	2154,257
Fevereiro	18,230	11015,204			2114,947	1834,986
Março	8,356	10786,462			1847,890	1735,767
Abril	15,241	7596,914			1407,191	1251,457
Maiο	12,139	7527,075			1345,019	1226,468
Junho	31,703	5616,781			1291,168	993,945
Julho	28,044	6482,520			1414,413	1126,394
Agosto	27,599	6082,420			1318,957	1054,639
Setembro	22,087	6536,141			1317,073	1105,847
Outubro	9,873	8952,335			1559,481	1447,685
Novembro	13,509	10255,190			1861,549	1678,943
Total:					19345,383	16893,87465
Redução:					0	12,67231746

Anexo II - Dados do Parque Operacional da Fonte de Sesimbra

Diagramas de carga

Hora	Produção energética (kW)
0:00	0,00
1:00	0,00
2:00	0,00
3:00	0,00
4:00	0,00
5:00	0,00
6:00	0,00
7:00	1,16
8:00	2,20
9:00	3,97
10:00	6,29
11:00	8,41
12:00	9,98
13:00	11,15
14:00	8,81
15:00	10,43
16:00	9,29
17:00	6,89
18:00	4,07
19:00	1,37
20:00	0,00
21:00	0,00
22:00	0,00
23:00	0,00

Hora	Produção energética (kW)
0:00	0,00
1:00	0,00
2:00	0,00
3:00	0,00
4:00	0,00
5:00	0,00
6:00	0,00
7:00	0,00
8:00	0,85
9:00	3,06
10:00	5,42
11:00	7,31
12:00	9,74
13:00	10,39
14:00	10,24
15:00	9,46
16:00	7,10
17:00	2,95
18:00	0,00
19:00	0,00
20:00	0,00
21:00	0,00
22:00	0,00
23:00	0,00

Hora	Produção energética (kW)	Consumo energético (kW)
0:00	0	11,77
1:00	0	11,77
2:00	0	10,11
3:00	0	10,11
4:00	0	10,11
5:00	0	10,11
6:00	0	11,77
7:00	0,748374571	11,77
8:00	1,730456783	11,56
9:00	3,985841038	11,56
10:00	6,473111594	11,56
10:30	6,473111594	11,88
11:00	8,723861672	11,88
12:00	10,12172866	11,88
13:00	11,20414225	11,56
14:00	8,403194547	11,56
15:00	10,08685277	11,56
16:00	6,790994328	11,56
17:00	5,926799143	11,56
18:00	3,153032739	11,56
19:00	0,3778211	11,56
19:30	0	11,88
20:00	0	11,88
21:00	0	11,56
22:00	0	11,77
23:00	0	11,77

Hora	Produção energética (kW)	Consumo energético (kW)
0:00	0	18,84
1:00	0	18,84
2:00	0	14,29
3:00	0	14,29
4:00	0	14,29
5:00	0	14,29
6:00	0	18,84
7:00	0	18,84
8:00	0	20,26
9:00	0,707383486	24,52
10:00	1,285061705	24,52
10:30	1,285061705	20,26
11:00	2,055101842	20,26
12:00	1,033542796	20,26
13:00	2,196193282	20,26
14:00	5,441187329	20,26
15:00	6,995002628	20,26
16:00	6,464342283	20,26
17:00	3,028221471	20,26
18:00	0	24,52
19:00	0	24,52
20:00	0	24,52
20:30	0	20,26
21:00	0	20,26
22:00	0	18,84
23:00	0	18,84

Anexo III - Dados do Mercado Municipal da Quinta do Conde

Dados de temperatura e radiação solar da localização do Mercado Municipal da Quinta do Conde

Ano	Mês	Radiação solar (kWh/m ²)	Temperatura (°C)
2020	Janeiro	69,59	12,8
	Fevereiro	99,87	13,8
	Março	146,01	13,8
	Abril	148,54	14,8
	Maio	214,79	18,4
	Junho	224,19	19,2
	Julho	246,26	22
	Agosto	211,84	21,1
	Setembro	161,03	20,4
	Outubro	113,88	17,1
	Novembro	71,75	15,4
	Dezembro	64,09	12,8

Para fins de análise, os dados completos estão disponíveis numa folha de cálculo maior. Devido ao volume elevado, nesta anexo serão apresentados apenas os dados referentes à radiação e temperatura do dia 1 de janeiro de 2020

Ano	Mês	Dia	Hora	Radiação solar (W/m ²)	Temperatura, T (°C)
2020	Janeiro	1	0:00	0	10,6
2020	Janeiro	1	1:00	0	10,35
2020	Janeiro	1	2:00	0	10,05
2020	Janeiro	1	3:00	0	9,79
2020	Janeiro	1	4:00	0	9
2020	Janeiro	1	5:00	0	8,74
2020	Janeiro	1	6:00	0	8,59
2020	Janeiro	1	7:00	0	8,71
2020	Janeiro	1	8:00	0	8,44
2020	Janeiro	1	9:00	78,92	8,96
2020	Janeiro	1	10:00	189,97	10,27
2020	Janeiro	1	11:00	275,16	11,38
2020	Janeiro	1	12:00	314,17	12,5
2020	Janeiro	1	13:00	368,17	13,42
2020	Janeiro	1	14:00	518,96	14,11
2020	Janeiro	1	15:00	601,27	14,44
2020	Janeiro	1	16:00	417,89	14,51
2020	Janeiro	1	17:00	0	14,27
2020	Janeiro	1	18:00	0	13,88
2020	Janeiro	1	19:00	0	11,77
2020	Janeiro	1	20:00	0	12,03
2020	Janeiro	1	21:00	0	12,12
2020	Janeiro	1	22:00	0	11,71
2020	Janeiro	1	23:00	0	11,02

Anexo III - Dados do Mercado Municipal da Quinta do Conde

Consumos do Mercado Municipal da Quinta do Conde de dezembro de 2022 a novembro de 2023

Tabela 3 - Dados dos consumos anuais						
Ano	Mês	Vazio Normal (kWh)	Super Vazio (kWh)	Ponta (kWh)	Cheias (kWh)	Energia ativa total (kWh)
2022	Dezembro	1968	1093	1441	4098	8600
2023	Janeiro	2443	1227	2117	6076	11863
	Fevereiro	2335	1146	1784	5166	10431
	Março	1500	782	1111	3309	6702
	Abril	1350	767	1076	2977	6170
	Maio	1424	792	1160	3152	6528
	Junho	2616	1408	2375	6161	12560
	Julho	5224	3188	4114	10848	23374
	Agosto	5283	3252	4131	10925	23591
	Setembro	3796	2310	2955	7639	16700
Outubro	1999	1118	1484	3993	8594	
Novembro	1854	950	1260	3682	7746	

Para fins de análise, os dados completos estão disponíveis numa folha de cálculo maior. Devido ao volume elevado, nesta anexo serão apresentados apenas os dados referentes aos consumos energéticos de abril de 2023 e de agosto de 2023

Tabela 4 - Consumos energéticos por tipo em abril de 2023					
01.Abr.23 - 02.Abr.23					
Tipo de Energia	Consumo (kWh)	Horas por dia	Total de dias	Horas por período	Consumo médio por hora (kW)
Vazio Normal	76	6	2	12	6,33
Super Vazio	48	4		8	6,00
Ponta	55	4		8	6,88
Cheias	153	10		20	7,65
03.abri.23 - 02.mai.23					
Tipo de Energia	Consumo (kWh)	Horas por dia	Total de dias	Horas por período	Consumo médio por hora (kW)
Vazio Normal	1274	6	30	180	7,08
Super Vazio	719	4		120	5,99
Ponta	1021	4		120	8,51
Cheias	2824	10		300	9,41

Tabela 5 - Ciclo de consumo médio horário em abril		
Ínicio	Tipo	Consumo médio (kW)
0:00	Vazio Normal	7,08
1:00	Vazio Normal	7,08
2:00	Super vazio	5,99
3:00	Super vazio	5,99
4:00	Super vazio	5,99
5:00	Super vazio	5,99
6:00	Vazio Normal	7,08
7:00	Vazio Normal	7,08
8:00	Cheias	9,41
9:00	Cheias	9,41
10:00	Cheias	9,41
10:30	Ponta	8,51
11:00	Ponta	8,51
12:00	Ponta	8,51
13:00	Cheias	9,41
14:00	Cheias	9,41
15:00	Cheias	9,41
16:00	Cheias	9,41
17:00	Cheias	9,41
18:00	Cheias	9,41
19:00	Cheias	9,41
19:30	Ponta	8,51
20:00	Ponta	8,51
21:00	Cheias	9,41
22:00	Vazio Normal	7,08
23:00	Vazio Normal	7,08

Anexo III - Dados do Mercado Municipal da Quinta do Conde

Tabela 6 - Consumos energéticos por tipo em agosto de 2023					
03.Ago.23 - 02.Set.23					
Tipo de Energia	Consumo (kWh)	Horas por dia	Total de dias	Horas por período	Consumo médio por hora (kW)
Vazio Normal	5283	6	31	186	28,40
Super Vazio	3252	4		124	26,23
Ponta	4131	4		124	33,31
Cheias	10925	10		310	35,24

Tabela 7 - Ciclo de consumos médios horários em agosto		
Íncio	Tipo	Consumo médio (kW)
0:00	Vazio Normal	28,40
1:00	Vazio Normal	28,40
2:00	Super vazio	26,23
3:00	Super vazio	26,23
4:00	Super vazio	26,23
5:00	Super vazio	26,23
6:00	Vazio Normal	28,40
7:00	Vazio Normal	28,40
8:00	Cheias	35,24
9:00	Cheias	35,24
10:00	Cheias	35,24
10:30	Ponta	33,31
11:00	Ponta	33,31
12:00	Ponta	33,31
13:00	Cheias	35,24
14:00	Cheias	35,24
15:00	Cheias	35,24
16:00	Cheias	35,24
17:00	Cheias	35,24
18:00	Cheias	35,24
19:00	Cheias	35,24
19:30	Ponta	33,31
20:00	Ponta	33,31
21:00	Cheias	35,24
22:00	Vazio Normal	28,40
23:00	Vazio Normal	28,40

Dimensionamento do sistema fotovoltaico

Tabela 8 - Parâmetros constantes	
Dados	Valor
Quantidade de painéis	27
Painéis em série	14
Carga elétrica do eletrão [C]	1,6E-19
Constante de Boltzman [J/K]	1,38E-23
Temperatura de referência (STC) [K]	300,13
Potencial térmico para condições STC [V]	0,025886213
Fator de idealidade do díodo	104,7121549
Fator de idealidade equivalente	4,363006454
Corrente inversa máxima de saturação [A]	1,2981E-07
Rendimento do sistema	0,97416

Anexo III - Dados do Mercado Municipal da Quinta do Conde

Para fins de análise, os dados completos estão disponíveis numa folha de cálculo maior. Devido ao volume elevado, nesta anexo serão apresentados apenas os dados referentes ao potencial de produção energética do sistema fotovoltaico no dia 1 de janeiro de 2020

Tabela 9 - Dimensionamento do sistema fotovoltaico																
Ano	Mês	Dia	Hora	Irradiância (W/m ²)	Temperatura (°C)	Temperatura (K)	Corrente de curto circuito (A)	Temperatura célula (°C)	Potencial térmico (V)	Hiato do semicondutor (Ev)	Corrente de saturação do diodo (A)	Tensão de máxima potência (V)	Intensidade da corrente de máxima potência (A)	Potência máxima de saída (W)	Energia produzida por 1 painel (Wh)	Energia produzida pelo sistema (KWh)
2020	Janeiro	1	0:00	0	10,6	285,73	0	10,60	0,02464	1,124306176	6,7821E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	1:00	0:00	10,35	285,48	0	10,35	0,02462	1,124380936	6,70243E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	2:00	0:00	10,05	285,18	0	10,05	0,02460	1,124470648	6,60789E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	3:00	0:00	9,79	284,92	0	9,79	0,02457	1,124548398	6,52688E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	4:00	0:00	9	284,13	0	9,00	0,02451	1,12478464	6,28597E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	5:00	0:00	8,74	283,87	0	8,74	0,02448	1,12486239	6,20837E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	6:00	0:00	8,59	283,72	0	8,59	0,02447	1,124907246	6,16398E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	7:00	0:00	8,71	283,84	0	8,71	0,02448	1,124871362	6,19947E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	8:00	0:00	8,44	283,57	0	8,44	0,02446	1,124952102	6,11987E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	9:00	22:04	8,96	284,09	0,8933744	11,43	0,02450	1,124796602	6,27398E-08	0	0,852336	0	0	0
2020	Janeiro	1	10:00	23:16	10,27	285,4	2,1504604	16,21	0,02462	1,124404859	6,67711E-08	34,35575878	2,051676	70,48688575	68,66550462	1,853968625
2020	Janeiro	1	11:00	3:50	11,38	286,51	3,1148112	19,98	0,02471	1,124072925	7,03594E-08	36,62695161	2,971728	108,8453377	106,0327741	2,862884901
2020	Janeiro	1	12:00	4:04	12,5	287,63	3,5564044	22,32	0,02481	1,123738	7,41468E-08	37,5963479	3,393036	127,5657619	124,2694626	3,35527549
2020	Janeiro	1	13:00	4:04	13,42	288,55	4,1676844	24,93	0,02489	1,123462883	7,73876E-08	37,95062611	3,976236	150,9006458	147,0013731	3,969037073
2020	Janeiro	1	14:00	23:02	14,11	289,24	5,8746272	30,33	0,02495	1,123256546	7,98973E-08	38,37233336	5,604768	215,0680261	209,5106683	5,656788044
2020	Janeiro	1	15:00	6:28	14,44	289,57	6,8063764	33,23	0,02498	1,123157862	8,11221E-08	39,27408768	6,493716	255,0347715	248,4446731	6,708006172
2020	Janeiro	1	16:00	21:21	14,51	289,64	4,7305148	27,57	0,02498	1,12313693	8,1384E-08	39,66025109	4,513212	178,9951211	174,3698872	4,707986955
2020	Janeiro	1	17:00	0:00	14,27	289,4	0	14,27	0,02496	1,123208699	8,04892E-08	38,70535568	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	18:00	0:00	13,88	289,01	0	13,88	0,02493	1,123325325	7,90531E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	19:00	0:00	11,77	286,9	0	11,77	0,02475	1,123956299	7,16589E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	20:00	0:00	12,03	287,16	0	12,03	0,02477	1,123878549	7,25366E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	21:00	0:00	12,12	287,25	0	12,12	0,02478	1,123851635	7,28426E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	22:00	0:00	11,71	286,84	0	11,71	0,02474	1,123974242	7,14576E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	23:00	0	11,02	286,15	0	11,02	0,02468	1,124180579	6,91779E-08	0	0	0	0	0

Anexo III - Dados do Mercado Municipal da Quinta do Conde

Energia produzida pelo sistema fotovoltaico

Mês	Energia produzida (kWh)
Janeiro	889,93
Fevereiro	1218,82
Março	1698,56
Abril	1658,34
Maiο	2305,39
Junho	2477,84
Julho	2704,00
Agosto	2428,52
Setembro	1878,10
Outubro	1377,90
Novembro	864,65
Dezembro	804,71

Pegada de carbono

Ano	Mês	Consumo energético total (kWh)	Fator de emissão de CO2	CO2 emitido (kg CO2 eq./kWh)
2022	Dezembro	8600	0,157	1350,2
2023	Janeiro	11863		1862,491
2023	Fevereiro	10431		1637,667
2023	Março	6702		1052,214
2023	Abril	6170		968,69
2023	Maiο	6528		1024,896
2023	Junho	12560		1971,92
2023	Julho	23374		3669,718
2023	Agosto	23591		3703,787
2023	Setembro	16700		2621,9
2023	Outubro	8594		1349,258
2023	Novembro	7746		1216,122
Total:				22428,863

Anexo III - Dados do Mercado Municipal da Quinta do Conde

Tabela 12 - Pegada de Carbono do Sistema fotovoltaico			
Mês	Energia produzida (kWh)	Fator de emissão (kg CO ₂ eq./kWh)	Pegada de carbono (kg CO ₂ eq.)
Janeiro	889,93	0,043	38,27
Fevereiro	1218,82		52,41
Março	1698,56		73,04
Abril	1658,34		71,31
Maio	2305,39		99,13
Junho	2477,84		106,55
Julho	2704,00		116,27
Agosto	2428,52		104,43
Setembro	1878,10		80,76
Outubro	1377,90		59,25
Novembro	864,65		37,18
Dezembro	804,71		34,60

Tabela 13 - Autossuficiência e pegada de carbono total						
Mês	Autoconsumo sistema	Energia da rede	Fator de emissão de eletricidade	Fator de emissão (kg CO ₂ eq./kWh)	Pegada de carbono sem sistema	Pegada de carbono com sistema PV
Dezembro	9,357	7795,290	0,157	0,043	1350,200	1258,463
Janeiro	7,502	10973,068			1862,491	1761,039
Fevereiro	11,685	9212,180			1637,667	1498,721
Março	25,344	5003,438			1052,214	858,578
Abril	26,877	4511,662			968,690	779,639
Maio	35,315	4222,609			1024,896	762,081
Junho	19,728	10082,161			1971,920	1689,446
Julho	11,568	20669,999			3669,718	3361,462
Agosto	10,294	21162,485			3703,787	3426,936
Setembro	11,246	14821,904			2621,900	2407,797
Outubro	16,033	7216,095			1349,258	1192,177
Novembro	11,162	6881,354			1216,122	1117,552
Total:					22428,863	20113,89285
Redução:					0	10,32138878

Anexo III - Dados do Mercado Municipal da Quinta do Conde

Diagramas de carga

Hora	Produção energética (kWh)
0:00	0,00
1:00	0,00
2:00	0,00
3:00	0,00
4:00	0,00
5:00	0,00
6:00	0,00
7:00	0,64
8:00	0,94
9:00	2,98
10:00	5,52
11:00	7,92
12:00	9,82
13:00	11,19
14:00	11,81
15:00	11,55
16:00	10,35
17:00	8,45
18:00	5,74
19:00	2,29
20:00	0,00
21:00	0,00
22:00	0,00
23:00	0,00

Hora	Produção energética (kWh)
0:00	0,00
1:00	0,00
2:00	0,00
3:00	0,00
4:00	0,00
5:00	0,00
6:00	0,00
7:00	0,00
8:00	0,00
9:00	0,64
10:00	0,39
11:00	1,64
12:00	2,18
13:00	1,74
14:00	1,71
15:00	1,43
16:00	2,23
17:00	0,00
18:00	0,00
19:00	0,00
20:00	0,00
21:00	0,00
22:00	0,00
23:00	0,00

Hora	Produção energética	Consumo energético
0:00	0,0	7,08
1:00	0,0	7,08
2:00	0,0	5,99
3:00	0,0	5,99
4:00	0,0	5,99
5:00	0,0	5,99
6:00	0,0	7,08
7:00	0,0	7,08
8:00	1,3	9,41
9:00	1,8	9,41
10:00	2,5	9,41
10:30	2,5	8,51
11:00	1,9	8,51
12:00	4,7	8,51
13:00	0,8	9,41
14:00	2,2	9,41
15:00	1,7	9,41
16:00	4,9	9,41
17:00	1,6	9,41
18:00	0,9	9,41
19:00	0,0	9,41
19:30	0,0	8,51
20:00	0,0	8,51
21:00	0,0	9,41
22:00	0,0	7,08
23:00	0,0	7,08

Hora	Produção energética	Consumo energético
0:00	0,00	28,40
1:00	0,00	28,40
2:00	0,00	26,23
3:00	0,00	26,23
4:00	0,00	26,23
5:00	0,00	26,23
6:00	0,00	28,40
7:00	0,58	28,40
8:00	0,81	35,24
9:00	2,82	35,24
10:00	5,41	35,24
10:30	5,41	33,31
11:00	7,79	33,31
12:00	9,70	33,31
13:00	11,39	35,24
14:00	11,66	35,24
15:00	11,37	35,24
16:00	10,36	35,24
17:00	8,23	35,24
18:00	5,14	35,24
19:00	1,57	35,24
19:30	1,57	33,31
20:00	0,00	33,31
21:00	0,00	35,24
22:00	0,00	28,40
23:00	0,00	28,40

Anexo IV - Dados do Parque de Campismo do Forte do Cavalo

Dados de temperatura e radiação solar da localização

Ano	Mês	Radiação solar (kWh/m ²)	Temperatura (°C)
2020	Janeiro	73,44	13,9
	Fevereiro	99,98	14,3
	Março	149	13,9
	Abril	160,36	15
	Maio	219,44	17,8
	Junho	235,56	18,3
	Julho	235,62	19,8
	Agosto	213,77	19,8
	Setembro	158,1	19,6
	Outubro	120,11	17,2
	Novembro	70,57	16,1
	Dezembro	68,77	13,8

Para fins de análise, os dados completos estão disponíveis numa folha de cálculo maior. Devido ao volume elevado, nesta anexo serão apresentados apenas os dados referentes à radiação e temperatura do dia 1 de janeiro de 2020

Ano	Mês	Dia	Hora	Radiação solar (W/m ²)	Temperatura (°C)
2020	Janeiro	1	0:00	0	12,59
2020	Janeiro	1	1:00	0	12,45
2020	Janeiro	1	2:00	0	12,27
2020	Janeiro	1	3:00	0	11,96
2020	Janeiro	1	4:00	0	11,59
2020	Janeiro	1	5:00	0	11,19
2020	Janeiro	1	6:00	0	10,86
2020	Janeiro	1	7:00	0	10,54
2020	Janeiro	1	8:00	0	10,43
2020	Janeiro	1	9:00	142,34	10,21
2020	Janeiro	1	10:00	306,34	10,98
2020	Janeiro	1	11:00	396,75	11,25
2020	Janeiro	1	12:00	462,48	11,78
2020	Janeiro	1	13:00	469,14	12,45
2020	Janeiro	1	14:00	425,11	13,17
2020	Janeiro	1	15:00	303,64	13,49
2020	Janeiro	1	16:00	154,37	13,68
2020	Janeiro	1	17:00	0	13,6
2020	Janeiro	1	18:00	0	13,46
2020	Janeiro	1	19:00	0	13,47
2020	Janeiro	1	20:00	0	13,38
2020	Janeiro	1	21:00	0	13,41
2020	Janeiro	1	22:00	0	12,58
2020	Janeiro	1	23:00	0	12,12

Anexo IV - Dados do Parque de Campismo do Forte do Cavallo

Consumos de dezembro de 2022 a novembro de 2023

Tabela 3 - Dados dos consumos anuais						
Ano	Mês	Vazio Normal (kWh)	Super Vazio (kWh)	Ponta (kWh)	Cheias (kWh)	Energia ativa total (kWh)
2022	Dezembro	1886	1227	1030	2219	6362
2023	Janeiro	3353	2257	1710	4122	11442
	Fevereiro	2196	1416	1079	2596	7287
	Março	1799	1361	744	2290	6194
	Abril	3688	2333	496	3699	10216
	Maio	2259	1734	480	3092	7565
	Junho	2689	1750	473	3048	7960
	Julho	3405	2224	771	5016	11416
	Agosto	3645	2201	1604	4701	12151
	Setembro	2123	1433	682	3763	8001
	Outubro	3895	2281	980	4425	11581
	Novembro	3397	1814	1288	3331	9830

Para fins de análise, os dados completos estão disponíveis numa folha de cálculo maior. Devido ao volume elevado, nesta anexo serão apresentados apenas os dados referentes aos consumos energéticos de dezembro de 2023 e de agosto de 2023

Tabela 4 - Consumos energéticos por tipo em março de 2022									
10.Mar.23 - 31.Mar.23									
Tipo de Energia	Consumo (kWh)	Horas por dia de semana	Horas por sábado	Horas por domingo/feriado	Total de dia de semana	Total de sábados	Total de domingos/feriados	Horas por mês	Consumo médio (kW)
Vazio Normal	1799	3	13	20	16	3	3	147	12,238
Super Vazio	1361	4	4	4				88	15,466
Ponta	744	12	0	0				192	3,875
Cheias	2290	5	7	0				101	22,673

Tabela 5 - Ciclo de consumo médio horário em março de 2022 (dia de semana)			
Íncio	Dia	Tipo	Consumo (kW)
0:00	Dias de semana	Vazio Normal	12,24
1:00		Vazio Normal	12,24
2:00		Super Vazio	15,47
3:00		Super Vazio	15,47
4:00		Super Vazio	15,47
5:00		Super Vazio	15,47
6:00		Vazio Normal	12,24
7:00		Cheias	22,67
8:00		Cheias	22,67
9:00		Cheias	22,67
9:30		Ponta	3,88
10:00		Ponta	3,88
11:00		Ponta	3,88
12:00		Cheias	22,67
13:00		Cheias	22,67
14:00		Cheias	22,67
15:00		Cheias	22,67
16:00		Cheias	22,67
17:00		Cheias	22,67
18:00		Cheias	22,67
18:30		Ponta	3,88
19:00		Ponta	3,88
20:00		Ponta	3,88
21:00	Cheias	22,67	
22:00	Cheias	22,67	
23:00	Cheias	22,67	

Tabela 6 - Ciclo de consumo médio horário em março de 2022 (sábado)			
Íncio	Dia	Tipo	Consumo (kW)
0:00	Sábado	Vazio Normal	12,238
1:00		Vazio Normal	12,238
2:00		Super Vazio	15,466
3:00		Super Vazio	15,466
4:00		Super Vazio	15,466
5:00		Super Vazio	15,466
6:00		Vazio Normal	12,238
7:00		Vazio Normal	12,238
8:00		Vazio Normal	12,238
9:00		Vazio Normal	12,238
9:30		Cheias	22,673
10:00		Cheias	22,673
11:00		Cheias	22,673
12:00		Cheias	22,673
13:00		Vazio Normal	12,238
14:00		Vazio Normal	12,238
15:00		Vazio Normal	12,238
16:00		Vazio Normal	12,238
17:00		Vazio Normal	12,238
18:00		Vazio Normal	12,238
18:30		Cheias	22,673
19:00		Cheias	22,673
20:00		Cheias	22,673
21:00	Cheias	22,673	
22:00	Vazio Normal	12,238	
23:00	Vazio Normal	12,238	

Anexo IV - Dados do Parque de Campismo do Forte do Cavallo

Tabela 7 - Ciclo de consumo médio horário em março de 2022 (domingo)			
Ínicio	Dia	Tipo	Consumo (kW)
1:00	Domingo	Vazio Normal	12,238
2:00		Vazio Normal	12,238
3:00		Super vazio	15,466
4:00		Super vazio	15,466
5:00		Super vazio	15,466
6:00		Super vazio	15,466
7:00		Vazio Normal	12,238
8:00		Vazio Normal	12,238
9:00		Vazio Normal	12,238
10:00		Vazio Normal	12,238
10:30		Vazio Normal	12,238
11:00		Vazio Normal	12,238
12:00		Vazio Normal	12,238
13:00		Vazio Normal	12,238
14:00		Vazio Normal	12,238
15:00		Vazio Normal	12,238
16:00		Vazio Normal	12,238
17:00		Vazio Normal	12,238
18:00		Vazio Normal	12,238
19:00		Vazio Normal	12,238
20:00		Vazio Normal	12,238
21:00		Vazio Normal	12,238
22:00		Vazio Normal	12,238
23:00		Vazio Normal	12,238
0:00	Vazio Normal	12,238	
0:00	Vazio Normal	12,238	

Tabela 8 - Consumos energéticos por tipo em agosto de 2023									
10.Ago.23 - 09.Set.23									
Tipo de Energia	Consumo (kWh)	Horas por dia de semana	Horas por sábado	Horas por domingo/feriado	Total de dia de semana	Total de sábados	Total de domingos/feriados	Horas por mês	Consumo médio por hora (kW)
Vazio Normal	3645	3	13	20	21	5	5	228	15,987
Super Vazio	2201	4	4	4				124	17,750
Ponta	693	3	0	0				63	11,000
Cheias	4701	14	7	0				329	14,289

Anexo IV - Dados do Parque de Campismo do Forte do Cavallo

Tabela 9 - Ciclo de consumo médio horário em agosto de 2023 (dia de semana)

Ínicio	Dia	Tipo	Consumo (kW)
0:00	Dias de semana	Vazio Normal	15,987
1:00		Vazio Normal	15,987
2:00		Super Vazio	17,750
3:00		Super Vazio	17,750
4:00		Super Vazio	17,750
5:00		Super Vazio	17,750
6:00		Vazio Normal	15,987
7:00		Cheias	14,289
8:00		Cheias	14,289
9:00		Cheias	14,289
9:15		Ponta	11,000
10:00		Ponta	11,000
11:00		Ponta	11,000
12:00		Ponta	11,000
12:15		Cheias	14,289
13:00		Cheias	14,289
14:00		Cheias	14,289
15:00		Cheias	14,289
16:00		Cheias	14,289
17:00		Cheias	14,289
18:00		Cheias	14,289
19:00		Cheias	14,289
20:00		Cheias	14,289
21:00	Cheias	14,289	
22:00	Cheias	14,289	
23:00	Cheias	14,289	

Tabela 10 - Ciclo de consumo médio horário em agosto de 2023 (sábado)

Ínicio	Dia	Tipo	Consumo (kW)
0:00	Sábado	Vazio Normal	15,987
1:00		Vazio Normal	15,987
2:00		Super Vazio	17,750
3:00		Super Vazio	17,750
4:00		Super Vazio	17,750
5:00		Super Vazio	17,750
6:00		Vazio Normal	15,987
7:00		Vazio Normal	15,987
8:00		Vazio Normal	15,987
9:00		Cheias	14,289
10:00		Cheias	14,289
11:00		Cheias	14,289
12:00		Cheias	14,289
13:00		Cheias	14,289
14:00		Vazio Normal	15,987
15:00		Vazio Normal	15,987
16:00		Vazio Normal	15,987
17:00		Vazio Normal	15,987
18:00		Vazio Normal	15,987
19:00		Vazio Normal	15,987
20:00		Cheias	14,289
21:00		Cheias	14,289
22:00		Vazio Normal	15,987
23:00	Vazio Normal	15,987	

Tabela 11 - Ciclo de consumo médio horário em agosto de 2023 (domingo)

Ínicio	Dia	Tipo	Consumo (kW)
0:00	Domingo	Vazio Normal	15,99
1:00		Vazio Normal	15,99
2:00		Super vazio	17,75
3:00		Super vazio	17,75
4:00		Super vazio	17,75
5:00		Super vazio	17,75
6:00		Vazio Normal	15,99
7:00		Vazio Normal	15,99
8:00		Vazio Normal	15,99
9:00		Vazio Normal	15,99
10:00		Vazio Normal	15,99
10:30		Vazio Normal	15,99
11:00		Vazio Normal	15,99
12:00		Vazio Normal	15,99
13:00		Vazio Normal	15,99
14:00		Vazio Normal	15,99
15:00		Vazio Normal	15,99
16:00		Vazio Normal	15,99
17:00		Vazio Normal	15,99
18:00		Vazio Normal	15,99
19:00		Vazio Normal	15,99
19:30		Vazio Normal	15,99
20:00		Vazio Normal	15,99
21:00	Vazio Normal	15,99	
22:00	Vazio Normal	15,99	
23:00	Vazio Normal	15,99	

Anexo IV - Dados do Parque de Campismo do Forte do Cavallo

Dimensionamento do sistema fotovoltaico

Tabela 12 - Parâmetros constantes	
Dados	Valor
Quantidade de painéis	22
Painéis em série	14
Carga elétrica do elétron [C]	1,6E-19
Constante de Boltzman [J/K]	1,38E-23
Temperatura de referência (STC) [K]	300,13
Potencial térmico para condições STC [V]	0,025886213
Fator de idealidade do diodo	104,7121549
Fator de idealidade equivalente	4,363006454
Corrente inversa máxima de saturação [A]	1,2981E-07
Rendimento do sistema	0,97416

Anexo IV - Dados do Parque de Campismo do Forte do Cavallo

Para fins de análise, os dados completos estão disponíveis numa folha de cálculo maior. Devido ao volume elevado, nesta anexo serão apresentados apenas os dados referentes ao potencial de produção energética do sistema fotovoltaico no dia 1 de janeiro de 2020

Tabela 13 - Dimensionamento do sistema fotovoltaico																
Ano	Mês	Dia	Hora	Irradiância (W/m ²)	Temperatura (°C)	Temperatura (K)	Corrente de curto circuito (A)	Temperatura célula (°C)	Potencial térmico (V)	Hiato do semicondutor (E _v)	Corrente de saturação do diodo (A)	Tensão de máxima potência (V)	Intensidade da corrente de máxima potência (A)	Potência máxima de saída (W)	Energia produzida por 1 painel (Wh)	Energia produzida pelo sistema (kWh)
2020	Janeiro	1	0:00	0	12,59	287,72	0	12,59	0,02482	1,123711086	7,44586E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	1:00	0:00	12,45	287,58	0	12,45	0,02480	1,123752952	7,3974E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	2:00	0:00	12,27	287,4	0	12,27	0,02479	1,123806779	7,3355E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	3:00	0:00	11,96	287,09	0	11,96	0,02476	1,123899482	7,22994E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	4:00	0:00	11,59	286,72	0	11,59	0,02473	1,124010126	7,10566E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	5:00	0:00	11,19	286,32	0	11,19	0,02470	1,124129742	6,97337E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	6:00	0:00	10,86	285,99	0	10,86	0,02467	1,124228426	6,86583E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	7:00	0:00	10,54	285,67	0	10,54	0,02464	1,124324118	6,76291E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	8:00	0:00	10,43	285,56	0	10,43	0,02463	1,124357013	6,72784E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	9:00	8:09	10,21	285,34	1,6112888	14,66	0,02461	1,124422802	6,65817E-08	0	1,537272	0	0	0
2020	Janeiro	1	10:00	8:09	10,98	286,11	3,4677688	20,55	0,02468	1,124192541	6,90477E-08	35,8785847	3,308472	118,7032929	115,6359998	2,428355996
2020	Janeiro	1	11:00	18:00	11,25	286,38	4,49121	23,65	0,02470	1,1241118	6,99307E-08	37,86200475	4,2849	162,2349041	158,0427542	3,318897839
2020	Janeiro	1	12:00	11:31	11,78	286,91	5,2352736	26,23	0,02475	1,123953309	7,16925E-08	38,53771926	4,994784	192,4875836	187,5137044	3,937787793
2020	Janeiro	1	13:00	3:21	12,45	287,58	5,3106648	27,11	0,02480	1,123752952	7,3974E-08	38,94449725	5,066712	197,3205516	192,2217885	4,036657559
2020	Janeiro	1	14:00	2:38	13,17	288,3	4,8122452	26,45	0,02487	1,123537643	7,64951E-08	38,99196943	4,591188	179,0194621	174,3935992	3,662265584
2020	Janeiro	1	15:00	15:21	13,49	288,62	3,4372048	22,98	0,02489	1,12344195	7,76391E-08	38,73966204	3,279312	127,0394386	123,7567395	2,59889153
2020	Janeiro	1	16:00	8:52	13,68	288,81	1,7474684	18,50	0,02491	1,123385133	7,83252E-08	37,86448547	1,667196	63,12751871	61,49630363	1,291422376
2020	Janeiro	1	17:00	0:00	13,6	288,73	0	13,60	0,02490	1,123409056	7,80357E-08	36,09960878	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	18:00	0:00	13,46	288,59	0	13,46	0,02489	1,123450922	7,75312E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	19:00	0:00	13,47	288,6	0	13,47	0,02489	1,123447931	7,75671E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	20:00	0:00	13,38	288,51	0	13,38	0,02488	1,123474845	7,72442E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	21:00	0:00	13,41	288,54	0	13,41	0,02489	1,123465874	7,73517E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	22:00	0:00	12,58	287,71	0	12,58	0,02481	1,123714077	7,44239E-08	0	0	0	0	0
2020	Janeiro	1	23:00	0	12,12	287,25	0	12,12	0,02478	1,123851635	7,28426E-08	0	0	0	0	0

Anexo IV - Dados do Parque de Campismo do Forte do Cavalo

Energia produzida pelo sistema fotovoltaico

Mês	Energia produzida (kWh)
Janeiro	568,57
Fevereiro	809,63
Março	1241,64
Abril	1355,36
Maio	1899,30
Junho	2051,52
Julho	2053,17
Agosto	1844,29
Setembro	1332,13
Outubro	981,80
Novembro	552,55
Dezembro	534,79

Pegada de carbono

Ano	Mês	Consumo energético total (kWh)	Fator de emissão de CO2	CO2 emitido (kg CO2 eq./kWh)
2022	Dezembro	6362	0,157	998,834
2023	Janeiro	11442		1796,394
2023	Fevereiro	7287		1144,059
2023	Março	6194		972,458
2023	Abril	10216		1603,912
2023	Maio	7565		1187,705
2023	Junho	7960		1249,72
2023	Julho	11416		1792,312
2023	Agosto	12151		1907,707
2023	Setembro	8001		1256,157
2023	Outubro	11581		1818,217
2023	Novembro	9830		1543,31
Total:				17270,785

Anexo IV - Dados do Parque de Campismo do Forte do Cavalo

Tabela 16 - Pegada de Carbono do Sistema fotovoltaico			
Mês	Energia produzida (kWh)	Fator de emissão (kg CO ₂ eq./kWh)	Pegada de carbono antes TRE (kg CO ₂ eq.)
Janeiro	568,57	0,043	24,45
Fevereiro	809,63		34,81
Março	1241,64		53,39
Abril	1355,36		58,28
Maio	1899,30		81,67
Junho	2051,52		88,22
Julho	2053,17		88,29
Agosto	1844,29		79,30
Setembro	1332,13		57,28
Outubro	981,80		42,22
Novembro	552,55		23,76
Dezembro	534,79		23,00

Tabela 17 - Autossuficiência e pegada de carbono total						
Mês	Autoconsumo sistema	Energia da rede	Fator de emissão de eletricidade	Fator de emissão (kg CO ₂ eq./kWh)	Pegada de carbono sem sistema	Pegada de carbono com sistema PV
Dezembro	8,406	5827,209	0,157	0,043	998,834	937,868
Janeiro	4,969	10873,433			1796,394	1731,577
Fevereiro	11,111	6477,368			1144,059	1051,761
Março	19,300	4998,558			972,458	838,164
Abril	13,267	8860,645			1603,912	1449,402
Maio	25,106	5665,704			1187,705	971,185
Junho	25,773	5908,480			1249,720	1015,847
Julho	17,985	9362,825			1792,312	1558,250
Agosto	15,178	10306,711			1907,707	1697,458
Setembro	16,650	6668,872			1256,157	1104,294
Outubro	8,030	10651,046			1818,217	1714,431
Novembro	5,621	9277,455			1543,310	1480,320
Total:					17270,785	15550,55751
Redução:					0	9,960331812

Anexo IV - Dados do Parque de Campismo do Forte do Cavallo

Diagramas de carga

Tabela 19 - Produção energética de dezembro	
Hora	Produção energética (kW)
0:00	0,00
1:00	0,00
2:00	0,00
3:00	0,00
4:00	0,00
5:00	0,00
6:00	0,00
7:00	0,00
8:00	0,00
9:00	0,44
10:00	0,95
11:00	2,56
12:00	2,72
13:00	1,82
14:00	2,75
15:00	2,09
16:00	0,79
17:00	0,00
18:00	0,00
19:00	0,00
20:00	0,00
21:00	0,00
22:00	0,00
23:00	0,00

Tabela 20 - Produção energética de julho	
Hora	Produção energética (kW)
0:00	0,00
1:00	0,00
2:00	0,00
3:00	0,00
4:00	0,00
5:00	0,00
6:00	0,00
7:00	2,18
8:00	3,97
9:00	5,80
10:00	7,03
11:00	7,69
12:00	8,75
13:00	8,21
14:00	7,94
15:00	7,29
16:00	5,72
17:00	4,12
18:00	2,51
19:00	0,38
20:00	0,00
21:00	0,00
22:00	0,00
23:00	0,00

Anexo IV - Dados do Parque de Campismo do Forte do Cavalo

Tabela 21 - Produção energética e consumo energético de agosto

Dia	Segunda			Dia	Terça			Dia	Quarta			Dia	Quinta			Dia	Sexta			Dia	Sábado			Dia	Domingo		
	Início	Consumo	Energia produzida		Início	Consumo	Energia produzida		Início	Consumo	Energia produzida		Início	Consumo	Energia produzida		Início	Consumo	Energia produzida		Início	Consumo	Energia produzida		Início	Consumo	Energia produzida
0:00	15,99	0,00	0,00	0:00	15,99	0,00	0,00	0:00	15,99	0,00	0,00	0:00	15,99	0,00	0,00	0:00	15,99	0,00	0,00	0:00	15,99	0,00	0,00	0:00	15,99	0,00	0,00
1:00	15,99	0,00	0,00	1:00	15,99	0,00	0,00	1:00	15,99	0,00	0,00	1:00	15,99	0,00	0,00	1:00	15,99	0,00	0,00	1:00	15,99	0,00	0,00	1:00	15,99	0,00	0,00
2:00	17,75	0,00	0,00	2:00	17,75	0,00	0,00	2:00	17,75	0,00	0,00	2:00	17,75	0,00	0,00	2:00	17,75	0,00	0,00	2:00	17,75	0,00	0,00	2:00	17,75	0,00	0,00
3:00	17,75	0,00	0,00	3:00	17,75	0,00	0,00	3:00	17,75	0,00	0,00	3:00	17,75	0,00	0,00	3:00	17,75	0,00	0,00	3:00	17,75	0,00	0,00	3:00	17,75	0,00	0,00
4:00	17,75	0,00	0,00	4:00	17,75	0,00	0,00	4:00	17,75	0,00	0,00	4:00	17,75	0,00	0,00	4:00	17,75	0,00	0,00	4:00	17,75	0,00	0,00	4:00	17,75	0,00	0,00
5:00	17,75	0,00	0,00	5:00	17,75	0,00	0,00	5:00	17,75	0,00	0,00	5:00	17,75	0,00	0,00	5:00	17,75	0,00	0,00	5:00	17,75	0,00	0,00	5:00	17,75	0,00	0,00
6:00	15,99	0,00	0,00	6:00	15,99	0,00	0,00	6:00	15,99	0,00	0,00	6:00	15,99	0,00	0,00	6:00	15,99	0,00	0,00	6:00	15,99	0,00	0,00	6:00	15,99	0,00	0,00
7:00	14,29	0,00	0,00	7:00	14,29	0,00	0,00	7:00	14,29	0,00	0,00	7:00	14,29	0,00	0,00	7:00	14,29	0,00	0,00	7:00	14,29	0,00	0,00	7:00	15,99	0,00	0,00
8:00	14,29	0,00	0,00	8:00	14,29	0,00	0,00	8:00	14,29	0,00	0,00	8:00	14,29	0,00	0,00	8:00	14,29	0,00	0,00	8:00	14,29	0,00	0,00	8:00	15,99	0,00	0,00
9:00	14,29	2,56	0,00	9:00	14,29	1,94	0,00	9:00	14,29	1,03	0,00	9:00	14,29	2,42	0,00	9:00	14,29	2,49	0,00	9:00	14,29	2,94	0,00	9:00	15,99	2,89	0,00
9:15	11,00	3,81	0,00	9:15	11,00	2,23	0,00	9:15	11,00	1,03	0,00	9:15	11,00	2,42	0,00	9:15	11,00	2,49	0,00	9:15	11,00	2,94	0,00	10:00	15,99	4,41	0,00
10:00	11,00	3,81	0,00	10:00	11,00	2,23	0,00	10:00	11,00	3,67	0,00	10:00	11,00	3,47	0,00	10:00	11,00	2,85	0,00	10:00	11,00	4,39	0,00	11:00	15,99	4,41	0,00
11:00	11,00	4,48	0,00	11:00	11,00	2,98	0,00	11:00	11,00	5,29	0,00	11:00	11,00	4,62	0,00	11:00	11,00	4,95	0,00	11:00	11,00	5,80	0,00	12:00	15,99	5,67	0,00
12:00	11,00	5,24	0,00	12:00	11,00	5,32	0,00	12:00	11,00	6,19	0,00	12:00	11,00	6,14	0,00	12:00	11,00	5,71	0,00	12:00	11,00	6,83	0,00	13:00	15,99	6,70	0,00
12:15	14,29	5,66	0,00	12:15	14,29	6,37	0,00	12:15	14,29	6,68	0,00	12:15	14,29	6,53	0,00	12:15	14,29	6,42	0,00	12:15	14,29	7,08	0,00	14:00	15,99	6,32	0,00
13:00	14,29	5,28	0,00	13:00	14,29	5,06	0,00	13:00	14,29	5,82	0,00	13:00	14,29	4,83	0,00	13:00	14,29	5,91	0,00	13:00	14,29	6,10	0,00	15:00	15,99	5,51	0,00
14:00	14,29	4,56	0,00	14:00	14,29	3,63	0,00	14:00	14,29	4,71	0,00	14:00	14,29	4,66	0,00	14:00	14,29	4,97	0,00	14:00	14,29	5,25	0,00	16:00	15,99	4,60	0,00
15:00	14,29	3,26	0,00	15:00	14,29	2,43	0,00	15:00	14,29	3,52	0,00	15:00	14,29	3,52	0,00	15:00	14,29	3,69	0,00	15:00	14,29	3,83	0,00	17:00	15,99	3,75	0,00
16:00	14,29	1,64	0,00	16:00	14,29	1,22	0,00	16:00	14,29	1,92	0,00	16:00	14,29	1,96	0,00	16:00	14,29	2,00	0,00	16:00	14,29	2,11	0,00	18:00	15,99	2,04	0,00
17:00	14,29	0,04	0,00	17:00	14,29	0,10	0,00	17:00	14,29	0,15	0,00	17:00	14,29	0,16	0,00	17:00	14,29	0,18	0,00	17:00	14,29	0,18	0,00	19:00	15,99	0,20	0,00
18:00	14,29	0,00	0,00	18:00	14,29	0,10	0,00	18:00	14,29	0,15	0,00	18:00	14,29	0,16	0,00	18:00	14,29	0,18	0,00	18:00	14,29	0,18	0,00	20:00	14,29	0,00	0,00
19:00	14,29	0,00	0,00	19:00	14,29	0,00	0,00	19:00	14,29	0,00	0,00	19:00	14,29	0,00	0,00	19:00	14,29	0,00	0,00	19:00	14,29	0,00	0,00	21:00	15,99	0,00	0,00
20:00	14,29	0,00	0,00	20:00	14,29	0,00	0,00	20:00	14,29	0,00	0,00	20:00	14,29	0,00	0,00	20:00	14,29	0,00	0,00	20:00	14,29	0,00	0,00	22:00	15,99	0,00	0,00
21:00	14,29	0,00	0,00	21:00	14,29	0,00	0,00	21:00	14,29	0,00	0,00	21:00	14,29	0,00	0,00	21:00	14,29	0,00	0,00	21:00	14,29	0,00	0,00	23:00	15,99	0,00	0,00
22:00	14,29	0,00	0,00	22:00	14,29	0,00	0,00	22:00	14,29	0,00	0,00	22:00	14,29	0,00	0,00	22:00	14,29	0,00	0,00	22:00	14,29	0,00	0,00				
23:00	14,29	0,00	0,00	23:00	14,29	0,00	0,00	23:00	14,29	0,00	0,00	23:00	14,29	0,00	0,00	23:00	14,29	0,00	0,00	23:00	14,29	0,00	0,00				

Anexo IV - Dados do Parque de Campismo do Forte do Cavalo

Tabela 23 - Autoconsumo e autossuficiência de março 2023	
Energia total consumida (kW)	6194,00
Energia total produzida (kW)	1241,64
Energia em excesso (kW)	46,01
Energia de autoconsumo (kW)	1195,63
Percentagem de autoconsumo (%)	99,62
Percentagem de autossuficiência (%)	19,30

Tabela 24 - Autoconsumo e autossuficiência de outubro 2023	
Energia total consumida (kW)	11581,00
Energia total produzida (kW)	981,80
Energia em excesso (kW)	51,49
Energia de autoconsumo (kW)	930,31
Percentagem de autoconsumo (%)	99,59
Percentagem de autossuficiência (%)	8,03

Anexo V - Matriz de Impactos Ambientais

Fatores ambientais	Fase	Critérios de avaliação									
		Impactos inerentes	Importância	Incidência	Significância	Probabilidade	Magnitude	Duração	Reversebilidade	Medidas de minimização	
Clima	Geral	Aumento da temperatura do ar	Negativo	Direto	Pouco significativo	Baixa	Reduzida	Temporário	Reversível	Sem medidas a apresentar	
	Exploração	Redução na emissão de gases de efeito de estufa para a atmosfera devido à produção de energia limpa	Positivo	Indireto	Significativo					Sem medidas a apresentar	
Qualidade do ar	Construção	Emissões de gases de efeito de estufa para a atmosfera provenientes do transporte de materiais e das equipas de trabalho para o local	Negativo	Direto	Pouco significativo	Elevada	Reduzida	Temporário	Reversível	Escolher empresas verdes que utilizem veículos de transporte híbridos ou elétricos	
	Desativação	Emissão de poeiras durante a instalação/desinstalação dos sistemas fotovoltaicos	Negativo	Direto	Pouco significativo	Baixa	Reduzida	Temporário	Reversível	Sem necessidade de medidas de mitigação	
	Exploração	Redução na emissão de gases de efeito de estufa para a atmosfera devido à produção de energia limpa	Positivo	Indireto	Significativo					Sem medidas a apresentar	
Biodiversidade	Construção	Afastamento temporário das aves que habitam nos locais ao redor da zona de instalação dos sistemas fotovoltaicos	Negativo	Direto	Pouco significativo	Baixa	Reduzida	Temporário	Reversível	Sem medidas a apresentar	
	Desativação	Conservação da biodiversidade	Positivo	Indireto	Significativo					Sem medidas a apresentar	
Recursos hídricos	Geral	Derrame de substâncias químicas que afetem os recursos hídricos superficiais	Negativo	Direto	Pouco significativo	Baixa	Reduzida	Temporário	Reversível	Adoção de boas práticas pelas equipas de trabalho	
Solo e uso do solo	Geral	Aproveitamento de espaços urbanos para instalação de sistemas fotovoltaicos	Positivo	Indireto	Muito significativo					Sem medidas a apresentar	
Geologia e geomorfologia	Construção	Atividades de instalação não requerer alterações a nível do solo do local	Positivo	Indireto	Muito significativo					Sem medidas a apresentar	
Desativação										Sem medidas a apresentar	
Ambiente sonoro	Construção	Ruído sonoro associado às atividades de construção/desativação dos painéis fotovoltaicos e infraestruturas dos mesmos	Negativo	Direto	Pouco significativo	Média	Reduzida	Temporário	Reversível	Garantir que as atividades relacionadas com as fases de construção e desativação ocorram durante o dia	
Desativação											
Paisagem	Construção	Distúrbio estético do local	Negativo	Direto	Pouco significativo	Baixa	Reduzida	Temporário	Reversível	Sem medidas a apresentar	
	Desativação										
Geral		Mitigação de danos à paisagem natural	Positivo	Indireto	Muito significativo					Sem medidas a apresentar	
Património cultural	Geral	Preservação do património cultural compatível com o avanço das energias renováveis	Positivo	Direto	Significativo					Sem medidas a apresentar	
Socioeconomia	Construção	Desativação	Criação de postos de trabalho para as atividades de instalação dos sistemas fotovoltaicos e respetivas infraestruturas	Positivo	Direto	Pouco significativo	Baixa	Reduzida	Temporário	Reversível	Sem medidas a apresentar
			Incómodo dos habitantes ou pessoas que frequentam o local devido às atividades de construção e aumento do ruído	Negativo	Direto	Significativo	Média	Reduzida	Temporário	Reversível	Garantir que as atividades relacionadas com as fases de construção e desativação ocorram durante o dia
	Desativação		Apoio no cumprimento das metas estabelecidas no PNEC 2030	Positivo	Indireto	Pouco significativo	Elevada	Reduzida	Temporário	Reversível	Sem medidas a apresentar
		Exploração	Sombreamento para os habitantes ou pessoas que frequentam o local de instalação no caso se serem criados parques de estacionamento com painéis fotovoltaicos	Positivo	Direto	Significativo	Elevada	Reduzida	Temporário	Reversível	Sem medidas a apresentar