



Universidade do Minho
Escola de Ciências

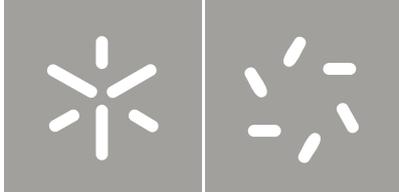
Igor Samuel Peixoto Gomes Contribuição do Fotovoltaico para a Mobilidade Sustentável

Igor Samuel Peixoto Gomes

Contribuição do Fotovoltaico para a
Mobilidade Sustentável

UMinho | 2024

Janeiro de 2024



Universidade do Minho
Escola de Ciências

Igor Samuel Peixoto Gomes

Contribuição do Fotovoltaico para a
Mobilidade Sustentável

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Ciências e Tecnologias do Ambiente - Energias

Trabalho realizado sob a orientação de:
Professor Doutor Mário Rui da Cunha Pereira
Engenheiro Mauro Costa

Janeiro de 2024

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositórioUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição

CC BY

Agradecimentos

Com a finalização desta dissertação final de Mestrado em Ciências e Tecnologias do Ambiente não posso deixar de agradecer a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, me ajudaram a concluir esta etapa importante na minha vida pessoal e académica.

À DST Solar, um grande obrigado por me ter dado esta oportunidade importante de estágio, permitindo aumentar o meu conhecimento geral sobre a área da energia fotovoltaica. À TUB, agradeço imenso pelo fornecimento de dados e disponibilidade no auxílio ao longo deste estágio.

Ao meu orientador na Universidade do Minho, professor Mário Rui Pereira, agradeço pela sua disponibilidade, entajuda, preocupação, simpatia e dedicação.

Ao meu orientador de empresa, Eng. Mauro Costa, agradeço por toda a disponibilidade, simpatia, entajuda, dedicação e por todo o conhecimento que me forneceu.

A Rita Abreu, minha namorada, expresso a minha profunda gratidão pelo constante apoio, carinho e estímulo que impulsionaram a minha busca pelos meus objetivos pessoais e profissionais. Agradeço-te por permaneceres ao meu lado em todos os momentos, sejam eles bons ou menos bons.

Um agradecimento final à minha família, particularmente aos meus pais, por serem um pilar do meu lado, por sempre demonstrarem um apoio incondicional em todos os momentos nesta etapa da minha vida.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Resumo

Esta dissertação aborda o desenvolvimento no progresso de um sistema de dimensionamento fotovoltaico que se conecta aos carregadores de autocarros elétricos operados pela empresa TUB. O objetivo principal é promover uma mobilidade mais sustentável e reduzir a dependência da rede elétrica convencional. O sistema permite injetar na rede a energia excedente gerada, quando os autocarros não estão a ser carregados. Isso contribui não apenas para a diminuição dos custos com energia elétrica, mas também fomenta o uso de fontes renováveis, reduzindo a necessidade de geração de energia através de fontes não renováveis, como o carvão e combustíveis fósseis.

O desenvolvimento deste projeto foi apoiado pelo software PVSol, um recurso profissional crucial para o dimensionamento fotovoltaico. Este software proporciona acesso a dados reais e atualizados, ferramentas e materiais diversos, possibilitando um dimensionamento mais eficiente e preciso.

O projeto foi realizado sob a tutela da empresa DST Solar, que não só forneceu as ferramentas e softwares necessários para a elaboração deste trabalho, mas também compartilhou diversas técnicas de desenvolvimento para um dimensionamento mais acurado.

Adicionalmente, realizou-se uma análise financeira através de simulação, proporcionando uma visão clara dos custos, investimentos e da taxa de retorno esperada para o projeto, considerando um período de vida útil de 20 anos.

Palavra-chave: Dimensionamento Fotovoltaico, Carregadores veículos elétricos, Fontes renováveis.

Abstract

This dissertation addresses the development of a photovoltaic sizing system integrated with electric bus chargers from TUB company. The main objective is to promote more sustainable mobility and reduce dependence on the conventional electric grid. The system allows the injection of surplus energy into the grid when the buses are not being charged. This contributes not only to the reduction of electric energy costs but also encourages the use of renewable energy sources, decreasing the need for energy generation from non-renewable sources, such as coal and fossil fuels.

The development of this project was supported by PVSol software, a crucial professional resource for photovoltaic sizing. This software provides access to real and updated data, various tools, and materials, enabling a more efficient and accurate sizing.

The project was carried out under the auspices of DST Solar, which not only provided the necessary tools and software for the development of this work but also shared various development techniques for more accurate sizing.

Additionally, a financial analysis was conducted through simulation, providing a clear view of the costs, investments, and expected rate of return for the project, considering a useful life period of 20 years.

Keyword: Photovoltaic Sizing, Electric Vehicle Chargers, Renewable Sources.

Índice

Agradecimentos.....	4
Resumo.....	6
Abstract.....	7
Índice.....	8
Índice de figuras.....	11
Índice de tabelas.....	14
Lista de Abreviaturas.....	15
1. Introdução.....	16
1.1. Objetivos.....	24
1.2. Enquadramento.....	24
1.3. A História da Energia no Mundo, na Europa e em Portugal.....	26
1.4. Produção de energia.....	28
1.5. Portugal na Europa e no Mundo.....	30
2. Energia Solar.....	31
2.1. Energia Solar Ativa e Passiva.....	31
2.2. Radiação Solar.....	32
3. Veículos Elétricos.....	36
3.1. A Revolução da Mobilidade Sustentável.....	36
3.2. Tipos de Veículos.....	38
3.2.1. Híbrido.....	38
3.2.2. Elétrico.....	38
3.3. Autocarros elétricos: o presente e o futuro do transporte público sustentável.....	39
3.4. Infraestruturas.....	40
3.4.1. Tipos de Carregamento de Autocarros Elétricos.....	41

3.4.2. Desafios e Soluções	41
4. Energia Solar Fotovoltaica	44
4.1. Enquadramento	44
4.2. Células Fotovoltaicas	45
4.2.1. Gerações das Células Fotovoltaicas e outras Tecnologias	48
4.3. Módulo Fotovoltaico.....	52
4.3.1. Moldura ou Frame	53
4.3.2. Vidro temperado.....	53
4.3.3. Material de Encapsulamento	53
4.3.4. Células fotovoltaicas.....	53
4.3.6. Material de Proteção ou <i>Blacksheet</i>	54
4.3.7. Caixa de junção.....	54
4.3.8. Associação de Módulos Fotovoltaicos Série/Paralelo	55
4.3.8.1. Associação em Série:.....	56
4.3.8.2. Associação em Paralelo.....	56
4.3.9. Manutenção de Sistemas Solares Fotovoltaicos.....	57
4.4. Inversores	57
4.5. Sistema de Armazenamento	60
4.5.1. Sistema de Gestão (BMS)	62
4.5.2. Reguladores de carga.....	63
4.5.3. Sistemas de Monitorização:	64
4.5.4. Monitorização de Consumo	64
4.6. Sistemas de Proteção Elétrica.....	66
4.6.1. Descarregadores de sobretensão (DST)	66
4.6.2. Fusíveis.....	67
4.6.3. Disjuntor	67

4.6.4. Interruptor Diferencial.....	68
4.7. Legislação Nacional para os Sistemas Solares Fotovoltaicos:	69
5. Caso de Estudo	73
5.1. As Organizações	73
5.1.1. Caracterização da DST Solar	73
5.1.2. Caracterização dos Transportes Urbanos de Braga (TUB)	74
5.2. Dimensionamento Fotovoltaico	75
5.2.1. Caracterização do Projeto	75
5.2.2. Características do Local	76
5.2.3. Caracterização da Instalação Fotovoltaica	76
5.2.3.1. Módulos Fotovoltaicos.....	76
5.2.3.2. Inversores	77
5.3. Estimativas	77
6. Resultados	81
6.1. Resultados da simulação do PVSol	81
7. Conclusão.....	88
8. Referências Bibliográficos	89
Anexos	93

Índice de figuras

Figura 1- Objetivos nacionais para o horizonte 2030, (PNEC 2030, 2019).....	19
Figura 2- Capacidade instalada do Parque Electroprodutor Português e metas para 2030, (APREN, 2020).....	20
Figura 3- Evolução da Potência Instalada em Portugal, (APREN, 2022).	20
Figura 4- Evolução da Produção Elétrica em Portugal Continental, (APREN, 2022).	21
Figura 5- Custo nivelado de eletricidade das tecnologias de produção de energia elétrica mundial, (adaptado de (IRENA, 2020)).	22
Figura 6- Decomposição dos preços de eletricidade não consumidores domésticos em 2020, (ERSE, 2020)	23
Figura 7- Decomposição dos preços de eletricidade consumidores domésticos em 2020, (ERSE, 2020).....	23
Figura 8- Exemplo de aproveitamento de energia solar ativa, (Franceloso, 2001).....	31
Figura 9- Exemplo de aproveitamento de energia solar passiva, (Franceloso, 2001).....	32
Figura 10- Componentes da radiação solar, (Magarreiro, Freitas, 2018).....	33
Figura 11- Constante radiação solar, (Portal Energia, 2004).....	34
Figura 12- Balanço energético solar, (Carlesso, Franciele, 2019).	34
Figura 13- Irradiação global direta, (adaptado de (SOLARGIS, 2021)).	35
Figura 14- Representação dos eventos principais na evolução das células fotovoltaicas, (CRESESB, CEPTEL, 2014).	45
Figura 15- Tipos de elementos e as suas bandas elétricas, (adaptado de (BlueSol, 2021)).	46
Figura 16- Constituição de uma célula fotovoltaica de silício, (Moraes, Caio, 2020).	46
Figura 17- Junção P-N de uma célula fotovoltaica de silício em equilíbrio, (Moraes, Caio, 2020).	47
Figura 18- Princípio básico de funcionamento de uma célula fotovoltaica, (Moraes, Caio, 2020).	48
Figura 19- Evolução da eficiência das várias tecnologias fotovoltaicas, (NREL, 2021).....	49
Figura 20- Comparação entre células de silício monocristalinas e policristalinas, (adaptado de (Moraes, Caio, 2020).....	50
Figura 21- Exemplo de célula do filme fino, (SOLARVIEW, 2020).	51

Figura 22- Exemplo de célula fotovoltaica de Perovskita, (CRESESB, CEPEL, 2014)	52
Figura 23- Constituição de um módulo fotovoltaico padrão, (Portal Solar, 2020).	52
Figura 24- Número de Busbar's numa célula fotovoltaica, (DS New Energy, 2019).	54
Figura 25- Caixa de junção de 3 díodos "bypass" e conexões, (CRESESB, CEPEL, 2014).	55
Figura 26- Constituição de conector MC4, negativo, (adaptado de, (Sunergia, 2019)).	55
Figura 27- Ligação de módulos em série com as mesmas tensões e correntes, (adaptado de (Alternative Energy, 2021)).	56
Figura 28- Ligação de módulos em paralelo, (adaptado de (Alternative Energy, 2021)).	56
Figura 29- Representação de os 3 tipos de sistemas fotovoltaicos, (adaptado de (Sunenergy, 2020)).	58
Figura 30- Diferentes tipos de Inversores	59
Figura 31- Representação de conexões elétricas e comunicação de um inversor Huawei Sun2000-100ktl, (adaptado de (Canal Solar, 2019)).	59
Figura 32- Esquema elétrico geral de um BMS, (Lithium Power Inc, 2021).	62
Figura 33- Exemplo de regulador de carga solar, da marca Victron, (Victron energy BLUE POWER, 2020).	63
Figura 34- Contadores de energia aparente, (edp, 2021).	65
Figura 35- Janitza UMG104, (Janitza, 2021).	65
Figura 36- Medidor de energia efergy, (efergy, 2021).	65
Figura 37- Esquema de funcionamento de DST, (EPFM Engenharia, 2021)	66
Figura 38- DST para corrente AC trifásica, da marca (OBO BETTERMANN, 2022).	66
Figura 39- Corta-circuitos porta fusíveis 10x38 3P+N, (Hager, 2021)	67
Figura 40- Constituição de um disjuntor magneto térmico, (Engenharia, Exclusiva, 2021).	68
Figura 41- Conceito de atuação do interruptor diferencial, para proteção de pessoas, (alemetec elétrica, 2019).	68
Figura 42- Evolução do setor fotovoltaico em Portugal, (APESF, 2013).	70
Figura 43- Local onde se procede a instalação do sistema fotovoltaico	76
Figura 44- Tipo de Sistema, Dados climáticos e Rede de simulação	78
Figura 45- Consumos da simulação (Fonte: PVSol).	78
Figura 46- Ilustração da montagem dos painéis fotovoltaicos	79
Figura 47- Degradação do módulo (Fonte: PVSol).	80
Figura 48- Desempenho do sistema por inversor (Fonte: PVSol).	80

Figura 49- Consumo kWh vs.Preço marginal €/kWh	81
Figura 50- Consumo kWh vs.Preço marginal €/kWh	82
Figura 51- Cobertura do consumo (Fonte: PVSol).....	83
Figura 52- Utilização da energia fotovoltaica (Fonte: PVSol)	84
Figura 53- Fluxo de Caixa.....	85
Figura 54- Fluxo de Caixa acumulado.....	85

Índice de tabelas

Tabela 1-Evolução dos principais indicadores energia e clima em Portugal, (adaptado de (DGEG A. O., 2021)).	17
Tabela 2- Valores de irradiação global, mensal [kWh/m ²], (PVGIS, 2021).	35
Tabela 3- Características principais das tecnologias de baterias eletroquímicas, (Ferraz, 2018).	61
Tabela 4- Legislação aplicada aos sistemas de produção fotovoltaica.	69
Tabela 5- Condições de exercício, DL n° 162/2019.	71
Tabela 6- Valores de registo UPAC, Portaria n°16/2020.	72
Tabela 7-Dados do Local do Dimensionamento.	79

Lista de Abreviaturas

ANP – Agência Nacional do Petróleo

BEV – Battery Electric Vehicle

BIPV – Building Integrated Photovoltaics

BTN - Baixa tensão normal

CA ou AC – Corrente Alternada

CAV- Contribuição para o Audiovisual

CC ou DC – Corrente Continua

CIEG - Custos de política energética, de sustentabilidade e de interesse económico geral

CT – Sensor de Corrente Elétrica

CUR – Comercializador de Último Recurso

CVT – Continuously variable transmission

DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia

DRE - Diário da República Eletrónico

EDP – Energias de Portugal

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

EUA – Estados Unidos da América

FCell – Células de Combustível

FCV – Fuel Cell Vehicle

FER - Fontes de energia renováveis

GEE – Gases de Efeito Estufa

HEV- Hybrid Electric Vehicles

IEA – International Energy Agency

IEC- Imposto Especial de Consumo de Eletricidade

NREL – National Renewable Energy Laboratory

OMIE – Organização do Mercado Ibérico de Energia

PEM – Polymer Electrolyte Membrane

PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicle

PT - Posto de transformação

PV - Fotovoltaico

RESP - Rede elétrica de serviço público

1. Introdução

No âmbito do estágio curricular do Mestrado em Ciências e Tecnologias do Ambiente, procedeu-se a um projeto de implementação de um sistema de carregamento de veículos elétricos por meio de energia elétrica gerada por painéis fotovoltaicos. Este projeto segue especificações para o sistema fotovoltaico determinadas pelo Decreto-Lei n.º 153/2014 (República Portuguesa, 2014), de 20 de outubro e pelas Portarias n.ºs 14/2015 e 15/2015, ambas de 23 de janeiro (República Portuguesa, 2015a; 2015b).

Com esta dissertação, pretende-se mostrar como as energias renováveis podem contribuir para um desenvolvimento sustentável do nosso país e mundo.

Atualmente, há um grande mercado de energias renováveis focado no aproveitamento da energia solar ativa. Estes sistemas de produção de energia, têm inúmeras vantagens para o consumidor final, pois quando as condições atmosféricas são favoráveis, em simultâneo com uma boa gestão dos recursos disponíveis, é possível obter um elevado rendimento dos sistemas e em certos momentos, o consumidor pode até tornar-se energeticamente autónomo.

Nos dias de hoje, a sociedade está completamente dependente da energia elétrica, visto que é um dos bens mais essenciais para o quotidiano da comunidade onde vivemos. A energia é ainda de um dos fatores mais importantes para o desenvolvimento económico e social dos países. Quase todos os equipamentos dependem de eletricidade, seja no âmbito doméstico, industrial ou mesmo no transporte.

É possível obter energia elétrica a partir de dois tipos de fontes. Fontes de energia não renovável, que são aquelas em que as reservas são limitadas, ou seja, que se esgotam à medida que são consumidas como por exemplo os combustíveis fósseis (carvão, gás natural, petróleo). Por outro lado, temos as fontes de energia renovável (FER), que, consoante a gestão feita, podem ser infinitas, o que significa que recorrendo aos principais elementos naturais que o nosso planeta dispõe estas FER podem ser reabastecidas, e temos como exemplo de FER a energia solar, hídrica, eólica, geotérmica entre outras.

O ser humano tem gerado, ao longo dos tempos, consequências no equilíbrio do planeta, devido ao consumo de forma inconsequente dos combustíveis fósseis, (...) a extinção de espécies e aquecimento global tem vindo a ficar um pouco fora do nosso controlo, o que leva ao agravamento na saúde da população. Desta forma, um dos aspetos a ter mais atenção na

escolha de fontes energéticas, que devem compor a matriz energética de um país, é todo o impacto causado pelo uso dessa mesma fonte energética. Assim, é neste sentido que grande parte das tecnologias utilizadas por FER têm um papel fundamental para colmatar esses mesmo problemas. No entanto, apesar de estas se apresentarem como energias limpas existe, como é obvio, sempre algum impacto residual que deve ser levado em consideração seja esse impacto ambiental, visual ou sonoro.

A tarefa de atingir as metas estabelecidas por protocolo como o de Quioto ou como o Acordo de Paris, não tem sido fácil, isto porque os desafios que são colocados à sociedade devem ser coordenados por uma ação política, energética e climática. Apenas desta forma será possível seguir o rumo certo e levar a sociedade a uma economia neutra em carbono, que simultaneamente impulse um crescimento económico e uma melhoria da qualidade de vida.

No ano de 2016, na Conferência das Partes da Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas (CQNUAC), Portugal comprometeu-se a cumprir um Roteiro para a Neutralidade Carbónica até 2050 (RNC 2050), onde estabeleceu a visão e as trajetórias a serem tomadas para as políticas nesse determinado intervalo de tempo (PNEC 2030, 2019).

Portugal é um dos países que mais se continua a destacar internacionalmente, e que nos últimos anos tem demonstrado um maior número de resultados positivos relativamente à redução de emissões de GEE (Gases Efeito Estufa) e implementação de FER.

Observa-se pela tabela 1, que Portugal tem vindo a consolidar cada vez mais uma trajetória de descarbonização, verificando-se assim que de 2005 até 2020 existe uma grande variação em alguns indicadores. O aumento da produção através de energia renovável, tem sido utilizada para reduzir as emissões do sector electroprodutor, que em conjunto com o encerramento das centrais a carvão de Sines e Pego, proporcionou um valor das emissões muito reduzido quando comparado ao início do século.

Tabela 1-Evolução dos principais indicadores energia e clima em Portugal, (adaptado de (DGEG A. O., 2021)).

Indicador	Unidade	2005	2010	2015	2020
Dependência Energética	%	88%	76%	76%	65%
Emissões Totais	Mton CO2e	82,1	76,7	63,9	63,6
Saldo Importador	ktep	24797	18595	18592	14471
Intensidade energética em Energia Primária	tep/M€ 2016	146	121	124	111
Fontes de Energias Renováveis na Eletricidade	%	28%	41%	53%	58%
Consumo Total de Energia Renovável	ktep	3392	5417	5517	6224

Portugal com o propósito de uma economia neutra em carbono, apresenta fortes argumentos para estar na vanguarda da transição energética.

Neste sentido, o Plano Nacional Energia e Clima (PNEC), que se trata de uma peça política fundamental para o asseguramento das metas estratégicas da neutralidade carbónica em matéria de energia e clima, está muito orientado para o futuro e para os objetivos que o nosso país deve ter a longo prazo.

O objetivo que está no horizonte de Portugal para 2030 passa por reduzir as emissões de CO₂ e reduzir o consumo de energia primária, aumentando assim o contributo e conseqüente consumo das FER. Outro dos grandes objetivos de Portugal para esse mesmo ano é o da eletrificação dos transportes públicos que demonstra um maior apoio à sustentabilidade e a um incentivo para o uso desses mesmo transportes.

De forma gradual, tem sido verificado uma maior a perceção da sociedade sobre os temas de energia limpa e de FER. No entanto, para dar uma maior forma ao plano estratégico de Portugal e garantir o cumprimento dos objetivos para o horizonte de 2030, foram definidos oito grandes objetivos nacionais com foco na energia e no clima, apresentados na figura 1.

O grande fator decisivo para a redução de emissões carbónicas passará mesmo pela diminuição da dependência energética proveniente de combustíveis fósseis.



Figura 1- Objetivos nacionais para o horizonte 2030, (PNEC 2030, 2019).

Concebe-se ainda que em 2030 as FER serão responsáveis por mais de 28GW instalados. A energia solar será responsável por a maior parte desta contribuição, seguida pela eólica e hídrica, conforme é possível verificar na figura 2 (Deloitte, 2019).

Na figura 2 observa-se que as tecnologias renováveis com mais potência instalada nas últimas décadas foram a hídrica e a eólica, no entanto, é possível perceber que a energia solar fotovoltaica começa cada vez mais a crescer e implementar-se na matriz energética nacional.

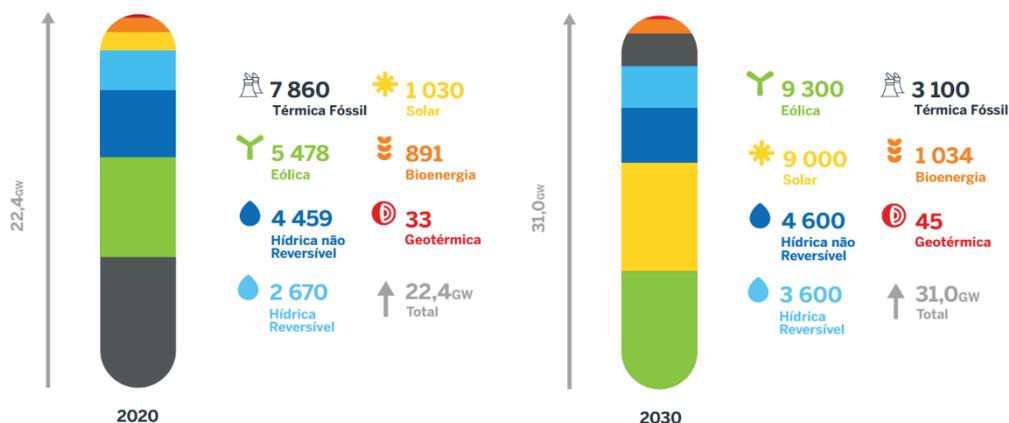


Figura 2- Capacidade instalada do Parque Electroprodutor Português e metas para 2030, (APREN, 2020).

Em 2021 foram instalados 853MW em fontes de energia renovável, um aumento considerável em comparação aos 139MW instalados em 2020, e este aumento deve-se aos grandes investimentos nas FER, mas também aos atrasos de projetos devido à pandemia Covid19 (APREN,2022).

Com base na Figura 3, verifica-se que as tecnologias renováveis com maior potência instalada nas últimas décadas foram a hídrica e a eólica. No entanto, é evidente que a energia solar fotovoltaica está a começar a se integrar cada vez mais na matriz energética do país. Em termos relativos, a energia fotovoltaica foi a que mais cresceu, passando de uma potência instalada residual para 1,8 GW.

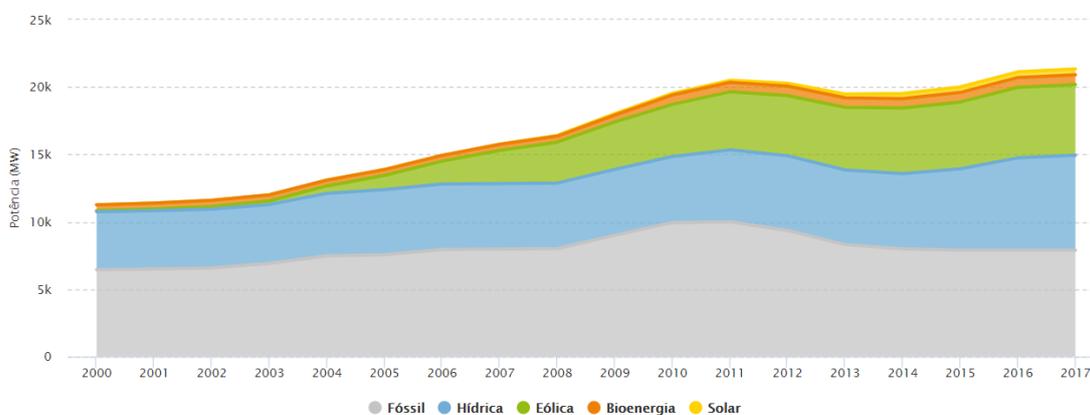


Figura 3- Evolução da Potência Instalada em Portugal, (APREN, 2022).

Através da figura 4 é observável que no início do século XXI, as FER começaram a ter um papel mais relevante e, gradualmente, foram ganhando terreno na matriz energética nacional e mundial.

É também possível visualizar que a produção de energia não consegue cobrir o consumo o que significa que será necessário importar energia.

Contudo, em maio de 2016, um ano repleto de metas atingidas, Portugal teve um consumo de eletricidade assegurado por energia renovável por 107 horas consecutivas e registou-se mais de um mês e meio em que a produção proveniente de FER foi suficiente para abastecer o consumo nacional, obtendo assim um saldo exportador recorde entre Portugal e Espanha (ZERO,2022).

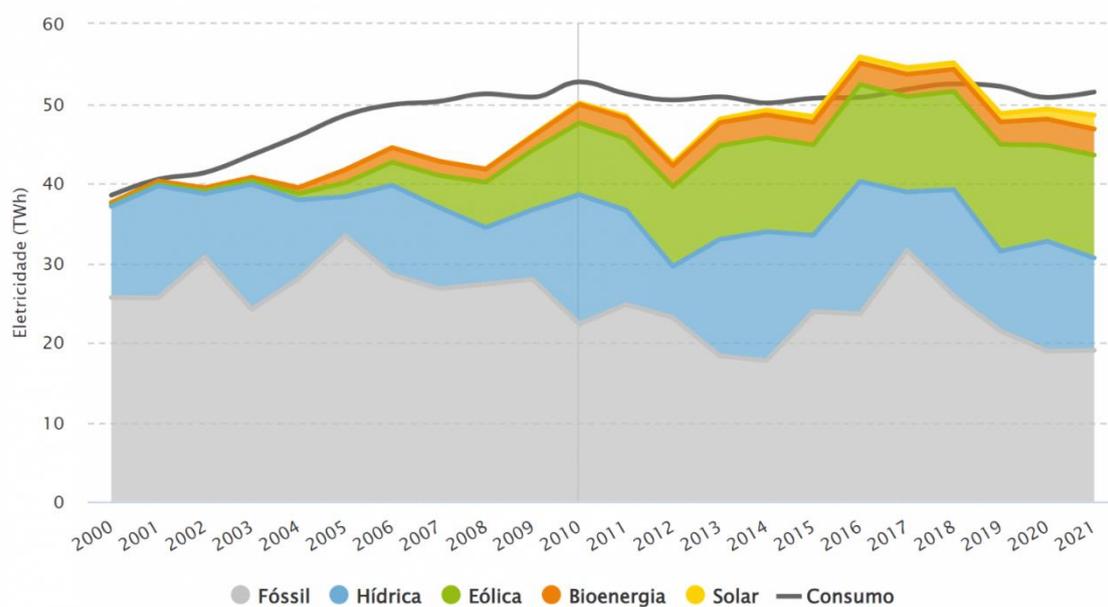


Figura 4- Evolução da Produção Elétrica em Portugal Continental, (APREN, 2022).

Uma longa lista de vantagens é associada às energias renováveis, desde a não contribuição para o efeito de estufa, não necessitarem de importação, reduzirem perdas nas redes de transporte e distribuição e ainda a movimentação da economia como na criação de empregos.

A fonte solar, entre 2014 e 2018, foi a que gerou mais emprego por capacidade instalada, verificando-se em média cerca de 10 colaboradores por MW instalado, valor 5 vezes superior ao da fonte hídrica (Deloitte, 2019).

Para instalar uma central de produção de energia, independentemente da fonte, é essencial considerar um dos principais fatores: o Levelized Cost of Energy (LCOE). Este fator é usado para comparar várias tecnologias de produção de energia, permitindo compreender o custo total associado à produção de energia de acordo com sua tipologia.

Assim, de forma generalizada, para se obter este indicador são calculados: os custos de investimento, Investimentos em Bens de Capital (CAPEX), os custos operacionais (OPEX), e uma estimativa da produção que o sistema é capaz de gerar durante o período em que pode ser utilizado.

A figura 5 apresenta o LCOE a nível mundial para diferentes tecnologias de produção de energia renovável, e através desta, é comparado o custo por kWh. É possível observar que nas últimas duas décadas o custo do MWh, produzido através da tecnologia solar fotovoltaica, sofreu uma enorme redução, iniciando em 2010 com os valores mais elevados que rondavam os 300€/MWh, reduzindo em 2020 para 60€/MWh.

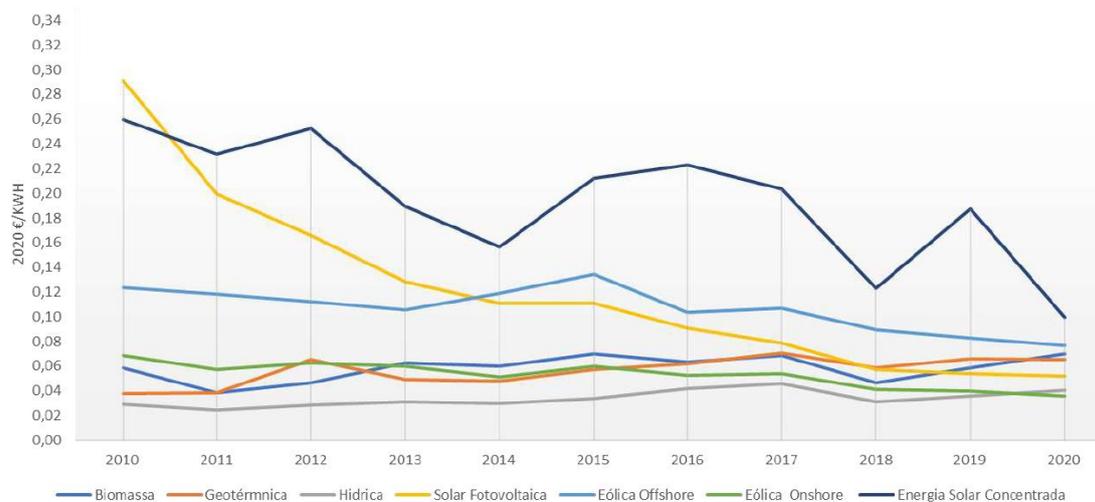


Figura 5- Custo nivelado de eletricidade das tecnologias de produção de energia elétrica mundial, (adaptado de (IRENA, 2020)).

Portugal era em 2020 o sétimo país na União Europeia com preços de energia elétrica mais elevados (ERSE,2020).

Com base nas figuras 6 e 7, observa-se a posição de Portugal relativamente aos outros países da Europa seja no setor doméstico ou industrial.

É ainda possível observar que para o valor da componente de energia e redes mantém-se próxima da média da União Europeia, corresponde a 54% do valor final para o setor doméstico e 70% para o setor industrial, no entanto, a componentes das taxas e impostos é a mais elevada da EU, fundamentalmente devido a Custos de Interesse Economico Geral (CIEG).

Os impostos que refletem o elevado custo de kWh elétrico em Portugal são o IVA de eletricidade, a Taxa de Exploração da Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), que é uma taxa de utilização e exploração das instalações elétricas, o Imposto Especial de Consumo de Eletricidade (IEC) com uma taxa fixa para Portugal continental de 0.001 €/kWh, a Contribuição para o Audiovisual (CAV) destinada a financiar o serviço publico de radiodifusão e televisão e os CIEG's que são os custos de política energética, ambiental ou de interesse económico geral associados à produção de energia elétrica e aos custos de sustentabilidade de mercado.

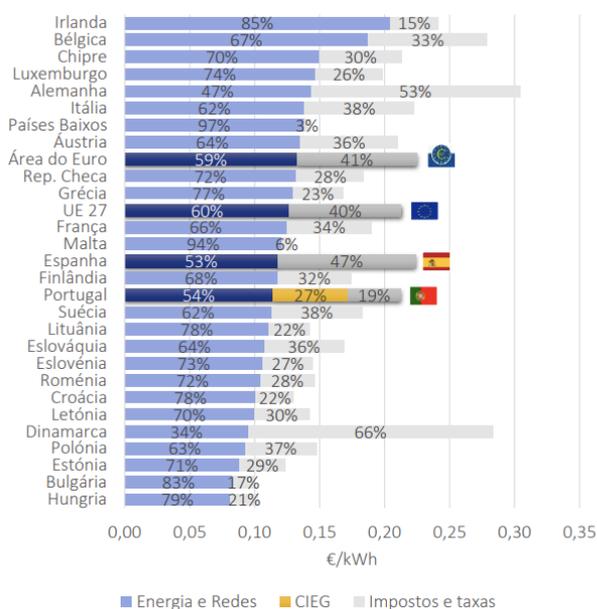


Figura 7- Decomposição dos preços de eletricidade consumidores domésticos em 2020, (ERSE, 2020)

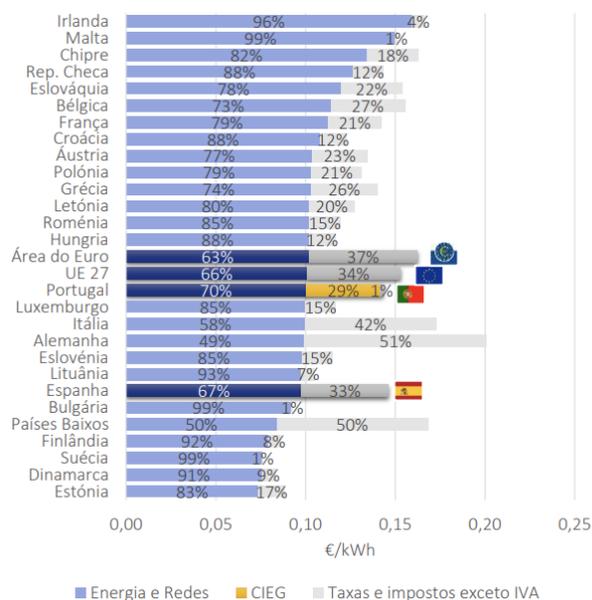


Figura 6- Decomposição dos preços de eletricidade consumidores não domésticos em 2020, (ERSE, 2020)

1.1. Objetivos

O principal objetivo de estágio numa empresa é promover a oportunidade de lidar com o mundo empresarial e com casos reais, acompanhado por equipas especializadas, aplicando todo o conhecimento adquirido ao longo da formação académica.

Nesse sentido, acompanhamento técnico/comercial de projetos de produção de energia solar fotovoltaica e térmica, onde é necessário realizar uma proposta comercial, efetuando estudos prévios com base em todas as componentes relevantes, apresentando ao cliente a melhor solução a implementar. As componentes tidas em conta são: as condições geográficas, consumos energéticos, tecnologia a instalar e por fim os custos associados a todo processo.

Permitir a utilização de ferramentas de dimensionamento, desde folhas de cálculo criadas pela empresa, e softwares especializados, que são: AutoCad, um software bastante utilizado na representação de implantações dos módulos em 2D, esquemas unifilares, distribuição das string's; e o PVSol, que é a ferramenta principal para dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos, podendo efetuar os vários estudos da instalação, desde a produção fotovoltaica necessária para cobrir os consumos, efetuar cálculos de perdas, sombreamentos possíveis causados aos módulos fotovoltaicos, análises financeiras e também apresentar uma modelagem 3D da instalação, etc.

Constituem objetivos deste trabalho:

- Dimensionar um sistema de geração de energia elétrica utilizando painéis fotovoltaicos;
- Utilizar a energia gerada num sistema de carregamento de veículos elétricos;
- A partir das formas de carregamento existentes, verificar o potencial económico do projeto e o impacto de redução no consumo à RESP – Rede Elétrica de Serviço Público;
- Verificar/Quantificar as emissões indiretas no consumo de energia elétrica na RESP e sua redução com o sistema fotovoltaico;
- Desenvolver um planeamento de cargas e necessidades, para alcançar uma eficiência máxima dentro das possibilidades.

1.2. Enquadramento

O mercado energético sempre sofreu e sofrerá mudanças ao longo dos anos, desde a idade da pedra até o futuro. Nós fazemos parte de um pequeno trecho dessa história, mas cada ação

reflete-se no nosso tempo e no futuro. As atividades humanas são altamente dependentes do uso de diversas formas e fontes de energia para realizar trabalhos.

A famosa frase do —pai da química moderna, Antoine Laurent Lavoisier dizia —Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma, chega a ser animadora, mas as transformações na natureza podem ser lentas.

Energia tem diversas vertentes e significados, podemos resumi-las neste estudo como a conversão de um tipo de energia em outro tipo de energia útil, seja a energia elétrica ou a energia necessária para movimentar um objeto, neste caso um veículo.

As mudanças e escolhas de como utilizar as fontes de energia são realizadas pelas comunidades, dependendo da sua cultura, costumes, localização geográfica e da influência dos seus governantes, que nem sempre verificam os impactos ecológicos e financeiros dessas escolhas.

Um exemplo de uma forma de escolha de energia no nosso dia-a-dia é como aquecemos as águas quentes sanitárias. Na Europa é comum o uso das caldeiras ou esquentadores de água a gás ou lenha, enquanto em países da América do Sul é comum utilizar esquentadores elétricos ou os chuveiros elétricos. O uso de esquentadores a gás também existe, porém, em número insignificante comparado ao sistema elétrico e normalmente em usos comerciais como hotéis.

Uma amostra simples de como alterar a escolha da fonte de energia pelo desenvolvimento tecnológico foi a substituição do frigorífico a querosene ou gás engarrafado pelo frigorífico elétrico.

Esta tecnologia com motor térmico foi alterada para um motor elétrico. Os frigoríficos a querosene foram fabricados até cerca de 1960 e podem ainda ser encontrados em locais sem acesso a energia elétrica.

Existem diversas formas de energia, as quais incluem a energia mecânica, térmica, química, elétrica, radiante e atômica, sendo todas passíveis de conversão. As formas de energia vêm de recursos classificados como renováveis e não renováveis.

O conceito de renováveis é baseado na escala humana de eventos e se a fonte pode ser renovada naquele período.

Combustíveis fósseis são o senso comum de recurso energético não-renovável, pelo fato de as reservas de petróleo e gás natural necessitarem de milhões de anos para se autorrenovadas.

Inversamente a madeira, como biomassa, é uma fonte de energia renovável, desde que as condições sejam adequadas para esta renovação. Devido a velocidade da ocorrência de desmatamento e destruição do ecossistema, em algumas regiões, a biomassa pode ser considerada como uma fonte não renovável de energia.

Neste projeto será abordada a estratégia de utilizar um sistema de geração solar fotovoltaica, substituindo a RESP na carga de Veículos Elétricos, que por sua vez substituem veículos convencionais.

A importância destas aplicações, mesmo que individuais, é baseada na possibilidade de reduzir os consumos e impactos ambientais de uma maneira local, como também reduzir a dependência de alguns sectores energéticos e de outros países.

Os novos sistemas bidirecionais de carga e descarga de veículos elétricos utilizam os veículos como uma rede de armazenamento de energia elétrica, a qual pode ser utilizada em horas de ponta, ou em avarias ou em emergências na rede de distribuição.

O sistema bidirecional entra num conceito de redução da utilização das centrais termoelétricas nos horários de ponta, as quais consomem combustíveis fósseis como o carvão.

Este modelo energético contribui para um futuro dos veículos elétricos associado às fontes renováveis de energia. As condições climáticas em que vivemos viabilizam as escolhas e necessidades por sistemas sustentáveis e renováveis.

1.3. A História da Energia no Mundo, na Europa e em Portugal

A história da energia no mundo é longa e complexa, tendo acompanhado a evolução da humanidade desde os tempos mais remotos. Desde a descoberta do fogo até à Revolução Industrial, a energia foi sendo utilizada essencialmente de forma direta, através da queima de biomassa ou carvão. A partir da Revolução Industrial, iniciou-se a utilização de combustíveis fósseis em larga escala, como o carvão, o petróleo e o gás natural, que vieram a tornar-se a principal fonte de energia do mundo durante mais de um século (Smil, 2017).

No entanto, nas últimas décadas, tem-se assistido a uma crescente preocupação com as alterações climáticas e a necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Isto tem levado a um crescente interesse pelas energias renováveis, como a energia eólica, solar, hídrica e geotérmica, que se apresentam como alternativas mais sustentáveis aos combustíveis fósseis. Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA), as energias renováveis representaram cerca de 30% da produção de eletricidade a nível mundial em 2020 (IEA, 2021).

Na Europa, a União Europeia (UE) tem vindo a desempenhar um papel fundamental na promoção das energias renováveis. Desde o início dos anos 2000, têm sido implementados diversos instrumentos de política energética que visam aumentar a quota de energias renováveis no panorama energético da UE. O objetivo é alcançar uma quota de 32% de energias renováveis no consumo final de energia na UE até 2030, de acordo com o pacote legislativo "Energias Limpas para Todos os Europeus" adotado em 2019 (IEA, 2021).

Em Portugal, a transição energética tem sido um tema central nas políticas públicas desde a década de 1990. A partir de 2005, Portugal iniciou um processo de aposta nas energias renováveis, em particular na energia eólica e solar, que permitiu que, em 2020, as energias renováveis representassem cerca de 59% do consumo final de energia elétrica no país (Direção-Geral de Energia e Geologia, 2021). Este processo de transição energética foi acompanhado por um conjunto de instrumentos de planeamento e de política pública, como o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER) e o Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC 2030), que têm como objetivo acelerar a transição para uma economia de baixo carbono em Portugal (Ribeiro, 2017).

Além da produção de eletricidade, as energias renováveis têm também vindo a ser utilizadas em outras áreas, como os transportes. Os veículos elétricos, que são alimentados por baterias recarregáveis, representam uma forma cada vez mais popular de utilização de energia renovável. A sua utilização tem vindo a crescer em todo o mundo, impulsionada por políticas públicas de incentivo à mobilidade elétrica e pela redução dos custos dos veículos elétricos e das baterias. Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA), em 2020, havia mais de 10 milhões de veículos elétricos em circulação em todo o mundo (IEA, 2021).

A utilização de energias renováveis em veículos elétricos permite reduzir significativamente as emissões de gases de efeito estufa associadas ao transporte, uma vez que a produção de

eletricidade a partir de fontes renováveis é muito menos intensiva em carbono do que a produção de energia a partir de combustíveis fósseis (IRENA, 2019).

Além disso, a utilização de veículos elétricos permite reduzir a dependência dos combustíveis fósseis importados, melhorar a qualidade do ar nas cidades e reduzir o ruído urbano (IEA, 2021).

Portanto, a história da energia no mundo é marcada por uma evolução constante, da utilização direta de fontes de energia primárias até ao desenvolvimento de tecnologias mais avançadas para a produção e utilização de energia. As energias renováveis têm vindo a ganhar cada vez mais importância, em especial nas últimas décadas, como uma alternativa mais sustentável aos combustíveis fósseis. A União Europeia tem desempenhado um papel fundamental na promoção das energias renováveis, tendo definido metas ambiciosas para aumentar a quota de energias renováveis no consumo final de energia na UE até 2030. Portugal tem sido um exemplo no que diz respeito à transição para uma economia de baixo carbono, tendo investido fortemente em energias renováveis desde a década de 2000. A utilização de energias renováveis em veículos elétricos é uma das principais tendências atuais na área da energia, permitindo reduzir significativamente as emissões de gases de efeito estufa associadas ao transporte.

1.4. Produção de energia

A produção de energia é essencial para o funcionamento de qualquer sociedade moderna. Desde a Revolução Industrial do século XVIII, a humanidade tem usado cada vez mais energia para alimentar seu crescimento e desenvolvimento (Smil, 2017). No entanto, a produção de energia é responsável por cerca de 60% das emissões globais de gases de efeito estufa, o que contribui significativamente para o aquecimento global e as mudanças climáticas (Höök et al., 2018). Com o objetivo de limitar os impactos das mudanças climáticas, governos e empresas de todo o mundo têm investido em tecnologias de produção de energia mais limpa e sustentável.

No mundo, a produção de energia é dominada pelos combustíveis fósseis, que são responsáveis por cerca de 84% da produção de energia primária (REN21, 2021). O petróleo é o combustível fóssil mais usado, seguido do carvão e do gás natural. No entanto, nos últimos anos, houve um aumento significativo na produção de energia renovável em todo o mundo, como energia solar, eólica, hidrelétrica e geotérmica (REN21, 2021). Segundo a Agência Internacional de Energia

(AIE), a produção de energia renovável deve crescer 70% até 2030 para que o mundo possa atingir a meta de limitar o aquecimento global a 1,5°C (AIE, 2021).

Na Europa, a dependência de combustíveis fósseis é menor do que a média global. A União Europeia (UE) definiu metas ambiciosas para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e aumentar a participação de fontes de energia renovável em sua matriz energética. Em 2020, a produção de energia renovável na UE representou 38% da produção total de eletricidade (European Commission, 2021). Os principais países produtores de energia renovável na UE são a Alemanha, Espanha, Itália, França e Reino Unido (REN21, 2021).

Em Portugal, a produção de energia elétrica é dominada pela energia renovável, com destaque para a energia eólica e hidroelétrica. Em 2020, a energia renovável representou 67,7% da produção total de eletricidade em Portugal (REN, 2021). A energia eólica é a principal fonte de energia renovável em Portugal, representando cerca de 27,5% da produção total de eletricidade em 2020 (REN, 2021). O país tem um grande potencial para a produção de energia eólica, graças à sua localização geográfica e aos ventos fortes que sopram ao longo da costa atlântica. A energia hidroelétrica é outra importante fonte de energia renovável em Portugal, representando cerca de 23,3% da produção total de eletricidade em 2020 (REN, 2021).

A transição para uma matriz energética mais limpa e renovável é essencial para mitigar os impactos ambientais e alcançar objetivos globais, como limitar o aquecimento global a 1,5°C (International Energy Agency, 2020). No entanto, essa transição não é apenas uma questão técnica ou económica, mas também social e política. É necessário envolver todas as partes interessadas, incluindo governos, setor privado, sociedade civil e comunidades locais, para garantir uma transição justa e equitativa para todos (Heidari, 2021).

É importante notar que a produção de energia renovável também pode ter impactos ambientais e sociais negativos, como a ocupação de terras, a fragmentação de habitats e conflitos com comunidades locais (Aras & Crowe, 2010). Portanto, é fundamental garantir a implementação de políticas e práticas sustentáveis e responsáveis em todas as fases do ciclo de vida da produção de energia renovável.

Portugal é um exemplo positivo de como a produção de energia renovável pode ser integrada com sucesso em uma matriz energética nacional (European Commission, 2019). No entanto, ainda há desafios significativos a serem superados em termos de infraestrutura e políticas. É

importante envolver todas as partes interessadas e garantir práticas sustentáveis e responsáveis em todas as fases do ciclo de vida da produção de energia renovável (Shakeri, 2021).

Em conclusão, a produção de energia é essencial para o desenvolvimento humano e económico, mas também tem impactos significativos no meio ambiente e nas mudanças climáticas. A transição para uma matriz energética mais limpa e renovável é fundamental para mitigar esses impactos e alcançar objetivos ambientais globais.

1.5. Portugal na Europa e no Mundo

Portugal tem enfrentado desafios significativos no setor energético, principalmente no que diz respeito à sua dependência de fontes energéticas externas (Sánchez-Urán, 2021). No entanto, nos últimos anos, o país tem dado passos significativos para mudar sua matriz energética, com a adoção de políticas que visam promover a eficiência energética e o uso de fontes renováveis.

Atualmente, Portugal é um dos líderes na Europa em energia renovável, com mais de 50% da eletricidade gerada a partir de fontes renováveis em 2020 (Agência Internacional de Energia Renovável, 2021). O país tem uma forte presença em energia eólica, solar e hidroelétrica, com grandes parques eólicos onshore em operação e uma das maiores barragens da Europa, a Barragem do Alqueva.

No contexto mundial, Portugal é visto como um exemplo a seguir em termos de transição energética (Sánchez-Urán, 2021). Em 2018, o país foi o primeiro a obter 100% da eletricidade de fontes renováveis por mais de 100 horas consecutivas (Agência Internacional de Energia, 2021), e em 2021 o país foi o primeiro a produzir hidrogénio verde a partir de energia eólica (Público, 2021).

No entanto, Portugal ainda enfrenta desafios significativos no setor energético, incluindo a necessidade de melhorar a eficiência energética, reduzir a dependência de combustíveis fósseis e lidar com a intermitência das fontes renováveis. Além disso, a dependência de combustíveis fósseis para transportes ainda é alta, representando cerca de 70% das emissões de CO₂ do setor de transportes (Sánchez-Urán, 2021).

Para enfrentar esses desafios, Portugal tem adotado políticas para promover a eficiência energética e incentivar a transição para fontes renováveis. Em 2020, o governo lançou um plano

de recuperação económica com foco na transição energética, com investimentos significativos em energias renováveis, mobilidade elétrica e eficiência energética (Agência Internacional de Energia, 2021).

2. Energia Solar

2.1. Energia Solar Ativa e Passiva

Existem, de maneira geral, dois tipos de aproveitamento de energia solar conhecidos, sendo estes a energia solar ativa e a energia solar passiva.

A energia solar ativa trata-se de um processo de transformação de energia através de certas tecnologias, como por exemplo a utilização de painéis fotovoltaicos onde ocorre a conversão de energia solar para energia elétrica, conforme ilustrado na figura 8.

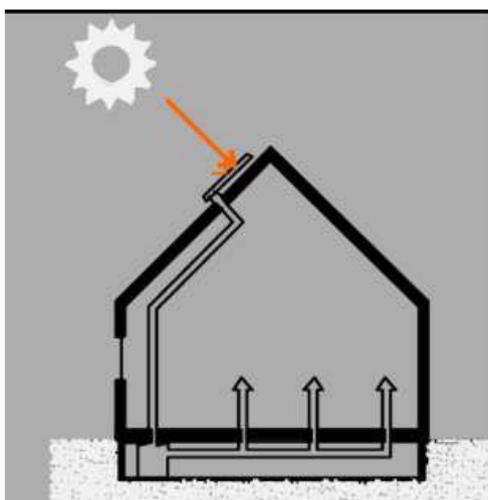


Figura 8- Exemplo de aproveitamento de energia solar ativa, (Frاندoloso, 2001).

Relativamente à energia solar passiva, conforme ilustrado na figura 9, tem como principal objetivo implementar as suas técnicas e usar diferentes materiais para atingir o máximo de aproveitamento direto de energia solar, sem que seja necessário ocorrer nenhum processo de

conversão. Desta forma, cada vez mais os edifícios são projetados com base neste conceito, desde a posição do edifício, tipo de janelas utilizadas, paredes, pisos, etc. (Wall, M.,2007).

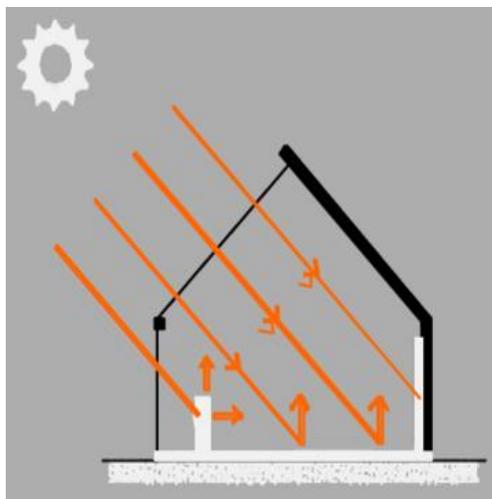


Figura 9- Exemplo de aproveitamento de energia solar passiva, (Frاندoloso, 2001).

As leis da termodinâmica desempenham um papel fulcral neste aspeto, visto que as transferências de calor são a base da energia solar passiva.

2.2. Radiação Solar

Quando se menciona energia solar, é importante considerar que esta é a maior fonte de energia e também a mais sustentável para o meio ambiente. Quase toda a luz que ilumina o nosso planeta, seja de forma direta ou indireta, vem ou veio da estrela que habita no sistema solar. Desde a luz natural do dia, que consiste numa radiação eletromagnética na região do visível proveniente do Sol. A energia que está a ser consumida pode advir de fontes renováveis ou não renováveis, como mencionado por Magarreiro Freitas (2018).

É de notar que de toda a radiação solar que atinge a atmosfera terrestre, apenas uma parte chega à superfície, isto porque a própria atmosfera também tem capacidades absorvedoras e dispersoras da luz solar. Deste modo, devemos ter em consideração vários processos decisivos que ocorrem na absorção e dispersão da luz por parte dos gases e partículas atmosféricos, afetando os diferentes comprimentos de onda da radiação solar incidente.

Através da figura 10 podemos verificar que a radiação solar é recepcionada na superfície terrestre de três formas:

A radiação direta é aquela que projeta sombras e atinge a superfície sem sofrer mudança de direção. Por outro lado, a radiação difusa incide indiretamente na superfície terrestre e inclui também a radiação refletida pela própria superfície. A soma da radiação direta e difusa constitui a radiação solar global para uma superfície horizontal, conforme descrito por Ovelha (2017).

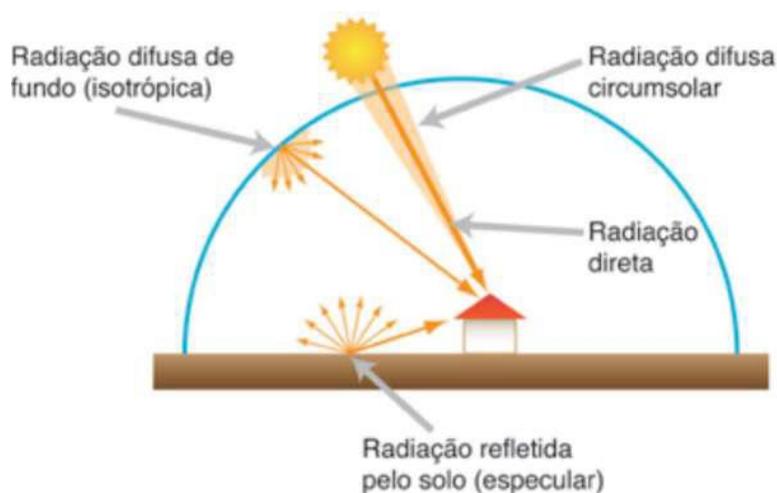


Figura 10- Componentes da radiação solar, (Magarreiro, Freitas, 2018).

O efeito da radiação solar consiste na energia emitida pelo Sol que alcança a atmosfera na forma de ondas eletromagnéticas, as quais podem propagar-se livremente no ar, água, vidro e outros materiais transparentes. A unidade comumente associada à radiação solar é o Watt (W); no entanto, a intensidade com que a radiação solar atinge o nosso planeta é denominada de irradiação, medida em watts por metro quadrado [W/m^2] (Pereira,2017).

A irradiação global anual é calculada pela radiação solar que incide na superfície terrestre durante um ano, e é medida por watt-hora por m^2 [Wh/m^2].

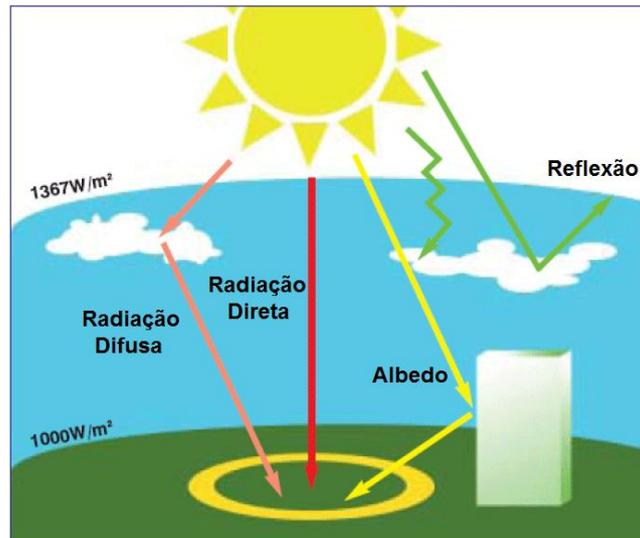


Figura 11- Constante radiação solar, (Portal Energia, 2004).

Ao longo de um ano a disposição entre a Terra e o Sol varia, consequentemente, também a irradiação varia entre 1325 W/m^2 e 1412 W/m^2 , sendo o valor médio designado por constante solar $G_{cs}=1367 \text{ W/m}^2$.

Contudo, apenas uma parte da quantidade total da radiação solar atinge a superfície da terra, como é observável pela figura 12, a própria atmosfera é assim responsável pela absorção e reflexão, atingindo um total aproximado de 1000 W/m^2 ao meio-dia, em boas condições climáticas, independentemente da localização, (Portal Energia, 2004).

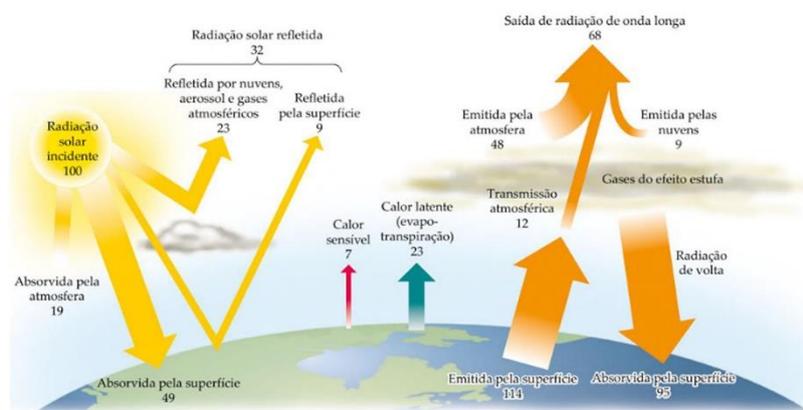


Figura 12- Balanço energético solar, (Carlesso, Franciele, 2019).

Na figura 13, podemos visualizar através de um esquema de cores os níveis de irradiação solar direta e na tabela 2 em complemento à figura 14, consegue-se perceber que a irradiação solar varia consoante as regiões.

Vemos que as irradiações solares globais, em regiões situadas perto do Equador, podem ultrapassar os 2300 kWh/m² por ano, já no sul da Europa não deverão exceder os 1900 kWh/m².

Em Portugal, este valor poderá situar-se entre os 1300 kWh/m² e os 1800 kWh/m², (Portal Energia, 2004).

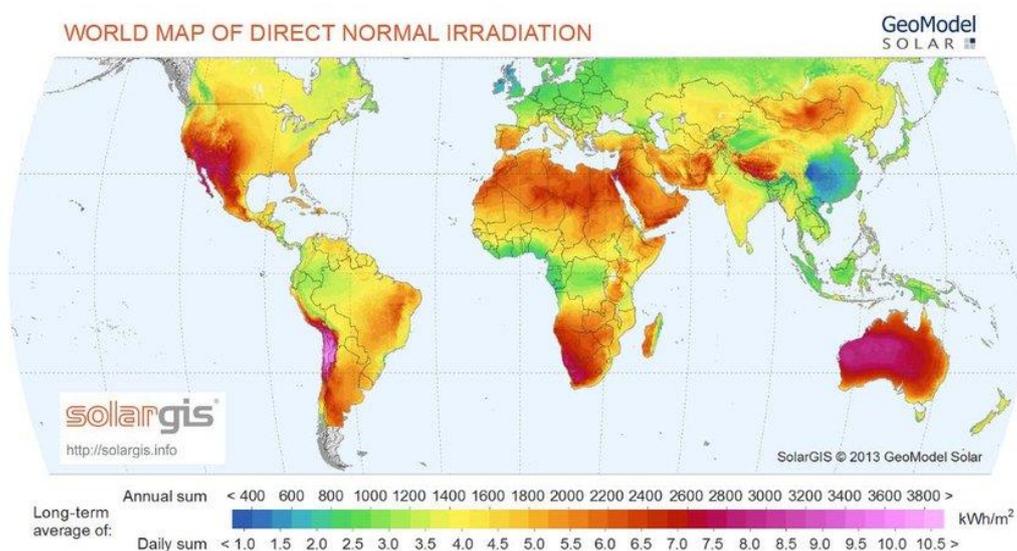


Figura 13- Irradiação global direta, (adaptado de (SOLARGIS, 2021)).

Tabela 2- Valores de irradiação global, mensal [kWh/m²], (PVGIS, 2021).

Irradiação Global	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média
Portugal	83	107,38	131	165	211	230	231	214	165	98,4	71,17	63	147,5
Egipto	157	165,89	222	235	254	246	254	242	212	197	163,4	148	208
Canadá	20	37,76	83	130	173	156	187	140	105	61,7	25,78	17,1	94,63
Noruega	2	8,53	50	96,9	117	143	144	112	67,1	36,1	6,57	1,42	65,45
Alemanha	19	30,25	75	144	153	168	159	126	111	74,9	24,95	16	91,6

A quantidade de energia que chega à superfície terrestre proveniente do Sol corresponde a cerca de dez mil vezes o consumo mundial. Se fosse possível aproveitar toda essa energia, apenas 0.01% seria suficiente para satisfazer toda a procura energética da humanidade (Portal Energia, 2004).

3. Veículos Elétricos

3.1. A Revolução da Mobilidade Sustentável

A crescente preocupação com as mudanças climáticas tem levado a uma crescente demanda por soluções sustentáveis no setor de transporte. Nesse contexto, os veículos elétricos têm ganhado destaque como uma alternativa de mobilidade mais limpa e eficiente. Segundo a Agência Internacional de Energia (2021), em 2020, havia mais de 10 milhões de veículos elétricos em circulação em todo o mundo, um aumento de quase 40% em relação ao ano anterior.

Os veículos elétricos são alimentados por baterias que armazenam eletricidade, em vez de combustíveis fósseis. Dessa forma, eles não emitem gases de efeito estufa e poluentes locais durante a operação, tornando-se uma opção mais limpa e sustentável do que os veículos movidos a combustíveis fósseis. Além disso, os veículos elétricos são mais eficientes na utilização da energia do que os veículos convencionais, uma vez que a energia elétrica pode ser gerada a partir de fontes renováveis, como a solar, eólica ou hidroelétrica (IEA, 2021).

No entanto, os governos têm adotado políticas para incentivar a adoção de veículos elétricos, como incentivos fiscais, subsídios para compra e instalação de infraestrutura de recarga, e restrições à circulação de veículos movidos a combustíveis fósseis em áreas urbanas (IEA, 2021). Essas políticas têm ajudado a aumentar a demanda por veículos elétricos e a acelerar a transição para uma mobilidade mais sustentável.

Outro aspecto importante é a questão da autonomia dos veículos elétricos, que ainda é um desafio em relação aos veículos movidos a combustíveis fósseis. Embora a autonomia dos veículos elétricos tenha melhorado significativamente nos últimos anos, ainda há uma limitação em relação à distância que um veículo elétrico pode percorrer com uma única carga de bateria (Bauhaus, 2021). No entanto, com o avanço da tecnologia de baterias, espera-se que a

autonomia dos veículos elétricos continue a aumentar nos próximos anos, tornando-se uma opção mais atraente para os consumidores.

Além disso, os veículos elétricos ainda enfrentam desafios em relação à infraestrutura de recarga. Embora existam várias opções de carregamento, incluindo carregamento doméstico, público, a infraestrutura ainda não está amplamente disponível em muitas regiões, o que pode desencorajar os consumidores a adquirir um veículo elétrico (IEA, 2021). No entanto, é importante destacar que a instalação de infraestrutura de recarga está em constante expansão em todo o mundo, com muitos governos e empresas investindo na construção de novas estações de recarga (Bauhaus, 2021).

Outro fator a ser considerado é a necessidade de uma mudança de mentalidade por parte dos consumidores em relação aos veículos elétricos. Muitas pessoas ainda têm dúvidas em relação à confiabilidade e segurança dos veículos elétricos, bem como a sua capacidade de atender às suas necessidades de mobilidade diárias (Bauhaus, 2021). No entanto, é importante destacar que os veículos elétricos têm demonstrado ser tão seguros e confiáveis quanto os veículos convencionais, e que sua capacidade de atender às necessidades de mobilidade varia de acordo com as necessidades de cada indivíduo (IEA, 2021).

Além disso, é importante destacar que a adoção de veículos elétricos não é apenas uma questão ambiental, mas também econômica. Segundo um relatório da Agência Internacional de Energia (2021), a adoção em massa de veículos elétricos poderia reduzir significativamente as emissões de gases de efeito estufa e melhorar a qualidade do ar, mas também poderia resultar em economias significativas de custos para os consumidores e governos em relação aos veículos movidos a combustíveis fósseis.

De acordo com a Agência Internacional de Energia (2021), a indústria automotiva está a passar por uma transformação significativa à medida que os veículos elétricos se tornam mais populares. Espera-se que a demanda por veículos elétricos continue a crescer nos próximos anos, impulsionando a inovação tecnológica e a concorrência no mercado de veículos elétricos.

Deste modo, os veículos elétricos têm o potencial de revolucionar a mobilidade sustentável, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa e melhorando a qualidade do ar. Embora ainda existam desafios significativos a serem superados, como o alto custo dos veículos elétricos e a

infraestrutura limitada de recarga, as políticas governamentais e os avanços tecnológicos estão ajudando a acelerar a transição para uma mobilidade mais sustentável.

3.2. Tipos de Veículos

Os veículos são essenciais para o transporte de pessoas e bens em todo o mundo. Com o objetivo de reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, surgiram várias alternativas ao longo das últimas décadas. Neste texto, serão abordados os principais tipos de veículos, com destaque para os modelos híbridos e elétricos.

3.2.1. Híbrido

Os veículos híbridos combinam um motor de combustão interna com um motor elétrico. Eles podem operar usando o motor a gasolina ou diesel, o motor elétrico ou ambos, dependendo da necessidade de energia. Os veículos híbridos são conhecidos pela sua eficiência energética e pela redução de emissões em comparação com os veículos tradicionais. Eles podem ser divididos em dois tipos: os híbridos paralelos, que usam ambos os motores para conduzir o veículo, e os híbridos em série, em que o motor a combustão não aciona as rodas diretamente, sendo usado apenas para gerar eletricidade para o motor elétrico (Schneider et al., 2016).

3.2.2. Elétrico

Os veículos elétricos (VE) são alimentados por baterias que fornecem energia elétrica para o motor. Os motores elétricos não emitem gases de escape, tornando os VE mais limpos em termos ambientais do que os veículos movidos a combustíveis fósseis. Eles também são mais eficientes em termos energéticos, pois os motores elétricos convertem cerca de 75% da energia armazenada na bateria em energia mecânica para impulsionar o veículo, enquanto os motores de combustão interna convertem apenas cerca de 20% a 30%. Os VE podem ser divididos em duas categorias: os veículos totalmente elétricos (BEV), que são alimentados exclusivamente por baterias, e os veículos elétricos híbridos (HEV), que combinam um motor elétrico com um motor a combustão interna.

Os BEVs são considerados os mais sustentáveis dos VE, pois não emitem gases de escape e têm uma pegada de carbono significativamente menor do que os veículos movidos a combustíveis fósseis. Além disso, a crescente popularidade dos VE, em particular dos BEVs, está a levar a uma queda nos preços das baterias, o que os torna mais acessíveis aos consumidores (International Energy Agency, 2019).

No entanto, os VE também enfrentam alguns desafios. A infraestrutura de recarga ainda não está amplamente disponível em muitas áreas, o que pode ser um obstáculo para a adoção em massa dos VE. Além disso, as baterias têm uma vida útil limitada e o seu processo de fabricação pode ser bastante intensivo em termos de recursos e energia. Isso significa que ainda há um longo caminho a percorrer em termos de desenvolvimento de tecnologias de bateria mais sustentáveis (Sahar, 2017).

3.3. Autocarros elétricos: o presente e o futuro do transporte público sustentável

O transporte público é um setor crucial para a mobilidade urbana sustentável. Na Europa, o uso de autocarros elétricos é uma das soluções promissoras para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e melhorar a qualidade do ar nas cidades. Em Portugal, a adoção de autocarros elétricos tem sido gradual, mas há um movimento crescente de cidades que estão a investir nessa tecnologia para melhorar a qualidade de vida de seus cidadãos.

Os autocarros elétricos são uma alternativa sustentável aos autocarros movidos a combustíveis fósseis, pois não emitem dióxido de carbono e outros poluentes atmosféricos durante a operação. Além disso, eles oferecem um ambiente de viagem mais silencioso e suave para os passageiros (Tzeng et al., 2019). No entanto, o uso de autocarros elétricos também traz desafios, como a necessidade de infraestrutura de recarga adequada, o custo inicial mais elevado e a limitação da autonomia das baterias (Li et al., 2021).

Na Europa, várias cidades estão a adotar autocarros elétricos em suas frotas de transporte público. Em Paris, por exemplo, a empresa de transporte público RATP está em processo de eletrificação total de sua frota de autocarros até 2025, incluindo a aquisição de 800 autocarros elétricos (RATP, 2021). Em Londres, a Transport for London (TfL) anunciou em 2020 que irá adquirir apenas autocarros elétricos a partir de 2025 (TfL, 2020).

Em Portugal, a adoção de autocarros elétricos tem sido gradual, mas crescente. Em 2021, a cidade do Porto adquiriu 188 autocarros elétricos para renovar sua frota de transporte público, tornando-se a maior aquisição de autocarros elétricos na Península Ibérica até o momento (Câmara Municipal do Porto, 2021). Além disso, a cidade de Lisboa também está a investir em autocarros elétricos, com a aquisição de 15 unidades em 2021 para sua frota de transporte público (EMEL, 2021).

Assim, os autocarros elétricos são uma solução promissora para a mobilidade urbana sustentável na Europa e em Portugal. Embora ainda existam desafios a serem superados, como a infraestrutura de recarga e o custo inicial mais elevado.

3.4. Infraestruturas

Os carregadores de veículos elétricos, também conhecidos como EVSE (Electric Vehicle Supply Equipment), são equipamentos que permitem o carregamento das baterias dos veículos elétricos. A evolução dos carregadores de veículos elétricos tem sido fundamental para tornar a mobilidade elétrica mais acessível e prática. A primeira geração de carregadores de veículos elétricos era baseada em corrente contínua (DC), mas esses carregadores tinham baixa potência e tempo de carregamento muito longo. A segunda geração de carregadores de veículos elétricos foi baseada em corrente contínua com potências mais elevadas e tempos de carregamento menores. A terceira geração de carregadores de veículos elétricos, que começou a surgir em meados da década de 2010, é baseada em corrente alternada (AC), permitindo o carregamento em casa e em locais públicos com mais conveniência (Oliveira & Fernandes, 2019).

Em Portugal, a instalação de postos de carregamento tem sido uma das principais preocupações para incentivar o uso de veículos elétricos. O Governo português tem tomado medidas para a instalação de infraestruturas de carregamento, incluindo a implementação do Programa de Apoio à Mobilidade Elétrica na Administração Pública (Ministério do Ambiente e Ação Climática, 2021). Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente (2021), atualmente, existem mais de 2.500 postos de carregamento público em Portugal, incluindo postos de carregamento rápido e ultrarrápido.

Em relação aos carregamentos em autocarros elétricos, este é um campo que tem recebido muita atenção nos últimos anos. Os carregadores para autocarros elétricos são geralmente muito maiores e mais poderosos do que os carregadores para carros elétricos, devido ao tamanho e

capacidade das baterias dos autocarros. Em Portugal, muitas cidades já estão a testar e implementar autocarros elétricos, e estão a investir na infraestrutura necessária para apoiá-los, incluindo estações de carregamento de alta potência (Agência Portuguesa do Ambiente, 2021).

Deste modo, os carregadores de veículos elétricos evoluíram ao longo das últimas décadas para se tornarem mais eficientes e convenientes. A instalação de infraestruturas de carregamento é uma das principais preocupações para incentivar o uso de veículos elétricos em Portugal, mas o Governo português tem tomado medidas para promover essa infraestrutura. Além disso, os carregadores de veículos elétricos também têm sido utilizados em autocarros elétricos, permitindo uma mobilidade mais sustentável nas cidades.

3.4.1. Tipos de Carregamento de Autocarros Elétricos

Existem diferentes tipos de carregamento utilizados para abastecer as baterias dos autocarros elétricos em Portugal:

Carregamento Lento (AC): O carregamento lento é normalmente realizado durante a noite ou em períodos de menor demanda, utilizando corrente alternada (AC). Os autocarros são conectados a postos de carregamento específicos, que fornecem energia às baterias em um ritmo mais lento, geralmente entre 6 kW e 22 kW. Esse tipo de carregamento é comumente utilizado em terminais de autocarros, onde os veículos permanecem estacionados por um período prolongado.

Carregamento Rápido (DC): O carregamento rápido é uma opção mais eficiente para recarregar as baterias dos autocarros elétricos em um curto espaço de tempo. Esses carregadores utilizam corrente contínua (DC) e podem fornecer potências superiores a 100 kW. O carregamento rápido é geralmente utilizado em estações de recarga estrategicamente localizadas ao longo das rotas dos autocarros, permitindo recargas rápidas durante as paradas programadas.

3.4.2. Desafios e Soluções

A implementação dos carregadores de baterias de autocarros elétricos em Portugal enfrenta alguns desafios que precisam ser superados:

Capacidade da rede elétrica: A eletrificação em Portugal, assim como em outros países, pode sobrecarregar a capacidade da rede elétrica existente. O aumento da demanda por carregamento de autocarros elétricos requer investimentos na expansão e modernização da infraestrutura elétrica, incluindo o reforço das subestações e a melhoria das redes de distribuição. Além disso, estratégias como o carregamento inteligente, que otimiza a carga dos autocarros de acordo com a disponibilidade de energia na rede, podem ajudar a mitigar os impactos na infraestrutura elétrica.

Tempo de carregamento e disponibilidade: O tempo necessário para recarregar completamente as baterias dos autocarros elétricos pode ser um desafio, especialmente em rotas de longa distância ou com maior demanda. A disponibilidade de carregadores rápidos ao longo das rotas, combinada com a otimização do planeamento das rotas e horários dos autocarros, é fundamental para garantir que os veículos possam ser recarregados de forma eficiente e que estejam sempre prontos para uso.

Investimento financeiro: A implantação de uma infraestrutura de carregamento adequada requer investimentos significativos em equipamentos, instalações e manutenção. Parcerias público-privadas, incentivos governamentais e fundos de investimento verde têm sido utilizados para apoiar a implantação e a expansão da infraestrutura de carregamento de autocarros elétricos em Portugal. Esses investimentos visam impulsionar a transição para a mobilidade sustentável e criar um ambiente favorável para a adoção de veículos elétricos.

A implementação de carregadores de baterias de autocarros elétricos em Portugal é parte fundamental dos esforços do país para promover a mobilidade sustentável e reduzir as emissões de gases poluentes. Com diferentes tipos de carregamento, incluindo o lento (AC) e o rápido (DC), e uma infraestrutura de carregamento em constante expansão, Portugal está preparando o caminho para uma frota de autocarros elétricos mais eficiente e ambientalmente amigável.

Superar desafios, como a capacidade da rede elétrica e a disponibilidade de carregadores ao longo das rotas, requer investimentos contínuos, planeamento estratégico e colaboração entre as partes interessadas. À medida que a tecnologia e as soluções evoluem, é esperado que os

carregadores de baterias de autocarros elétricos se tornem mais eficientes, rápidos e acessíveis, impulsionando ainda mais a transição para a mobilidade elétrica em Portugal.

Com o compromisso contínuo de investir em infraestrutura de carregamento e na eletrificação do transporte público, Portugal está a construir um futuro mais sustentável e a liderar o caminho para a adoção generalizada de autocarros elétricos, contribuindo para um ambiente mais limpo e saudável para todos.

4. Energia Solar Fotovoltaica

4.1. Enquadramento

A energia solar fotovoltaica trata-se da geração de energia elétrica através da conversão direta da radiação solar. Esta tecnologia até ao ano de 1839 era inexistente, contudo quando Edmond Becquerel observou uma diferença de potencial nos terminais de uma célula eletroquímica, causada pela absorção de luz, percebeu que se tratava de uma evolução tecnológica que seria muito importante para a humanidade no futuro e denominou essa reação como "efeito fotovoltaico".

Em 1950, passado mais de um século desde a descoberta do efeito fotovoltaico, na área dos semicondutores começaram a ser fabricadas em laboratórios as primeiras células fotovoltaicas com eficiências a rondar os 6% e potências de 5mW, com áreas de 2 cm².

Durante a crise petrolífera de 1973, a tecnologia da célula fotovoltaica despertou um enorme interesse para a implementação de sistemas terrestres fotovoltaicos. Até aquele momento, grande parte da aplicação desta tecnologia tinha sido no ramo aeroespacial, devido a um menor custo, peso e segurança para fornecer a quantidade de energia necessária por longos períodos de alimentação aos equipamentos. Ou seja, para que sistemas fotovoltaicos terrestres se tornassem economicamente viáveis, seria necessário reduzir até 100 vezes o custo de produção das células fotovoltaicas em relação ao custo das usadas no espaço.

Deste modo, começaram a ser testados novos materiais e novas tecnologias para a produção dos painéis. Em particular, as células fabricadas a partir do material de silício cristalino eram as que se destacavam mais.

A figura 14 demonstra a representação dos eventos principais na evolução das células fotovoltaicas.

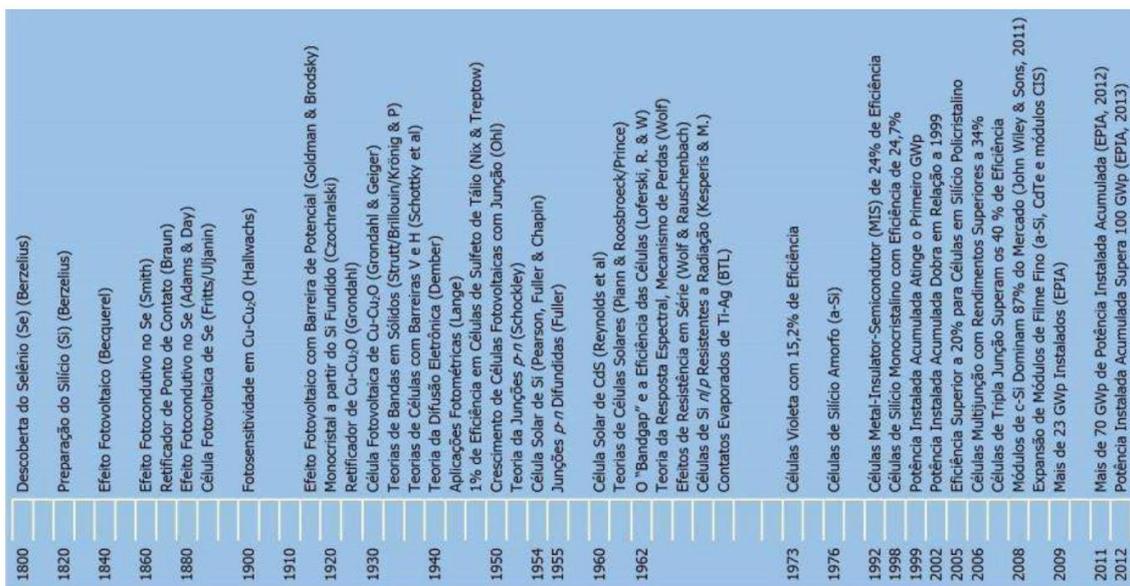


Figura 14- Representação dos eventos principais na evolução das células fotovoltaicas, (CRESESB, CEPEL, 2014).

4.2. Células Fotovoltaicas

Uma célula fotovoltaica é um dispositivo que tem a capacidade de converter diretamente a radiação solar em energia elétrica, através do efeito fotoelétrico. Estas células são compostas por uma classe de elementos que é denominada de semicondutores.

Os semicondutores são elementos que têm a sua banda de valência completamente cheia e a banda de condução vazia, separadas por um *bandgap*. Uma das características principais destes elementos é que a *bandgap* é facilmente ultrapassado, geralmente 1 eV (eletrão-volt). Isto tem o efeito que os semicondutores ao mesmo tempo ajem como elementos isolantes e, os seus eletrões de valência ao serem excitados, por exemplo pela radiação solar, consigam ultrapassar o bandgap, e assim passam a comportar-se como um elemento condutor.

Através da figura 15, é representado a constituição das bandas eletrónicas de três tipos de elementos, onde temos os elementos condutores, semicondutores e isolantes.

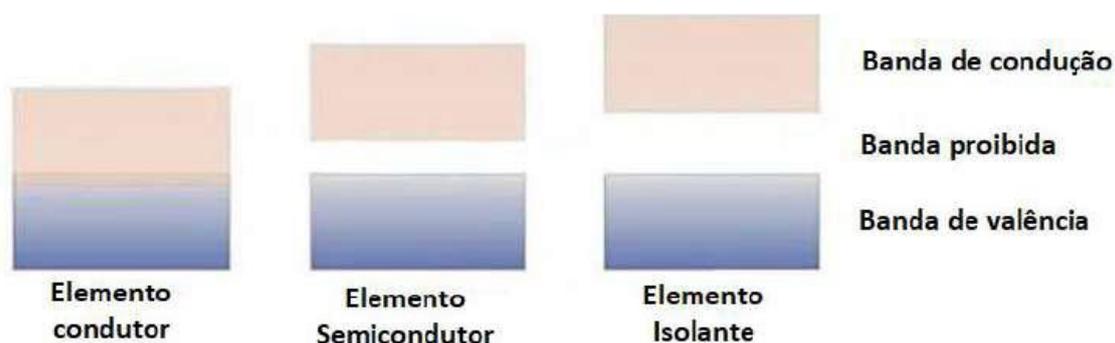


Figura 15- Tipos de elementos e as suas bandas elétricas, (adaptado de (BlueSol, 2021)).

Assim, de forma geral, as células fotovoltaicas mais utilizadas são formadas por silício, que no seu estado original não possui elétrons livres, logo tem uma baixa condutividade elétrica. É então utilizada a técnica de dopagem ou injeção de impurezas na rede cristalina, dopagem essa que faz com que a condutividade elétrica dos semicondutores aumente substancialmente.

É possível observar na figura 16 a constituição de uma célula fotovoltaica genérica de silício.

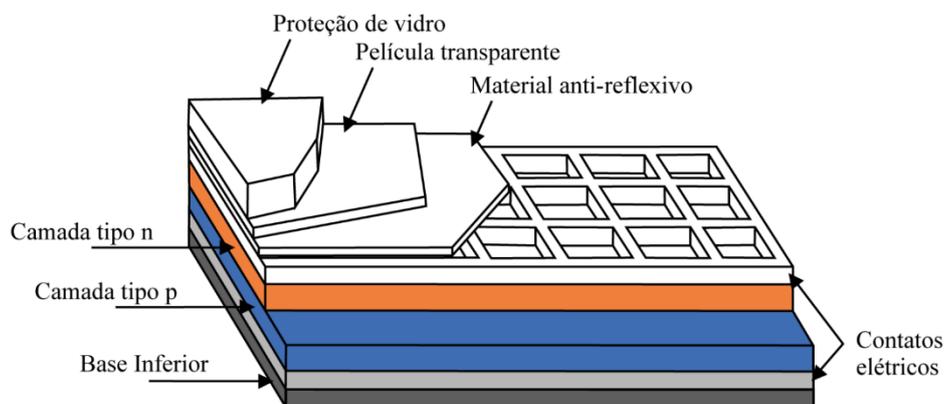


Figura 16- Constituição de uma célula fotovoltaica de silício, (Moraes, Caio, 2020).

Por exemplo, de modo a melhorar a condutividade do silício puro, é possível injetar numa parte da rede cristalina, um átomo de fósforo, dopagem do tipo N, deixando assim elétrons livres, e na outra parte, injetamos um átomo de boro, uma dopagem do tipo P, gerando lacunas na rede cristalina do silício, formando uma junção P-N.

No meio dessa junção P-N, elétrons livres do lado N, migram para as lacunas do lado P, criando a barreira de depleção. Nessa região, o lado P fica com uma carga ligeiramente positiva e o lado N fica com uma carga ligeiramente negativa, obtendo uma barreira de potencial. Torna-se assim impossível a troca de elétrons entre o lado N e o lado P, estando no estado isolante, conforme é demonstrado na figura 17.

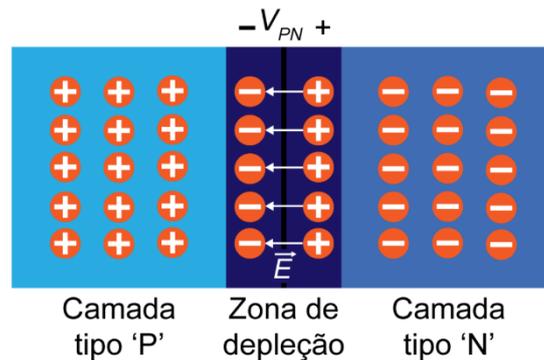


Figura 17- Junção P-N de uma célula fotovoltaica de silício em equilíbrio, (Moraes, Caio, 2020).

Através da figura 18 é observável o efeito que ocorre quando a célula é atingida pelos fótons da radiação solar, conhecido como o efeito fotovoltaico. Mais precisamente, quando a junção P-N é atingida por os raios solares, gerando desta forma elétrons livres que automaticamente são puxados para a zona N, ficando negativamente carregados, gerando lacunas que são consequentemente puxadas para a zona P, ficando positivamente carregada dando origem à diferença de potencial nos seus terminais, podendo até fazer uma analogia com uma pilha elétrica espontaneamente carregada.

Através de uma ligação sobre o material condutor, e entre duas camadas e com a excitação dos elétrons através de fótons irá ocorrer a deslocação destes mesmos elétrons que por consequência irão gerar um fluxo de corrente elétrica alimentando assim as cargas.

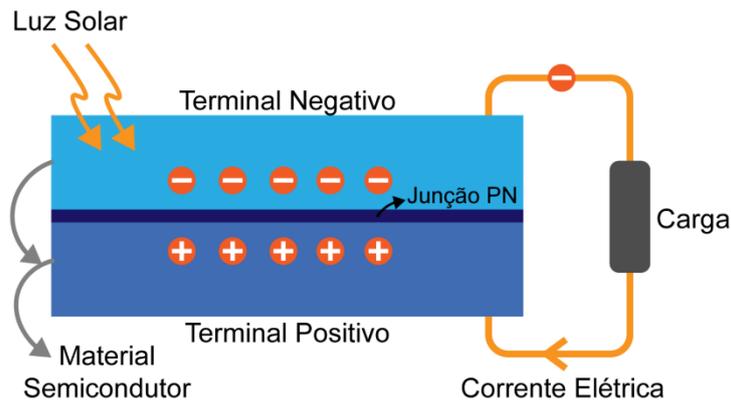


Figura 18- Princípio básico de funcionamento de uma célula fotovoltaica, (Moraes, Caio, 2020).

4.2.1. Gerações das Células Fotovoltaicas e outras Tecnologias

Através da figura 19 é possível observar um resumo daquela que foi a evolução da eficiência de quatro famílias tecnológicas. Verificando-se que ao longo de 40 anos, a eficiência máxima, é atingida pelas células de multijunção (representadas pelas linhas a roxo), que aumentou 30% tratando-se estas das células fotovoltaicas mais eficientes, até ao momento, ainda que apresentando também o custo mais elevado.

As linhas a azul representam células de silício cristalino, líderes de mercado, devido à matéria-prima ser não tóxica e muito abundante, também o seu método de fabrico é o mais desenvolvido neste segmento.

Existem ainda tecnologias conhecidas como de filmes finos ("Thin Films"), que podem incluir outros semicondutores, representado pela linha verde. Por fim são ainda representados pela linha a vermelho as tecnologias do futuro, que embora ainda não tenham alcançado o seu potencial máximo, algumas encontrando-se ainda em estado embrionário, são previstas como muito promissoras e mais energeticamente eficientes do que as tecnologias usadas em massa atualmente (Bani Charles Ahamefula, 2015)

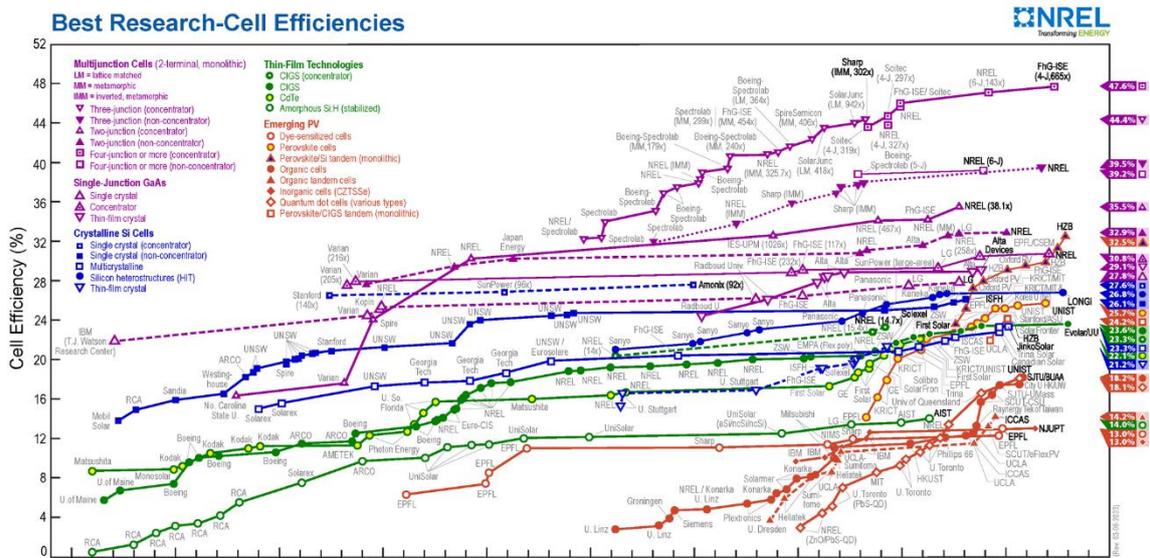


Figura 19- Evolução da eficiência das várias tecnologias fotovoltaicas, (NREL, 2021).

➔ Primeira Geração

A primeira geração de células, são compostas por silício cristalino como seu elemento principal, estando divididas em 2 processos de fabricação, o silício monocristalino e policristalino, conseguindo atingir os melhores valores de eficiência comercialmente disponíveis e representando cerca de 84% do mercado (Moraes,2020).

A estrutura da célula de silício monocristalina (m-Si), é uniforme por se tratar apenas de um único cristal. A quantidade de energia envolvida no processo de fabricação, a quantidade de material necessário que resultam em custos elevados, são obstáculos que devem ser ultrapassados.

Relativamente à célula de silício policristalino (p-Si) esta destaca-se pelo seu processo de fabricação, que é muito mais económico e menos detalhado. Uma das principais vantagens deste tipo de célula é que toda a energia gasta no processo de fabricação é significativamente menor do que a utilizada para o processamento de células de silício monocristalinas (Veiga,2019).

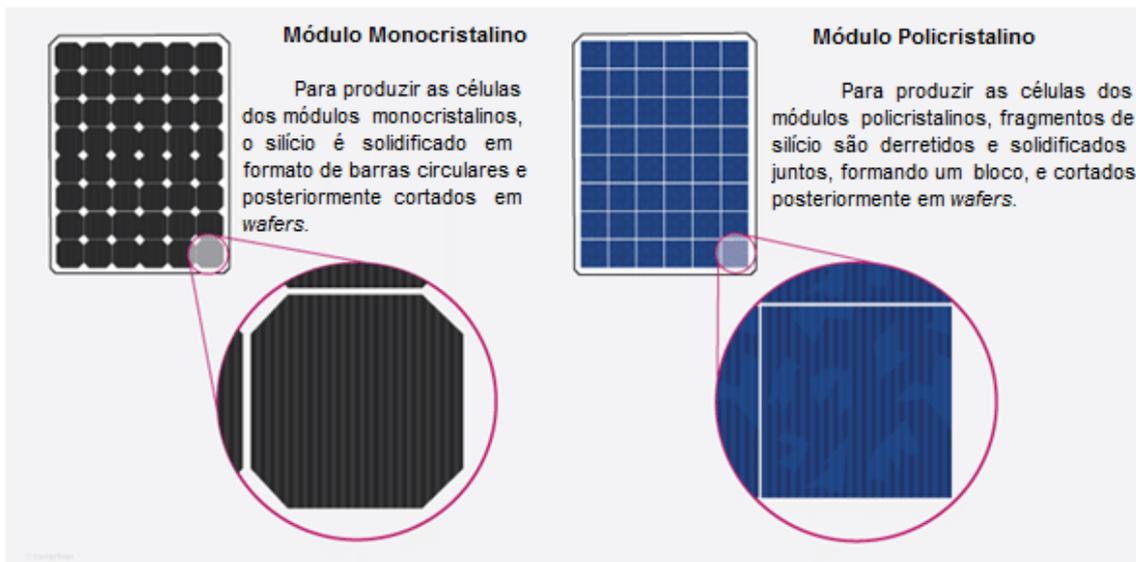


Figura 20- Comparação entre células de silício monocristalinas e policristalinas, (adaptado de (Moraes, Caio, 2020).

→ Segunda Geração

A segunda geração de células fotovoltaicas baseia-se em películas de filmes finos. Esta tecnologia surgiu no início da década de 90 com o objetivo de reduzir os custos e os desperdícios associados à produção de "Waffers" cristalinos. Esta célula tem como característica a necessidade de menos energia na produção da mesma, assim como a menor necessidade de materiais por ser necessária apenas uma fina camada de material. Este tipo de célula é muito utilizada em projetos arquitetónicos, visto que apresenta uma melhor apresentação exterior, ou em equipamentos portáteis e pequenos como calculadoras, relógios, entre outros. (Veiga,2019).

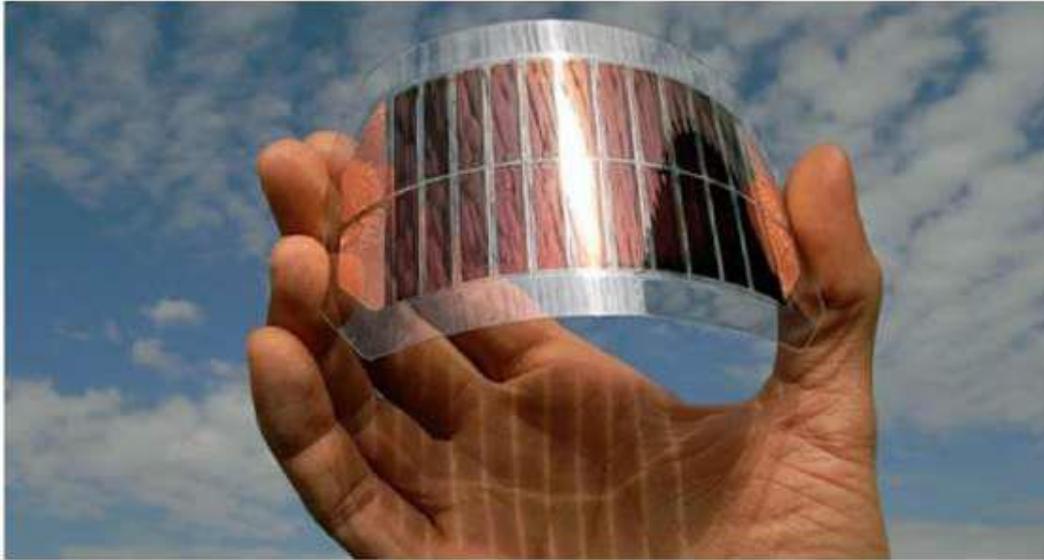


Figura 21- Exemplo de célula do filme fino, (SOLARVIEW, 2020).

→ Terceira Geração

As células de terceira geração são as mais recentes e têm como objetivo atingir altos níveis de rendimento e eficiência com um custo de produção cerca de 45% menor. Estes tipos de células têm como base uma panóplia de tecnologias e técnicas anteriormente utilizadas, mas que agora são capazes de ser combinadas, como células de multijunção associadas, com várias junções de semicondutores com band gap de energias diferentes, permitindo assim que se aproveite uma maior parcela do espectro solar. Combina também células fotovoltaicas para concentração (CPV), células sensibilizadas por corante (DSSC) e células orgânicas ou poliméricas (OPV) (Moraes,2020).

Algumas células deste género que tem merecido muita atenção são as denominadas células de Perovskita, apresentadas na figura 22, que apesar de ainda serem apenas fabricadas em laboratórios, estão entre as tecnologias fotovoltaicas com maior potencial. Destacam-se principalmente pela sua capacidade de absorção de uma ampla faixa de frequências luminosas e relativa facilidade de fabricação, complementando a enorme eficiência com o custo reduzido. No entanto, esta célula ainda encontra alguns desafios antes de ser comercializada em massa, entre eles: reduzida vida útil devido a degradação pelo contacto com humidade e o ataque químico aos contactos do metal, assim como a toxicidade dos materiais usados atualmente na sua fabricação (Moraes,2020).



Figura 22- Exemplo de célula fotovoltaica de Perovskita, (CRESESB, CEPEL, 2014)

4.3. Módulo Fotovoltaico

Conforme apresentado na figura 23 o modulo fotovoltaico é constituído por 7 componentes principais. Contudo, este é um conjunto de células fotovoltaicas, associadas entre si através de *busbars* (contactos metálicos) e diodos, envolvidas em várias camadas protetoras - mecânicas, térmicas e impermeáveis. Nos pontos seguintes serão abordados os componentes de forma geral.

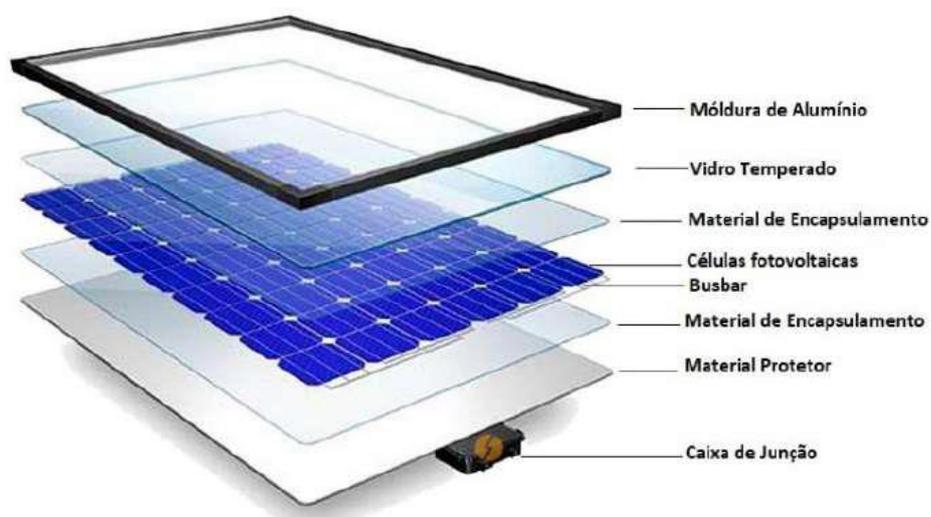


Figura 23- Constituição de um módulo fotovoltaico padrão, (Portal Solar, 2020).

4.3.1. Moldura ou Frame

A estrutura que alberga todos os componentes do módulo é a moldura, proporcionando uma base sólida para o mesmo. Esta é construída em alumínio, um material que combina leveza com resistência, permitindo suportar cargas mecânicas e apresentando uma alta resistência à oxidação. O custo da moldura representa aproximadamente 8% do custo total do módulo.

4.3.2. Vidro temperado

O vidro frontal, que serve como proteção para as células fotovoltaicas contra impactos, é tratado de maneira especial para garantir uma resistência mecânica elevada. Além disso, é revestido com um material anti reflexivo, sendo concebido para minimizar a reflexão e permitir a passagem da maior quantidade possível de radiação solar.

Este vidro deve passar pelo teste Hailstone, que submete o módulo, especificamente o vidro frontal, a um impacto de bolas de granizo de 25 mm a uma velocidade de 23 m/s. Este componente constitui cerca de 10% do custo total do módulo.

4.3.3. Material de Encapsulamento

O material de encapsulamento, comumente referido como acetato-vinílico de etileno (EVA), é um material de alta transparência que serve para alojar e proteger as células. Este material é notável pela sua longa durabilidade, resistência à humidade e a temperaturas elevadas, constituindo 8% do custo total.

4.3.4. Células fotovoltaicas

Como mencionado anteriormente, as células são os componentes que convertem a radiação solar em energia elétrica. A eficiência do módulo é determinada pela eficiência da célula e pelas propriedades do silício utilizado. Estes elementos constituem a maior parte dos custos do módulo fotovoltaico, representando aproximadamente 60% do valor total.

4.3.5. *Busbar*

As *busbars* são responsáveis pela interconexão das células de um módulo, em série e paralelo. É importante salientar que quanto maior o número de *busbars*, maior será o rendimento da célula, devido à redução da resistência interna, resultando assim numa maior eficiência do módulo fotovoltaico. Os custos associados a estas estão incluídos nos custos das células fotovoltaicas

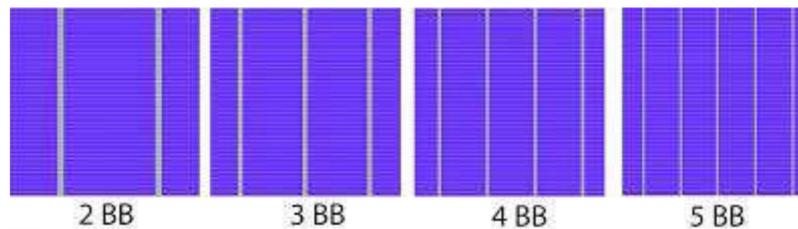


Figura 24- Número de Busbar's numa célula fotovoltaica, (DS New Energy, 2019).

4.3.6. Material de Proteção ou *Blacksheet*

A camada de material branco, localizada na parte posterior do módulo, tem a função de proteger as células, atuando como um isolante elétrico. Esta camada, também conhecida como *Blacksheet*, desempenha um papel crucial na durabilidade e eficiência do módulo fotovoltaico. A sua composição geralmente inclui materiais poliméricos que são selecionados para resistir a condições ambientais adversas, como radiação UV, variações de temperatura e umidade.

Além da sua função como isolante elétrico, o material de proteção contribui para a estabilidade estrutural do módulo, ajudando a proteger as células fotovoltaicas contra tensões mecânicas e danos físicos. Portanto, a escolha e qualidade deste material são elementos-chave na fabricação de módulos fotovoltaicos de alta qualidade e desempenho. Esta camada é composta por três subcamadas e representa cerca de 8% do custo total do módulo.

4.3.7. Caixa de junção

Localizada na parte posterior do módulo, encontramos a caixa de junção. Esta é composta pelos contactos elétricos dos conjuntos de células e pelos díodos *bypass*. Como já mencionado, estes

diodos têm a capacidade de proporcionar um caminho alternativo para a corrente, caso alguma parte do módulo esteja à sombra ou haja uma interrupção nos contactos metálicos. A caixa de junção, com classificação IP68 (proteção contra sólidos, grau 6 e grau 8 contra líquidos), é de onde partem as conexões DC para uso no sistema fotovoltaico. Este componente representa 6% do custo total do módulo.

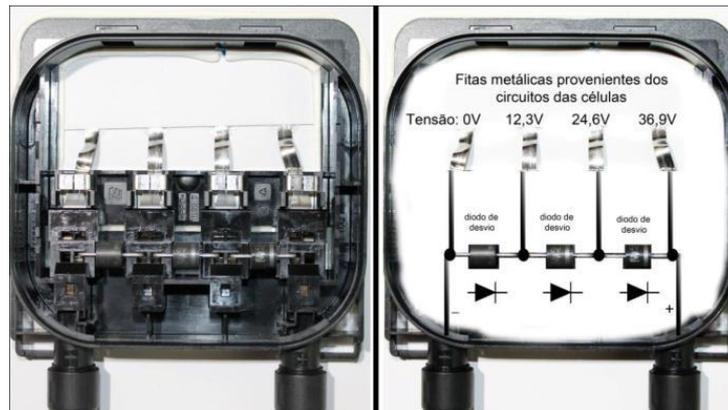


Figura 25- Caixa de junção de 3 diodos "bypass" e conexões, (CRESESB, CEPEL, 2014).



Figura 26- Constituição de conector MC4, negativo, (adaptado de, (Sunergia, 2019)).

4.3.8. Associação de Módulos Fotovoltaicos Série/Paralelo

Tal como as pilhas, os painéis solares também podem ser ligados em série, em paralelo ou de forma combinada, com o objetivo de alcançar as propriedades elétricas ideais para o sistema. Para que um sistema esteja adequadamente dimensionado e funcione de maneira eficaz, é necessário utilizar painéis solares com características elétricas idênticas. No entanto, pode surgir uma situação em que, ao substituir um painel numa instalação mais antiga, o painel específico já não esteja disponível. Ao introduzir um novo painel com características elétricas diferentes das dos painéis já instalados, é importante estar ciente dos efeitos que isso terá no sistema.

4.3.8.1. Associação em Série:

Na figura 27, observa-se uma ligação série entre os três módulos, com as mesmas tensões e correntes, a ligação em série é utilizada de forma a aumentar a tensão do circuito DC, mantendo a corrente em série.

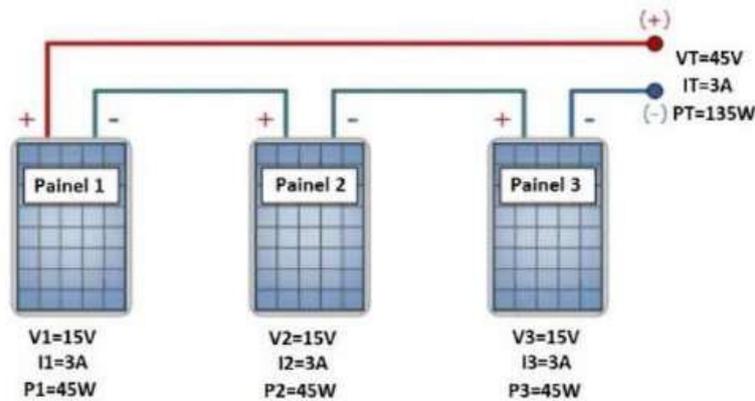


Figura 27- Ligação de módulos em série com as mesmas tensões e correntes, (adaptado de (Alternative Energy, 2021)).

4.3.8.2. Associação em Paralelo

Na figura 28, está representada uma ligação paralelo entre os três módulos, com as mesmas tensões e correntes, a ligação em paralelo é utilizada de forma a aumentar a corrente do circuito DC, mantendo a tensão.

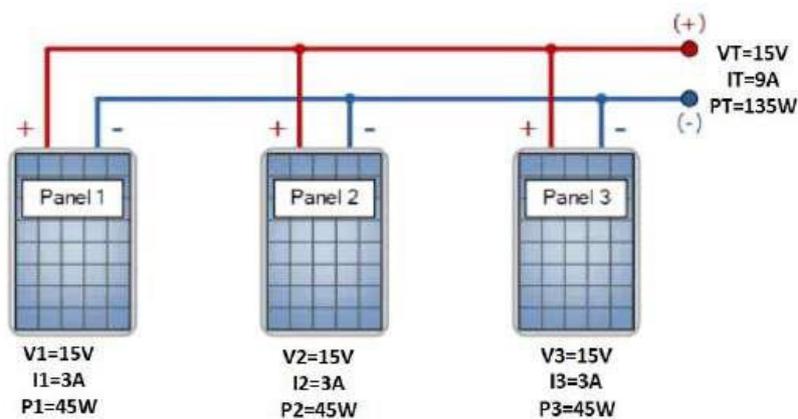


Figura 28- Ligação de módulos em paralelo, (adaptado de (Alternative Energy, 2021)).

4.3.9. Manutenção de Sistemas Solares Fotovoltaicos

A manutenção adequada e regular depende de uma instalação correta, desde a cobertura até ao ponto de uso. É crucial considerar o local de instalação desde o início do projeto, evitando áreas com muita poeira ou proximidade de árvores. A queda de ramos e folhas sobre os módulos fotovoltaicos pode causar pontos quentes, diminuindo a produção e potencialmente danificando o módulo.

Além disso, é importante levar em consideração a inclinação dos módulos no projeto. Esta deve facilitar o escoamento da água da chuva, permitindo a limpeza natural dos módulos. Também é necessário considerar os corredores de manutenção ou passagem entre os módulos. No entanto, nem sempre é possível evitar estas restrições.

4.4. Inversores

Independentemente da sua tipologia, todos os inversores operam com base no mesmo princípio e com o mesmo objetivo: converter a energia elétrica DC, proveniente dos módulos, em energia elétrica AC, que pode ser consumida pelas cargas. Embora externamente sejam muito semelhantes, o que os distingue são as características do seu sistema elétrico interno.

Os inversores mais comuns são os do tipo *on-grid* ou *grid-tie*. Estes são comutados de acordo com as características elétricas da instalação onde estão inseridos, que pode ser de 230 V ou 400 V e com uma frequência de 50 Hz. Uma particularidade destes inversores é que, em caso de falha na rede elétrica fornecida pelo Operador de Rede de Distribuição (ORD), eles param automaticamente de funcionar, pois necessitam de um ponto de referência das características elétricas para poderem sincronizar com a rede da instalação. Esta característica é vista como um sistema de segurança, garantindo que não há riscos em caso de falha da rede.

Por outro lado, existem os inversores *off-grid*, ou autocomutados, que são desligados da RESP. Estes têm a particularidade de conseguirem criar o seu próprio ponto de referência elétrico, utilizando sistemas de armazenamento.

Existem também os inversores híbridos, que combinam as características dos inversores *on-grid* e *off-grid*. Estes inversores são capazes de operar tanto conectados à rede (como um inversor *on-grid*) quanto de forma independente (como um inversor *off-grid*), oferecendo assim uma maior flexibilidade e segurança no fornecimento de energia.

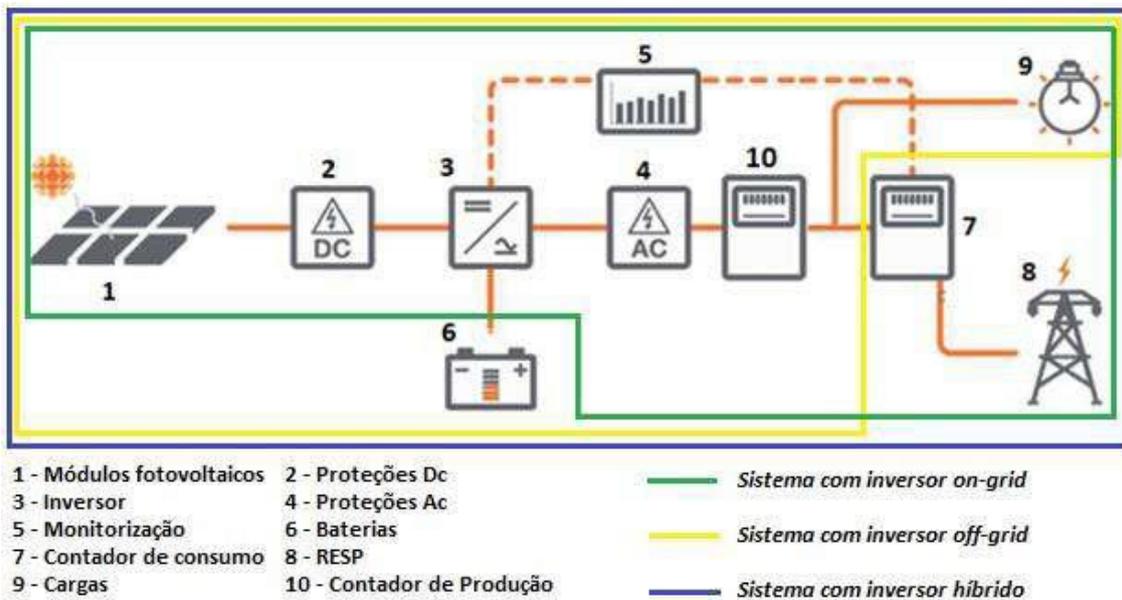


Figura 29- Representação de os 3 tipos de sistemas fotovoltaicos, (adaptado de (Sunenergy, 2020)).

A instalação de um inversor, tal como a de qualquer outro dispositivo, deve seguir as orientações fornecidas pelo fabricante. Existem vários aspetos a considerar durante a instalação de um inversor, incluindo a sua inclinação e nivelamento, bem como as distâncias a manter em relação a outros objetos, devido à necessidade de refrigeração. Além disso, é importante considerar os métodos de manipulação do inversor, bem como os comprimentos e curvas da fiação. A figura 30 mostra os 3 tipos de inversores existentes atualmente no mercado.



Figura 30- Diferentes tipos de Inversores

Na figura 31, são mostradas as ligações habituais de um inversor, que incluem a entrada das *strings* para os rastreadores de ponto de máxima potência (MPPT's) do inversor. Também são destacados os interruptores DC, que ligam e desligam a parte DC do inversor, as portas de comunicação e a saída de energia elétrica AC na caixa de terminais AC.

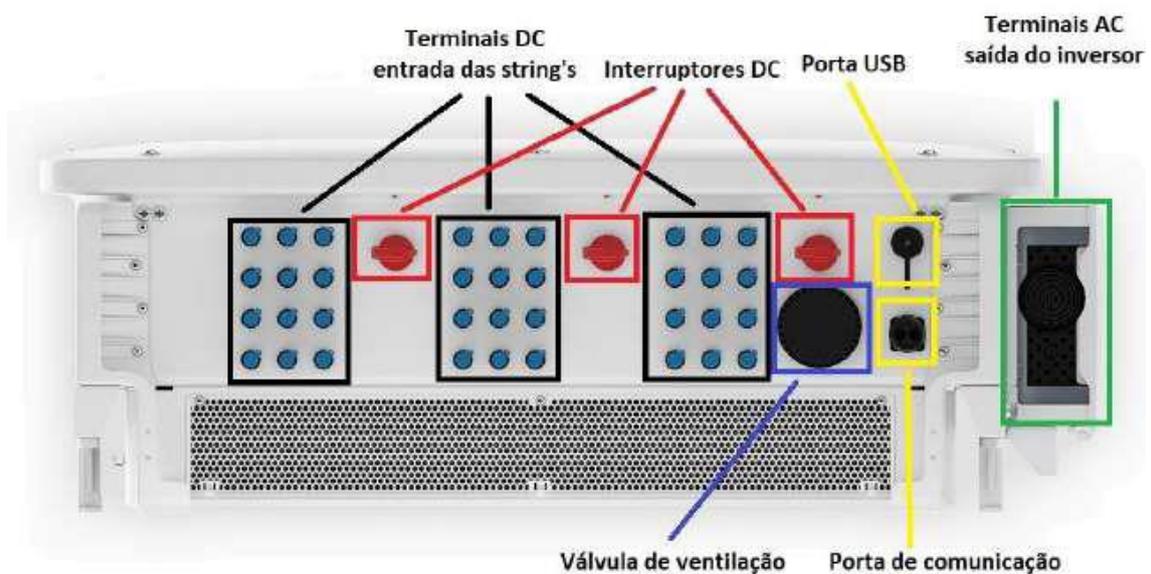


Figura 31- Representação de conexões elétricas e comunicação de um inversor Huawei Sun2000-100kTL, (adaptado de (Canal Solar, 2019)).

4.5. Sistema de Armazenamento

As baterias sempre foram um tema digno de atenção. Entre todas as formas de armazenamento de energia, a bateria eletroquímica é a mais comum. A sua habilidade de guardar e fornecer energia elétrica de maneira controlada está presente em inúmeras situações do nosso cotidiano.

Uma bateria é composta por um conjunto de células ou recipientes eletroquímicos, ligados em série e/ou paralelo, de modo a obter as características elétricas, tensão e corrente, que melhor se ajustam às necessidades dos sistemas em que operam.

A capacidade de uma bateria geralmente é definida em amperes-hora (Ah), podendo também ser expressa em termos de energia (Wh). Uma bateria com capacidade nominal de 500 Ah, teoricamente, pode fornecer uma corrente de 500 A durante uma hora, ou 25 A durante 20 horas, ou até mesmo 1 A por 500 horas. Tudo depende da taxa de carga e descarga da bateria, conforme a equação seguinte.

$$\frac{\text{Capacidade Nominal}}{\text{Intervalo de Carga ou Descarga}} = \frac{500 \text{ Ah}}{20\text{h}} = 25\text{A} = \text{taxa de C/20}$$

A taxa de C/20, também conhecida como taxa de descarga de C/20, é uma medida comum usada para descrever a capacidade de uma bateria ou acumulador. Essa taxa representa a taxa de descarga na qual uma bateria é descarregada ao longo de 20 horas para atingir sua capacidade nominal.

Há diversas tecnologias empregadas nas baterias eletroquímicas, que podem ser categorizadas de acordo com o tipo de células: primárias, que não são recarregáveis, e secundárias, que são recarregáveis. Além disso, podem ser classificadas como estacionárias ou de arranque.

No contexto de um sistema fotovoltaico, as baterias de maior relevância são as recarregáveis e estacionárias. Estas têm a função de armazenar energia e fornecê-la em momentos em que a produção fotovoltaica não consegue suprir a demanda de consumo.

Tabela 3- Características principais das tecnologias de baterias eletroquímicas, (Ferraz, 2018).

	Chumbo - ácido	NiCad	LiCoO4	LiMnO4	LifePO4
Densidade de Energia [Wh/kg]	24 – 40	40 – 60	135 – 150	100 – 140	85 – 130
Eficiência % (por ciclo)	60 – 70	75	90	90	95
Auto descarga % (mensal)	2 – 5	5 – 20	3	5	< 1
Nº de ciclos (profundidade de descarga a 80%)	500 – 800	> 2000	300 – 500	300 – 500	2000 – 10000
Segurança	Média	Boa	Média	Média	Muito boa
Efeito de memória	Não	Sim	Não	Não	Não
Produto ecológico	Não	Não	Sim	Sim	Sim

As baterias de íões de lítio, atualmente no mercado, são a tecnologia com maior aplicabilidade, incluindo Fosfato de Ferro-lítio (LiFePo4), Óxido de Cobalto-lítio (LiCoO2) e Óxido de Manganês-lítio (LiMn2O4). Conforme se pode verificar na tabela 3, os principais benefícios desta tecnologia estão relacionados, sobretudo, ao facto de as baterias deste tipo serem as mais eficientes e fiáveis do mercado, com taxas de auto descarga praticamente inexistentes e ausência do efeito de memória (presente nas baterias de Níquel).

A principal desvantagem desta tecnologia ainda reside no investimento inicial. No entanto, paralelamente, há uma evolução contínua na redução dos custos de produção e melhorias das suas características (Ferraz, 2018).

4.5.1. Sistema de Gestão (BMS)

No que diz respeito a baterias, o Sistema de Gestão de Baterias (BMS) é a componente chave, com a crucial tarefa de supervisionar continuamente a tensão, corrente e temperaturas das células que compõem as baterias. Este sistema desempenha um papel ativo no equilíbrio das células das baterias, prevenindo sobrecargas e sobretensões, e evitando cargas ou descargas excessivas e desreguladas das baterias. Além disso, o BMS é capaz de transmitir informações sobre o estado e a temperatura da bateria para uma unidade central. A figura 32 ilustra os componentes que integram um sistema de gestão de baterias.

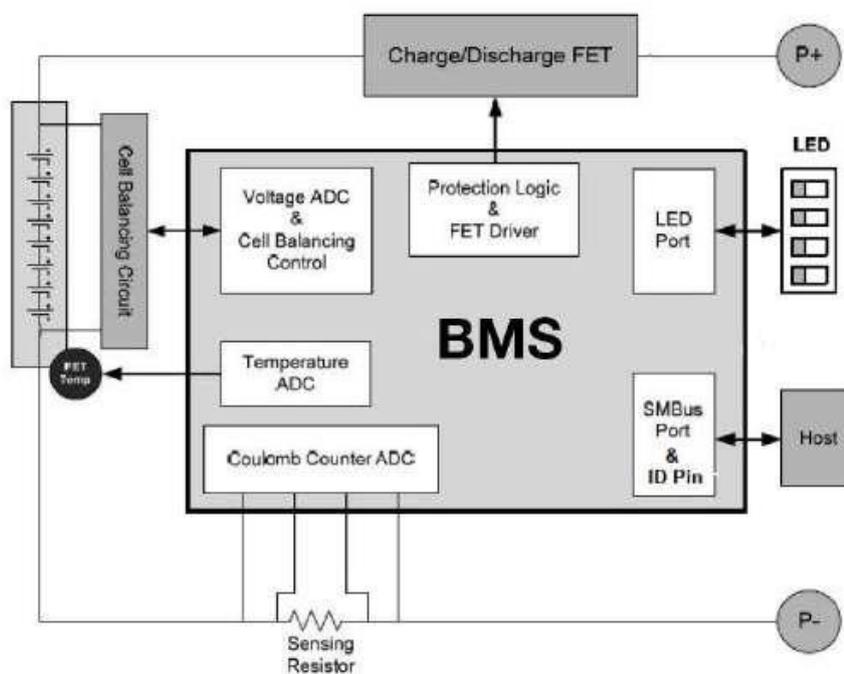


Figura 32- Esquema elétrico geral de um BMS, (Lithium Power Inc, 2021).

4.5.2. Reguladores de carga

Em sistemas que armazenam energia, quando o inversor não possui a habilidade de gerir o estado das baterias, torna-se essencial a instalação de reguladores de carga. Estes dispositivos de análise e controle exibem as propriedades da bateria, como a tensão, corrente e o estado de carga.

Um dos fatores a considerar na seleção do regulador de carga é a tensão de operação, que deve ser compatível com a tensão das baterias. Além disso, o regulador deve ser dimensionado para lidar com as condições de pico do sistema fotovoltaico ou das cargas elétricas que podem ser ligadas ao regulador.

Os reguladores de carga mais avançados utilizam a técnica de Modulação por Largura de Pulso (PWM). Este processo assegura um carregamento eficaz e, simultaneamente, prolonga a vida útil da bateria.

Contudo, os reguladores mais sofisticados empregam a tecnologia MPPT, que otimiza os reguladores e diminui a tensão de saída, permitindo uma fácil adaptação às diferentes combinações de ligação das baterias, como 12 V, 24 V, 48 V (Victronenergy, 2020).



Figura 33- Exemplo de regulador de carga solar, da marca Victron, (Victron energy BLUE POWER, 2020).

4.5.3. Sistemas de Monitorização:

Os sistemas de acompanhamento são componentes cruciais tanto na fase inicial de dimensionamento, como na supervisão em tempo real após a instalação, quando a mesma já está a produzir energia.

De forma ampla, existem três categorias de acompanhamento: o controlo do consumo de energia proveniente da RESP; a supervisão da produção fotovoltaica; e a observação meteorológica. Através de dispositivos capazes de recolher e registar estas informações, e também com capacidades para criar bases de dados, gráficos, relatórios e alertas, é possível manter toda a instalação sob vigilância constante.

Estes registos constituem um instrumento essencial para todo o ciclo de vida do projeto, sendo fundamental para o departamento de projeto examinar os valores de consumo, bem como para o departamento de manutenção supervisionar todas as centrais fotovoltaicas.

4.5.4. Monitorização de Consumo

Através da monitorização dos consumos, é possível aceder ao perfil de cargas de uma instalação elétrica. Um dos aspetos cruciais para um dimensionamento eficaz do sistema de produção fotovoltaica é o conhecimento do diagrama de cargas em questão. Um equipamento que toda a instalação elétrica conectada com a RESP é obrigada a ter, são os contadores de energia de consumo, ou de forma tradicional os contadores da E-Redes, figura 34. Instalados a montante de toda instalação elétrica, gerando uma base de dados sobre o perfil de cargas de cada instalação. Esta base de dados pode e deve ser fornecida ao departamento de projeto, para dimensionamento da potencia fotovoltaica a instalar.



Figura 34- Contadores de energia aparente, (edp, 2021).

No entanto, quando este contador não existe ou não tem a capacidade de armazenar/enviar dados de forma automática, é possível instalar medidores de energia, criando assim uma base de dados dos consumos do cliente, figura 35 e figura 36.



Figura 35- Janitza UMG104, (Janitza, 2021).



Figura 36- Medidor de energia efergy, (efergy, 2021).

Ao instalar estes analisadores de energia a montante da instalação elétrica do cliente, que monitorizam o consumo proveniente da RESP em tempo real, analisando a tensão elétrica, corrente elétrica e frequência, os dados são enviados para os *dataloggers*, que por sua vez, também enviam essa informação para a plataforma *online*.

Dois aspectos a considerar na escolha dos analisadores de rede são a compatibilidade e comunicações entre estes equipamentos.

4.6. Sistemas de Proteção Elétrica

Os dispositivos de segurança, também conhecidos como equipamentos de proteção, são essenciais para o funcionamento adequado e a preservação dos equipamentos e indivíduos envolvidos no sistema fotovoltaico e na instalação elétrica. Estes dispositivos têm a capacidade de oferecer proteção contra uma variedade de riscos.

Por exemplo, eles podem proteger contra descargas atmosféricas através do uso de dispositivos de proteção contra surtos. Além disso, podem prevenir sobrecargas e curtos-circuitos na instalação, graças da ação dos disjuntores. Adicionalmente, oferecem proteção às pessoas contra contatos diretos e indiretos, através da utilização de interruptores diferenciais.

4.6.1. Descarregadores de sobretensão (DST)

Além de proteger contra os efeitos de descargas atmosféricas, a utilização de descarregadores de sobretensão também serve para salvaguardar equipamentos mais sensíveis, como o inversor, contra sobretensões transitórias. Estas são geralmente causadas pelo arranque ou manobras de vários equipamentos, incluindo motores elétricos, entrada de serviço de transformadores, operação de disjuntores, entre outros.

Os descarregadores de sobretensão conduzem a sobretensão de forma mais direta e segura à terra, como ilustrado na figura 37. Num sistema fotovoltaico, é necessário aplicar descarregadores de sobretensão do lado AC, como mostrado na Figura 38.

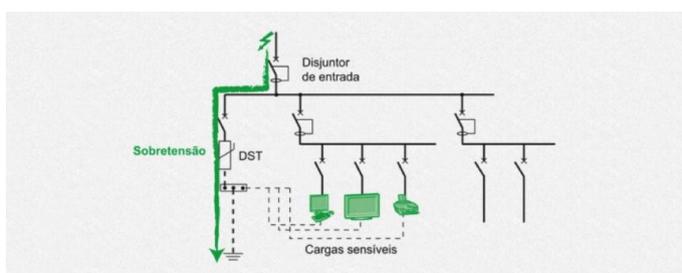


Figura 37- Esquema de funcionamento de DST, (EPFM Engenharia, 2021)



Figura 38- DST para corrente AC trifásica, da marca (OBO BETTERMANN, 2022).

4.6.2. Fusíveis

Os fusíveis são projetados para suportar até um limite de corrente nominal. Se essa corrente é excedida num determinado período, o fusível interrompe completamente a passagem de corrente elétrica, queimando o filamento no seu interior.

Uma desvantagem dos fusíveis é que eles são descartáveis, ou seja, uma vez queimados, precisam ser substituídos. Eles podem ser do tipo AC ou DC.

Para a implementação dos fusíveis no circuito, são utilizados porta-fusíveis, como representado na figura 39.



Figura 39- Corta-circuitos porta fusíveis
10x38 3P+N, (Hager, 2021)

4.6.3. Disjuntor

O disjuntor é um dos principais dispositivos que protege toda a instalação elétrica. Este pode funcionar através de mecanismos eletromagnéticos, térmicos, ou ambos, sendo designados como disparadores magneto-térmicos. Existem também os disjuntores diferenciais.

Os disjuntores têm a capacidade de desligar a instalação elétrica quando detetam uma sobreintensidade provocada por sobrecargas ou curto-circuitos. Além disso, permitem abrir ou fechar voluntariamente o circuito, garantindo uma distância de isolamento.

Os disjuntores são classificados de acordo com as suas curvas de disparo, que estão relacionadas com o tempo de disparo em função da corrente.

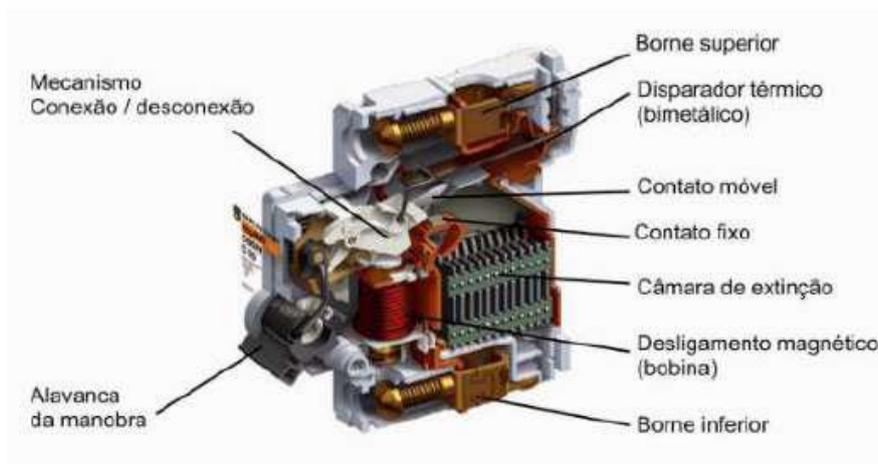


Figura 40- Constituição de um disjuntor magneto térmico, (Engenharia, Exclusiva, 2021).

4.6.4. Interruptor Diferencial

O dispositivo mais eficiente para salvaguardar as pessoas de contactos elétricos é o interruptor diferencial. Este é o único mecanismo ativo que protege contra contactos diretos e indiretos, conforme ilustrado na figura 41.

Embora a aparência externa e interna seja muito semelhante a um disjuntor, o interruptor diferencial tem a capacidade de identificar correntes de fuga para a terra, provocando um corte automático. Estes dispositivos são projetados para resistir a uma corrente nominal (I_n) e atuam quando o valor de sensibilidade (I_n) é excedido, como mostrado na Figura 41.

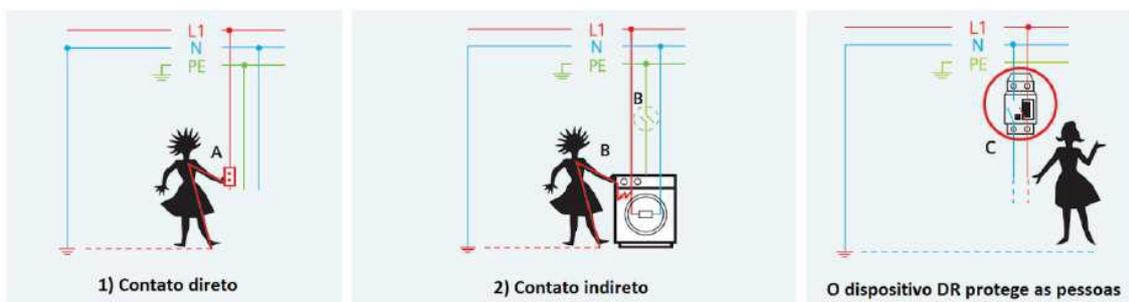


Figura 41- Conceito de atuação do interruptor diferencial, para proteção de pessoas, (alemtec elétrica, 2019).

4.7. Legislação Nacional para os Sistemas Solares Fotovoltaicos:

No âmbito da legislação, normativas e diretrizes técnicas aplicáveis aos sistemas elétricos de produção fotovoltaica, existem decretos-lei que se destacam como marcos na evolução legislativa das unidades de produção. A tabela 4 mostra os Decretos-Lei e os respectivos anos de entrada em vigor que têm governado os sistemas fotovoltaicos até agora.

Tabela 4- Legislação aplicada aos sistemas de produção fotovoltaica.

Decreto Lei	Ano
Programa E4 – Eficiência Energética e Energias Renováveis	2001
DL 68/2002	2002
DL 363/2007	2007
DL 34/2011	2011
DL 153/2014	2014
DL 76/2019	2020
DL 162/2019	2020

Com o objetivo de maximizar o uso de recursos endógenos, melhorar a eficiência energética e modernizar o sistema energético nacional, foi estabelecido o Programa E4 - Eficiência Energética e Energias Renováveis, aprovado em 19 de outubro de 2001 pela Resolução do Conselho de Ministros n° 154/2001.

No ano seguinte, o Decreto-Lei n° 68/2002, de 25 de março, estipulou que os sistemas de produção de energia elétrica em Baixa Tensão (BT), destinados principalmente ao autoconsumo, poderiam entregar o excedente a terceiros ou à rede pública, desde que limitados a uma potência de 150 kW.



Figura 42- Evolução do setor fotovoltaico em Portugal, (APESF, 2013).

Como se pode observar na Figura 42, o setor fotovoltaico só teve um desenvolvimento significativo em 2007, com a publicação do Decreto-Lei n° 363/2007, de 2 de novembro. Este decreto estabeleceu o primeiro regime de produção descentralizada focado na energia solar fotovoltaica, através de instalações de pequena potência, conhecidas como unidades de microprodução.

O Decreto-Lei n° 363/2007 permitiu a instalação de sistemas de produção de energia elétrica para venda total à rede com um sistema de remuneração baseado numa *Feed in Tariff* (FIT), dividido em dois regimes: o regime geral, onde a tarifa de venda de eletricidade é igual ao custo da tarifa aplicável pelo Comercializador de Último Recurso (CUR) à instalação de consumo, e o regime bonificado, que remunerava o produtor a 650 €/MWh. Devido ao preço dos módulos fotovoltaicos (Watt Pico) que em 2007 rondavam os 2,8 €/Wp, o produtor conseguia amortizar o sistema em cerca de 8 anos (Renováveis Magazine, 2017).

Em 2011, foi publicado o Decreto-Lei n° 34/2011, de 8 de março, que estabeleceu o regime jurídico para a produção de eletricidade a partir de recursos renováveis, através de unidades de miniprodução, com uma potência máxima de ligação à rede de 250 kW. Este decreto estabeleceu que a potência de ligação da unidade de miniprodução não poderia exceder 50% da potência contratada na IU, e não poderia injetar na RESP mais de 50% da potência contratada

pela instalação de consumo. Foram adotados 3 escalões de potência de ligação à rede e dois regimes de remuneração.

Em 20 de outubro de 2014, foi publicado o Decreto-Lei nº 153/2014, que revogou o Decreto-Lei nº 363/2007 e o Decreto-Lei nº 34/2011, abandonando as tarifas subsidiadas e introduzindo o conceito PROSUMER, ou seja, produtor/consumidor. Este decreto estabeleceu o regime jurídico para os sistemas de Unidades de Produção para Autoconsumo (UPAC) e Unidades de Pequena Produção (UPP). Todos os sistemas fotovoltaicos de UPAC e UPP foram integrados numa única legislação.

Em 2020, entrou em vigor o Decreto-Lei nº162/2019 de 25 de outubro, que orienta exclusivamente o autoconsumo, apenas por meio de fontes de energias renováveis ou UPAC, assim como o Decreto-Lei nº76/2019, de 3 de junho, que regula o regime jurídico aplicável às UPP, para venda na totalidade de energia produzida.

O Decreto-Lei nº162/2019 também adotou o conceito de autoconsumo coletivo, que permite aos consumidores organizados (por exemplo, condomínios, indústrias localizadas na mesma zona) investirem numa instalação fotovoltaica e usufruírem da energia produzida. Este decreto também introduziu o conceito de Comunidades de Energia Renovável (CER), transpondo parcialmente a Diretiva (UE) 2018/2001 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 11 de dezembro de 2018, que permitiu aos consumidores/produtores, além de produzir e consumir, também armazenar, partilhar e vender eletricidade sem serem confrontados com encargos exagerados, em forma de comunidade (Decreto-Lei n.º 162/2019, 2019).

As UPAC estão divididas em 4 escalões, com processos de licenciamento diferentes para cada um deles, como se pode observar pela Tabela 5.

Tabela 5- Condições de exercício, DL nº 162/2019.

$UPAC \leq 350\ W$	Não está sujeita a controlo prévio
$350\ W < UPAC \leq 30\ kW$	Mera comunicação prévia
$30\ kW < UPAC \leq 1\ MW$	Registo prévio e certificado de exploração
$1\ MW < UPAC$	Licença de produção e exploração

As Unidades de Produção para Autoconsumo (UPAC) com uma capacidade instalada superior a 1 MW necessitam de uma licença para produção e exploração, além de estarem sujeitas a taxas de registo. No caso das UPACs com capacidade inferior a 1 MW, são necessárias inspeções a cada década, enquanto para instalações com mais de 1 MW, as inspeções devem ocorrer a cada 8 anos.

É importante destacar que, para capacidades instaladas acima de 30 kW, é obrigatório ter um seguro de responsabilidade civil para cobrir possíveis danos a terceiros. Conforme estipulado pelo artigo 16º do Decreto-Lei nº 162/2019, instalações com capacidades instaladas superiores a 4 kWp devem ter um contador de produção para a medição remota da energia elétrica produzida.

De acordo com o despacho DGEG 05/2017 do Decreto-Lei 153/2014, uma UPAC com mais de 250 kWn que tenha licença para injeção na rede deve obrigatoriamente possuir um sistema de proteção da componente homopolar. Se a unidade não tiver injeção na rede, é suficiente que o sistema tenha um controlo de potência ativa que impeça a injeção na rede.

Os valores de registo da UPAC estão disponíveis na Tabela 6 e podem ser consultados na Portaria nº16/2020.

Tabela 6- Valores de registo UPAC, Portaria nº16/2020.

Procedimento administrativo	Potência (kW)	Registo de UPAC com injeção na RESP	Registo de UPAC sem injeção na RESP
Apreciação do pedido de registo	≤30 kW	Isento	Isento
	>30 kW e ≤100 kW	200 €	140 €
	>100 kW e ≤250 kW	400 €	240 €
	>250 kW e ≤1000 kW	600 €	400 €
Apreciação do pedido de certificado de exploração sem inspeção DGEG	>30 kW e ≤250 kW	80 €	80 €
	>250 kW e ≤1000 kW	120 €	120 €
Apreciação do pedido de certificado de exploração com inspeção DGEG	>30 kW e ≤250 kW	240 €	240€
	>250 kW e ≤1000 kW	360 €	360 €
Pedido de averbamento de alterações que não careçam de novo certificado de exploração		50 €	50 €
Pedido de averbamento de alterações que careçam de novo certificado de exploração		70 €	70 €
Pedido de inspeção periódica		40 €	40 €

5. Caso de Estudo

5.1. As Organizações

5.1.1. Caracterização da DST Solar

A DST Solar é uma empresa portuguesa de renome no setor das energias renováveis, com especial enfoque na energia solar. Esta empresa, parte integrante do Grupo DST, tem vindo a desempenhar um papel crucial na transição energética em Portugal, contribuindo para a redução da dependência de combustíveis fósseis e para a mitigação das alterações climáticas.

A DST Solar tem a sua sede em Braga, uma cidade conhecida pela sua forte aposta na inovação e na sustentabilidade. A empresa opera em todo o território nacional, tendo também uma presença significativa em vários mercados internacionais. A sua atividade abrange todas as fases do ciclo de vida de um projeto de energia solar, desde a conceção e design, passando pela instalação e manutenção, até à gestão operacional dos sistemas.

A empresa destaca-se pela sua capacidade de inovação e pela qualidade dos seus produtos e serviços. A DST Solar investe continuamente em pesquisa e desenvolvimento, procurando sempre soluções mais eficientes e sustentáveis. A empresa tem uma equipa de profissionais altamente qualificados e experientes, que trabalham em estreita colaboração com os clientes para desenvolver soluções à medida das suas necessidades.

A DST Solar tem um compromisso forte com a sustentabilidade e a responsabilidade social. A empresa procura minimizar o impacto ambiental das suas operações e promover a utilização de energias renováveis. Além disso, a DST Solar contribui para a comunidade local através de várias iniciativas de responsabilidade social.

Durante o período da minha dissertação de mestrado, tive a oportunidade de conhecer em profundidade a DST Solar, as suas operações, a sua cultura organizacional e os seus valores. Esta experiência permitiu-me compreender melhor o setor das energias renováveis em Portugal e a importância da inovação e da sustentabilidade neste setor.

Assim, a DST Solar é uma empresa líder no setor das energias renováveis em Portugal, caracterizada pela sua inovação, qualidade e compromisso com a sustentabilidade. A minha

experiência na empresa proporcionou-me uma visão única sobre o setor e sobre os desafios e oportunidades que este enfrenta.

5.1.2. Caracterização dos Transportes Urbanos de Braga (TUB)

Os Transportes Urbanos de Braga (TUB) têm-se destacado na adoção de tecnologias sustentáveis em Portugal, com especial ênfase na incorporação de autocarros elétricos na sua frota. Estes veículos, além de não emitirem gases de efeito estufa e outros poluentes atmosféricos durante a operação, proporcionam um ambiente de viagem mais silencioso e suave para os passageiros.

Desde 2016, os TUB têm investido na transição para autocarros elétricos, começando com a aquisição de três veículos para testes. Em 2018, a empresa integrou 15 autocarros elétricos na sua frota regular. Paralelamente, os TUB têm investido na infraestrutura de carregamento para estes veículos. Em 2019, foi inaugurada a primeira estação de carregamento rápido para autocarros elétricos em Braga, com capacidade para carregar até três autocarros simultaneamente.

A adoção de autocarros elétricos pelos TUB não só contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa e outros poluentes atmosféricos em Braga, mas também oferece um ambiente de viagem mais confortável e silencioso para os passageiros. Além disso, a empresa está a contribuir para o desenvolvimento da infraestrutura de recarga de autocarros elétricos na cidade, incentivando outras empresas de transporte público a seguir o mesmo caminho.

A TUB, enquanto principal entidade responsável pelo transporte público em Braga, tem como missão proporcionar um serviço de transporte público de qualidade, eficiente e sustentável. A empresa opera uma extensa rede de autocarros que cobre toda a cidade e algumas áreas circundantes, oferecendo uma variedade de serviços, incluindo linhas regulares, serviços especiais para eventos e um serviço de transporte adaptado para pessoas com mobilidade reduzida.

Conhecida pela sua dedicação à inovação e à sustentabilidade, a TUB tem modernizado a sua frota de autocarros, introduzindo veículos mais eficientes e menos poluentes. A empresa também tem investido em tecnologias digitais para melhorar a experiência do utilizador, incluindo um

sistema de bilhética eletrónica e uma aplicação móvel que permite aos passageiros planear as suas viagens e acompanhar em tempo real a localização dos autocarros.

Desta forma, a TUB é uma empresa de transporte público inovadora e comprometida com a sustentabilidade e a qualidade do serviço. A minha experiência com a TUB proporcionou-me uma visão valiosa sobre o setor dos transportes públicos e sobre a importância da mobilidade sustentável para o desenvolvimento urbano, assim como dados essenciais para o desenvolvimento desta dissertação.

5.2. Dimensionamento Fotovoltaico

5.2.1. Caracterização do Projeto

Este projeto tem como principal objetivo a implementação de um sistema de painéis solares no telhado do edifício e sede dos Transportes Urbanos de Braga, no qual permita apoiar a transição para uma economia com baixas emissões de carbono, proteger o ambiente e promover a eficiência na utilização dos recursos e para além disso auxiliar no carregamento de os autocarros elétricos utilizados pela TUB.

Este estudo decorre da necessidade de identificar fontes alternativas de produção de energia que permitam fazer face aos elevados consumos. Neste contexto, este investimento promove a eficiência energética, através da utilização de energias renováveis.

Para a realização deste estudo recorre-se ao software PVSOL, sendo este um simulador com o objetivo de obter os resultados relativamente à produção da central fotovoltaica nos 20 anos, bem como a análise financeira da mesma. Deste software vai resultar o orçamento com os resultados obtidos.

O objetivo é projetar um sistema fotovoltaico (PV) para consumo próprio (UPAC), que permita a produção local de energia, reduzindo diretamente os custos com eletricidade. Contudo, é crucial reconhecer as especificidades do local em termos de disponibilidade solar e detalhar a configuração do sistema fotovoltaico, incluindo a escolha dos módulos PV, do inversor e da capacidade da unidade de autoconsumo. Para um dimensionamento fotovoltaico eficaz, é igualmente relevante avaliar diferentes potenciais de produção, calcular os custos de instalação, o preço da eletricidade e os consumos industriais, de modo a conceber um sistema fotovoltaico que se adegue às necessidades do consumidor.

5.2.2. Características do Local

As características do local de instalação, em termos de recurso solar, constituem um dos fatores determinantes do sistema a implementar.

Para a instalação do sistema fotovoltaico, um aspeto importante a considerar é a inclinação dos painéis solares. O ângulo ótimo (inclinação intermédia anual) permite obter produção anuais uniformes, isto é, inclinações adequadas permitem produções mais significativas, quer ao Verão, quer no Inverno. A inclinação mais adequada para os painéis é de 10° com orientação a sul (azimute de 0°) segundo as especificações técnicas do fornecedor.



Figura 43- Local onde se procede a instalação do sistema fotovoltaico

5.2.3. Caracterização da Instalação Fotovoltaica

Esta subsecção faz uma breve descrição dos equipamentos e dos dados necessários ao dimensionamento do sistema fotovoltaico com recurso ao programa PVSol.

5.2.3.1. Módulos Fotovoltaicos

Os módulos solares fotovoltaicos JA Solar JAM72S30-545W, cujas especificações estão detalhadas no Anexo A, são formados por um conjunto de 72 células e 3 díodos de desvio, que

possibilitam a conversão da radiação solar em energia elétrica na forma de corrente contínua. Estes módulos são monocristalinos, com uma eficiência de 21,2% e um coeficiente de temperatura da potência nominal de -0,37%/K.

Em termos mecânicos, cada módulo tem um peso de 22,5 Kg e dimensões de 1956x992x40 mm. Oferecem uma garantia de 12 anos para materiais e defeitos de fabrico e uma garantia de produção de 20 anos.

5.2.3.2. Inversores

Os inversores selecionados para este projeto são 2 unidades da marca Huawei, modelo SUN2000-40KTL-M3, cujas características estão detalhadas no Anexo B. Estes inversores garantem um produto de alta qualidade e eficiência, justificando a escolha pela sua instalação. Além de converterem a corrente contínua, proveniente dos módulos fotovoltaicos, em corrente alternada, estes inversores asseguram que as perdas sejam mínimas e que a energia transformada seja de alta qualidade.

5.3. Estimativas

Dados do Software PVSol

O projeto foi executado utilizando o PVSOL, um software alemão de renome global. Este aplicativo possibilita a concepção de um sistema fotovoltaico com o uso de maquetes 3D, que podem ser criadas a partir de imagens de satélite ou importadas de *drones*. Além disso, o PVSOL oferece a capacidade de realizar uma análise minuciosa do sombreamento em sistemas fotovoltaicos ligados à rede, levando em consideração o horizonte, edifícios, vegetação, antenas, entre outros. O software é altamente confiável e preciso, pois a simulação é baseada em dados climáticos detalhados e precisos.



Figura 44- Tipo de Sistema, Dados climáticos e Rede de simulação



Figura 45- Consumos da simulação (Fonte: PVSol).

Na figura 44, é apresentado o layout do software PVsol, que permite a alteração de várias opções disponibilizadas pelo próprio sistema para obtermos um dimensionamento que atenda o máximo possível ao que é desejado.

Já na figura 45, são ilustrados os consumos de energia elétrica feitos pela TUB ao longo dos meses, enfatizando que esses consumos se referem apenas aos carregadores dos autocarros elétricos. O software em questão possui uma extensa base de dados de módulos e inversores.

Conforme demonstrado na figura 46, é possível observar a disposição dos módulos no telhado da empresa. O módulo escolhido, o JAM72S30-545 MR da JA Solar Holdings, está detalhado no Anexo A. Adicionalmente, a tabela 7 especificam as condições de instalação, incluindo o número de módulos, a configuração de montagem, o ângulo de inclinação e a orientação dos painéis.

Tabela 7-Dados do Local do Dimensionamento

Nome	Edifício TUB
Módulos Fotovoltaicos	177
Potência Total	96.47 kWp
Área	457,4 m ²
Inclinação	15°
Orientação	Sul 165°
Situação de montagem	Paralelo ao telhado



Figura 46- Ilustração da montagem dos painéis fotovoltaicos

Para melhorar a precisão da simulação, uma descrição abrangente da deterioração do módulo foi fornecida na figura 47, que demonstra que existe uma degradação maior nos primeiros 6 anos passando de 100% para 80%, no entanto depois do sexto ano permanece com uma taxa de degradação estabilizada.

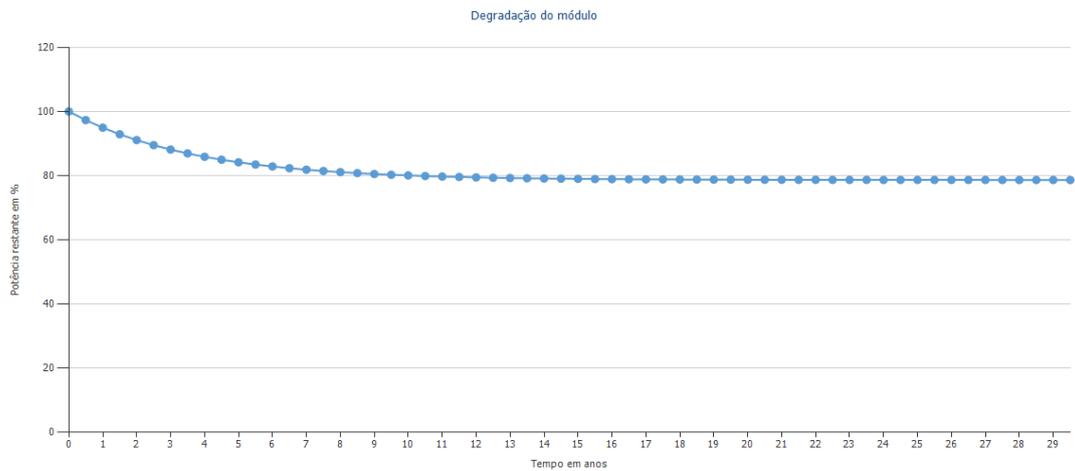


Figura 47- Degradação do módulo (Fonte: PVSol).

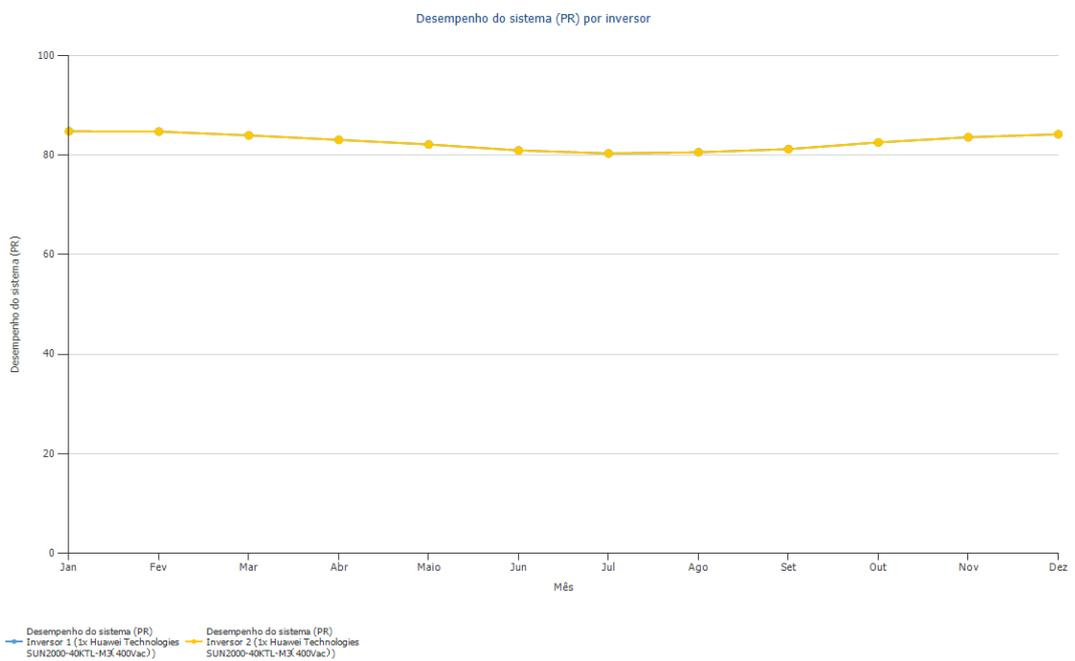


Figura 48- Desempenho do sistema por inversor (Fonte: PVSol).

A seleção do inversor foi realizada adicionalmente empregando o banco de dados PVSOL. O inversor escolhido está incluído no Anexo B.

O desempenho do sistema por inversor é demonstrado na Figura 48, e como é possível observar existe uma constante de desempenho de ambos os inversores exatamente iguais.

6. Resultados

6.1. Resultados da simulação do PVSol

A TUB forneceu dados sobre o consumo de energia dos carregadores usados para abastecer os autocarros elétricos. Esses dados foram então utilizados para comparar o diagrama de cargas com o preço por kW/h e o consumo da TUB no mesmo dia. Este processo foi repetido 365 vezes, gerando um gráfico para cada dia do ano, conforme os que estão abaixo demonstrados.

O preço da energia foi obtido a partir do site da OMIE (Operador do Mercado Ibérico de Energia), que, de acordo com a TUB, é a entidade responsável por regular o preço da energia comprada para o carregamento dos autocarros.

Os gráficos seguintes mostram a diferença de um diagrama de cargas entre um dia do mês de dezembro e o mês de julho, onde a produção de mensal de energia do sistema fotovoltaico é menor e maior, respetivamente.

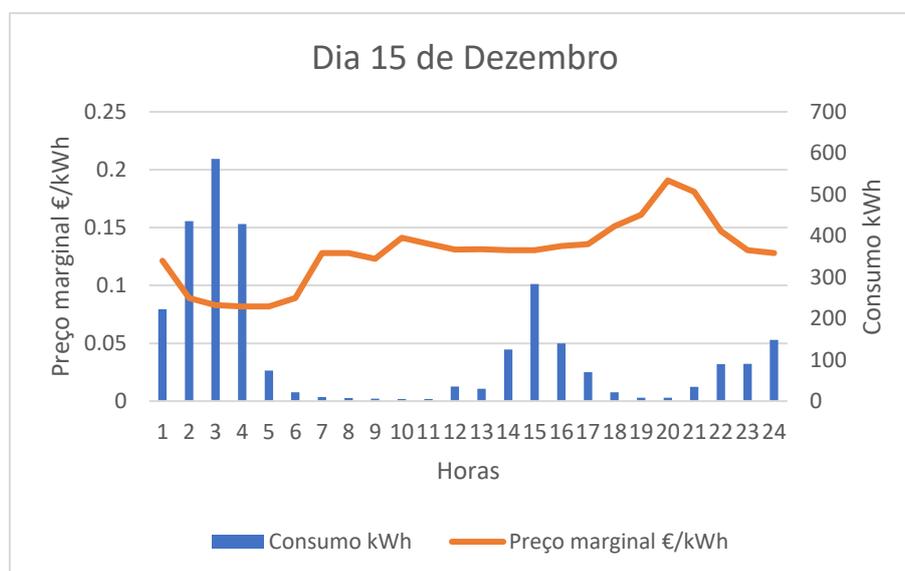


Figura 49- Consumo kWh vs.Preço marginal €/kWh

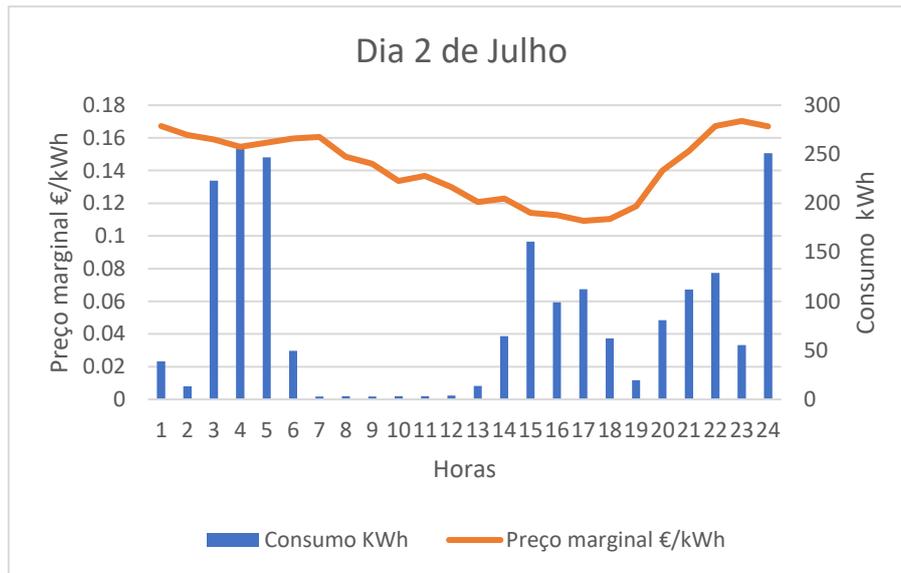


Figura 50- Consumo kWh vs.Preço marginal €/kWh

Das informações apresentadas nos gráficos acima, é possível inferir que a TUB planeja carregar os autocarros durante os períodos de menor preço marginal, embora isso nem sempre seja viável devido ao grande volume de carregamentos durante a madrugada.

O preço marginal é um pouco maior no dia 15 de dezembro quando comparado ao dia 2 de julho. Esta tendência é notada em vários dias comparando especificamente estes 2 meses, o que significa que embora haja maior precipitação no mês de dezembro, que auxilia na produção de energia proveniente da tecnologia hidrelétrica, é notável que a energia proveniente de painéis fotovoltaicos afeta o mercado energético e tem também um peso considerável.

Através da análise do diagrama de cargas, que foi elaborado para todos os dias do ano, é possível concluir que a TUB tem uma estratégia bem definida para contribuir para a mobilidade elétrica e a redução de custos. Sempre que possível, a TUB procura carregar os autocarros que necessitam de recarga durante o dia, precisamente quando o preço marginal da energia está mais baixo. Por outras palavras, a empresa tenta alinhar o horário de carregamento dos autocarros com os períodos do dia em que o preço por kWh é mais baixo.

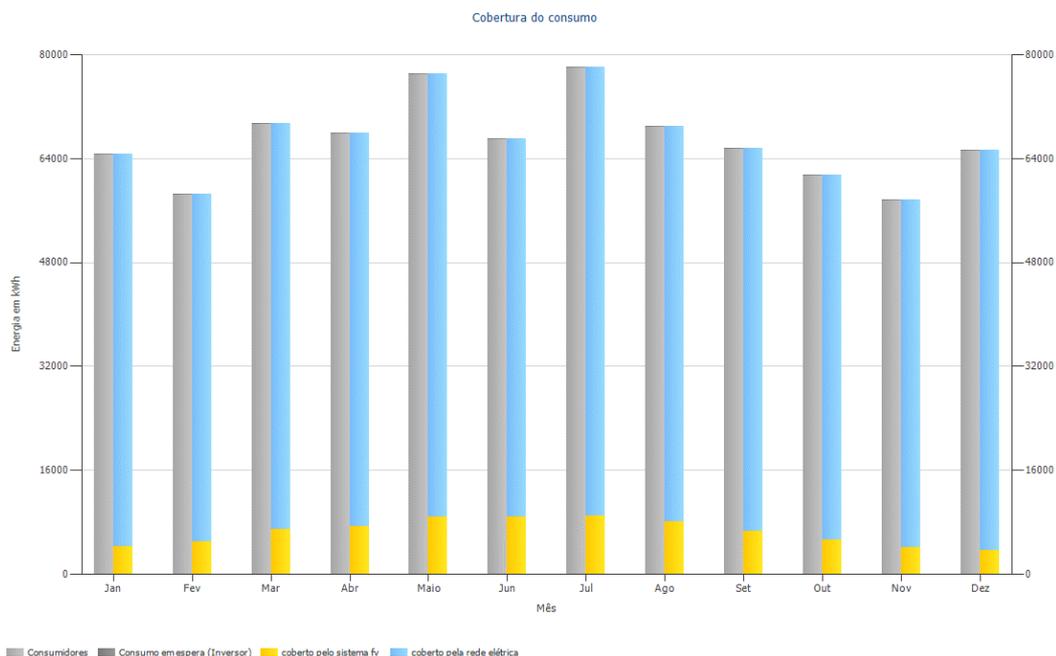


Figura 51- Cobertura do consumo (Fonte: PVSol).

O gráfico da utilização da energia fotovoltaica é semelhante ao gráfico da figura 51, uma vez que a barra amarela significa a energia que o gerador produz, a cinzenta corresponde sempre ao consumo direto do cliente na indústria (a energia obtida através do fotovoltaico) e a barra azul à injeção na rede, mas poderá também corresponder ao que a rede dá aos TUB.

Com estes consumos que foram fornecidos pela TUB dos consumos dos autocarros elétricos foi possível realizar um dimensionamento para o edifício da TUB para que desta forma os painéis fotovoltaicos fossem capazes de auxiliar no carregamento dos autocarros para que a mobilidade elétrica seja ainda mais sustentável, sendo que a energia que é utilizada para a mobilidade advenha em parte de uma fonte de energia renovável, no caso o fotovoltaico.

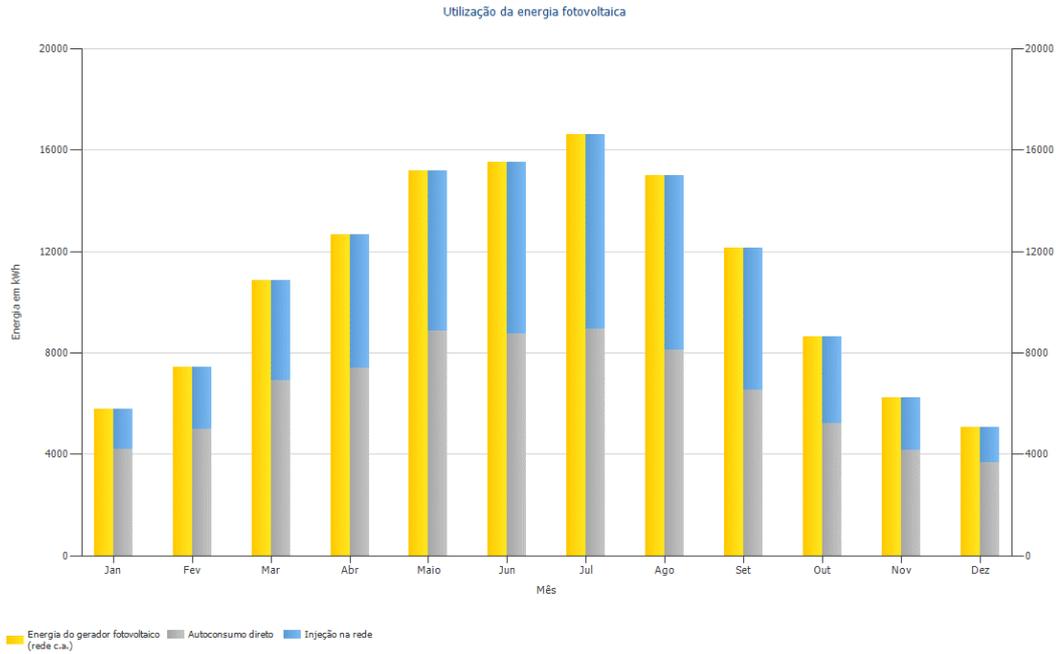


Figura 52- Utilização da energia fotovoltaica (Fonte: PVSol).

Tal como observado nos gráficos anteriores, o mês de dezembro registou a menor utilização de energia fotovoltaica, produzindo apenas 4987 kWh e consumindo 3659 kWh, sobrando apenas 1328 kWh para ser injetado na rede. Pelo contrário, o mês de julho foi o mês mais produtivo relativamente à geração de energia através dos painéis fotovoltaicos (16233 kWh), onde foram consumidos 8829 kWh, e na qual se registou a maior injeção na rede (7403 kWh). A energia proveniente do gerador fotovoltaico ao longo dos 12 meses foi de 51516 kWh/ano.

Há duas formas de interpretar o valor injetado na rede. No caso de os TUB estarem a injetar muita energia na rede, a entidade pela qual ele está ligado irá propor um valor X para lhe fornecer ou um desconto. No entanto, os TUB podem estar a injetar na rede e não receberem nada com isso, influenciando a tarifa de injeção, sendo que se não houver retorno é um prejuízo a mais na análise financeira.

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Investimentos	-106 111,50 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Custos operacionais	-2 122,23 €	-2 122,23 €	-2 122,23 €	-2 122,23 €	-2 122,23 €
Tarifa de injeção	6 926,96 €	8 228,76 €	7 937,69 €	7 715,60 €	7 546,13 €
Economia de energia	16 520,07 €	16 325,82 €	16 048,54 €	15 899,58 €	15 851,83 €
Fluxo de caixa anual	-84 786,70 €	22 432,35 €	21 864,00 €	21 492,95 €	21 275,73 €
Fluxo de caixa acumulado	-84 786,70 €	-62 354,36 €	-40 490,35 €	-18 997,40 €	2 278,34 €

	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Investimentos	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Custos operacionais	-2 122,23 €	-2 122,23 €	-2 122,23 €	-2 122,23 €	-2 122,23 €
Tarifa de injeção	7 416,83 €	7 318,16 €	7 242,88 €	7 185,43 €	7 141,60 €
Economia de energia	15 884,22 €	15 980,35 €	16 127,54 €	16 315,88 €	16 537,76 €
Fluxo de caixa anual	21 178,81 €	21 176,28 €	21 248,18 €	21 379,08 €	21 557,13 €
Fluxo de caixa acumulado	23 457,15 €	44 633,43 €	65 881,61 €	87 260,69 €	108 817,82 €

	Ano 11	Ano 12	Ano 13	Ano 14	Ano 15
Investimentos	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Custos operacionais	-2 122,23 €	-2 122,23 €	-2 122,23 €	-2 122,23 €	-2 122,23 €
Tarifa de injeção	7 108,15 €	7 082,63 €	7 063,16 €	7 048,30 €	7 036,96 €
Economia de energia	16 787,22 €	17 059,69 €	17 351,65 €	17 660,37 €	17 983,74 €
Fluxo de caixa anual	21 773,14 €	22 020,10 €	22 292,58 €	22 586,44 €	22 898,48 €
Fluxo de caixa acumulado	130 590,96 €	152 611,05 €	174 903,64 €	197 490,07 €	220 388,55 €

	Ano 16	Ano 17	Ano 18	Ano 19	Ano 20
Investimentos	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Custos operacionais	-2 122,23 €	-2 122,23 €	-2 122,23 €	-2 122,23 €	-2 122,23 €
Tarifa de injeção	7 028,31 €	7 021,71 €	7 016,68 €	7 012,83 €	7 009,90 €
Economia de energia	18 320,20 €	18 668,54 €	19 027,84 €	19 397,46 €	19 776,89 €
Fluxo de caixa anual	23 226,28 €	23 568,02 €	23 922,29 €	24 288,06 €	24 664,56 €
Fluxo de caixa acumulado	243 614,83 €	267 182,85 €	291 105,14 €	315 393,19 €	340 057,75 €

Figura 53- Fluxo de Caixa

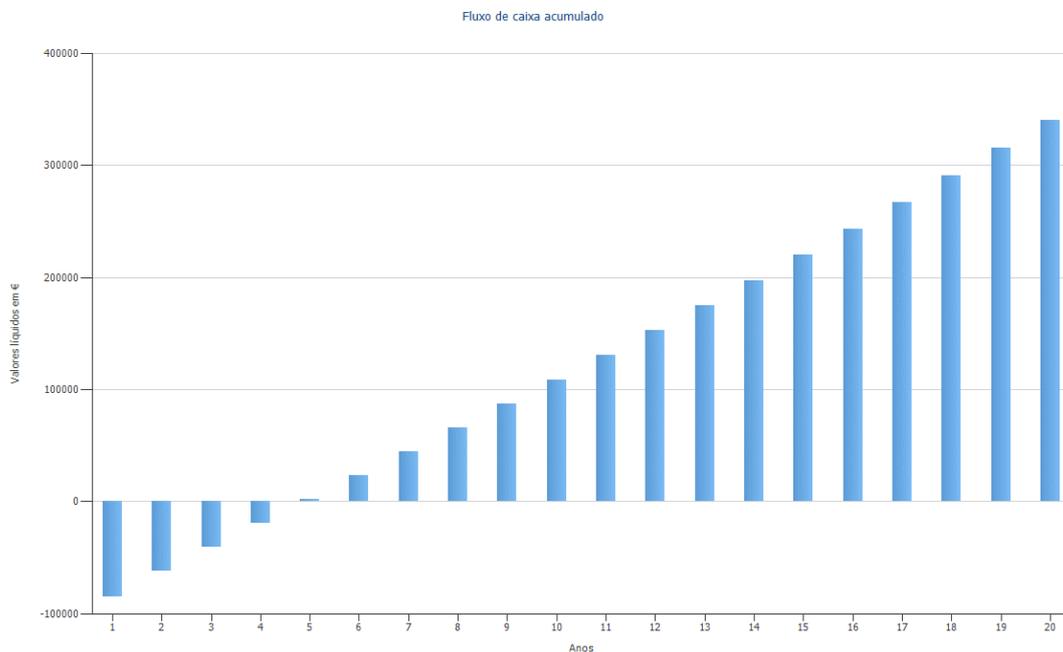


Figura 54- Fluxo de Caixa acumulado

A análise detalhada do fluxo de caixa acumulado indica que a implementação deste projeto é economicamente viável para os Transportes Urbanos de Braga (TUB). Com um investimento inicial estimado em cerca de 106 mil euros, o período para recuperação do investimento (*payback*) revela-se surpreendentemente curto, considerando a magnitude do capital inicial. É importante destacar que o software utilizado no projeto também fornece estimativas precisas dos custos médios de manutenção anuais.

Além disso, ao final de um período de 20 anos com a utilização de painéis fotovoltaicos, observa-se que a maior parte da energia gerada é injetada na rede elétrica, caso os horários de carregamento permaneçam na madrugada. Esta estratégia poderia ser otimizada pela TUB, visando um uso mais eficiente desta energia para o carregamento dos autocarros. Tal abordagem não só maximiza o aproveitamento da energia solar gerada, mas também contribui para um modelo de transporte mais sustentável.

Com base nesses dados, projeta-se que, ao final do período mencionado, os TUB alcançarão um fluxo de caixa acumulado na ordem dos 340 mil euros. Este valor demonstra uma taxa de retorno financeiro extremamente atrativa, solidificando a viabilidade econômica e a sustentabilidade do projeto a longo prazo.

No investimento inicial terão ainda de ser acrescentados alguns outros materiais que o software não contabiliza tais como o cabo-terra, cabo solar que teria de ser ligado ao quadro elétrico que fornece energia aos carregadores, diferencial tetra polar, disjuntor tetra polar, interruptor modular, barramento de 4 polos, e um quadro de 18 módulos. Esses materiais acrescentariam aproximadamente 4000€ ao valor do investimento inicial.

Considerando que apenas foram fornecidos os dados de consumo dos carregadores que alimentam os autocarros, não foi possível calcular as potenciais poupanças adicionais caso os painéis fotovoltaicos também auxiliassem o edifício, os escritórios e a oficina utilizada para a manutenção contínua dos autocarros. Se tal fosse o caso, é provável que o período de retorno do investimento seria ainda mais curto, resultando numa poupança ainda maior na fatura de eletricidade.

Poderíamos também considerar a possibilidade de armazenar a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos durante o dia em baterias, para ser utilizada durante a madrugada, quando a maioria dos autocarros elétricos da TUB são carregados. No entanto, após alguma pesquisa e

simulações, foi possível perceber que as tecnologias de baterias atualmente disponíveis, nomeadamente as baterias de íões de lítio, são bastante caras. Este fator implicaria um investimento significativamente maior e um período de retorno quase duas vezes mais longo.

Considerando que a vida útil média de uma bateria que é carregada e descarregada diariamente é de 10 anos, este dimensionamento com baterias tornar-se-ia insustentável e pouco inteligente, tendo em conta os montantes envolvidos.

A tecnologia de motores movidos a hidrogénio poderia ser uma alternativa viável conseguindo contornar a grande problemática dos carros elétricos que é o tempo de carregamento e vida útil de baterias de grande porte.

7. Conclusão

No mundo contemporâneo, um dos desafios mais prementes é a utilização sustentável e eficaz de diversas formas de energia. A compreensão dos cenários que compõem a matriz energética global pode ser crucial para o futuro das próximas gerações. Nesse sentido, essa consciência tem impulsionado o crescimento significativo das fontes de energia renováveis e a substituição progressiva das energias prejudiciais ao meio ambiente, derivadas de combustíveis fósseis.

Este estudo permitiu entender as várias fases do planeamento e implementação de um sistema fotovoltaico ligado à rede, com consumo. O objetivo deste trabalho foi dimensionar o sistema fotovoltaico e analisar a sua rentabilidade e eficiência. Inicialmente, foram analisados e processados os dados estimados pelo software PVSol. Estas simulações permitiram não só estimar os valores de produção/consumo mensais e anuais, mas também determinar os fatores de desempenho que caracterizam o sistema. A partir da análise de dados, foi possível analisar mais objetivamente os resultados estimados da simulação.

Ao longo do projeto, tornou-se evidente que existem variáveis importantes para os clientes avaliarem a rentabilidade de um investimento, incluindo o investimento inicial, a tarifa de injeção, a economia de energia, o fluxo de caixa anual e acumulado, a taxa interna de retorno e o valor atual líquido. A análise de viabilidade financeira do projeto concluiu que o sistema apresenta um investimento inicial de aproximadamente 106 mil euros e uma taxa interna de retorno muito grande em 20 anos tornando assim o projeto rentável e economicamente viável. O *payback* é realizado em, aproximadamente, 4 anos e 11 meses, dentro do tempo de vida da simulação do projeto (20 anos).

Os autocarros elétricos trazem imensos benefícios para a sociedade e serão uma aposta forte dos TUB para os próximos anos, e por isso, será plausível para a empresa pensar em formas de não só promover um transporte público sustentável *e eco-friendly* mas também encontrar formas de abastecer esses mesmos transportes com energia proveniente de FER.

Após a realização deste estudo, conclui-se que a aquisição de um sistema fotovoltaico para autoconsumo será rentável e eficiente para a empresa TUB. Além de tornar a empresa mais sustentável, o dinheiro economizado na fatura de energia pode ser reinvestido em outros projetos futuros.

8. Referências Bibliográficas

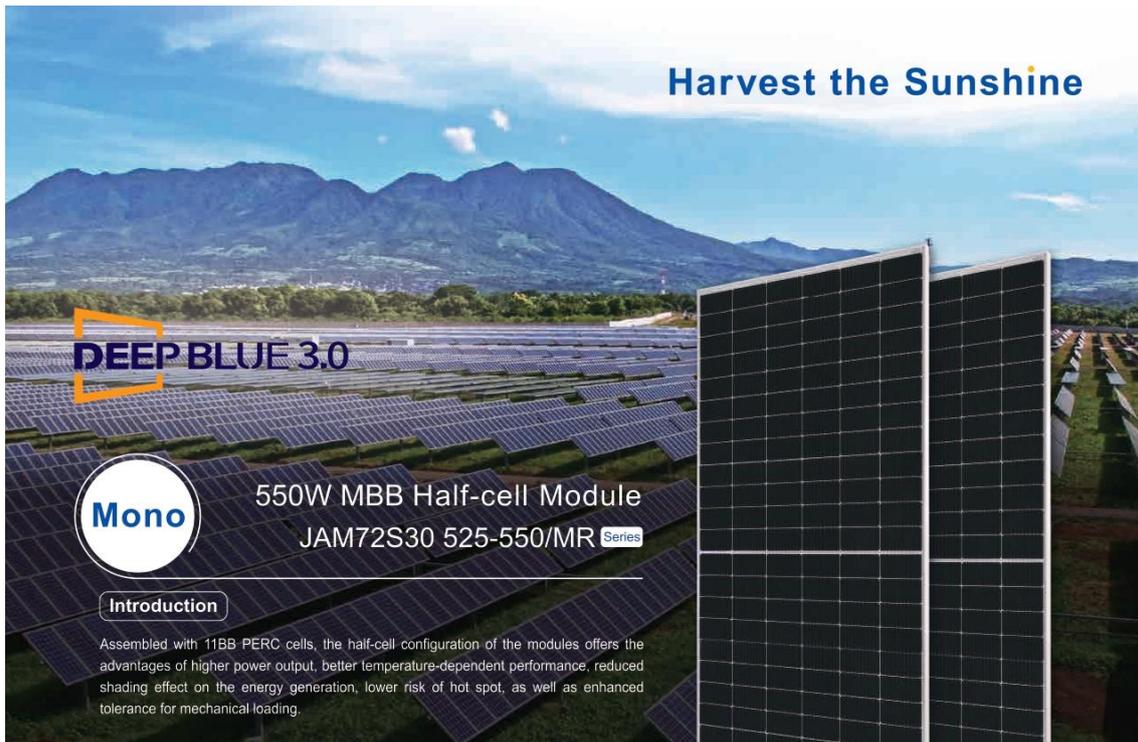
1. APESF. (2013). Forum Nacional.
https://www.apesf.pt/images/apesf/pdf/conf2013/2_DGEG_Sector_FV_PT.pdf
2. APREN. (2019). Portugal precisa da nossa energia.
<https://www.apren.pt/pt/publicacoes/apren/710-anuario-apren-2019/>
3. APREN. (2020). Eletrecidade Renovável em Revista.
<https://www.apren.pt/contents/documents/brochura-apren-2021.pdf>
4. APREN. (2022). 2021 Eletrecidade Renovável em Revista.
<https://www.apren.pt/contents/documents/20220810-apr004-01-anuario2022-brochura-final compressed.pdf>
5. APREN. (2022). Evolução da Potência Instalada em Portugal. <https://www.apren.pt/>
6. Carneiro, J. e Passos, M. (2020) Sistemas Fotovoltaicos, Fundamentos sobre Dimensionamento. Editado por Quântica Editora - Conteúdos Especializados Lda. Porto.
7. Castro, Catarina. (2017). A Radiação Solar.
<https://pt.slideshare.net/CarvalhoCC/variabilidade-da-radiao-solar-geral>
8. Cohen, S., Shirazi, S., & Curtis, T. (2017). Can we advance social equity with shared, autonomous and electric vehicles. Institute of Transportation Studies at the University of California, Davis.
9. Comissão Europeia (2019) «Plano Nacional Energia E», Plano Nacional Energia E Clima 2021-2030 (Pnec 2030), 2030(Pnec 2030), pp. 1–200.
10. Crowe, J. A., & Li, R. (2020). Is the just transition socially accepted? Energy history, place, and support for coal and solar in Illinois, Texas, and Vermont. *Energy Research & Social Science*, 59, 101309. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101309>
11. Deloitte. (2019). Decisions that matter, the impact of renewable energy.
<https://www.apren.pt/contents/files/brochura-digital-apren.pdf>
12. DGEG, A. O. (2021). "Energia em Números - Edição 2021". Fuel Cell Store:
<https://www.dgeg.gov.pt/media/32skj5iv/dgeg-aen-2021e.pdf>
13. DGEG. (2016). Energias Renováveis e Sustentabilidade.
<https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/energias-renovaveis-esustentabilidade/sce-er/>
14. EDP Distribuição. (2021). Manual de Ligações à Rede Elétrica de Serviço Público.

15. https://www.e-redes.pt/sites/eredes/files/2019-02/EDPDistribui%C3%A7%C3%A3o_Manual_Ligacoes_Rede_2018_9%C2%AA_edi%C3%A7%C3%A3o.pdf
16. edp. (2021). Contadores inteligentes - Nova geração de contadores que o ajudam a poupar energia, tempo e dinheiro. <https://www.edp.pt/particulares/apoio-cliente/contadores/>
17. Ehsani, Mehrdad e Gao, Yimin e Gay, Sebastien E. e Emadi, Ali. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design. Florida - EUA : CRC Press LLC, 2005. ISBN 0-8493-3154-4.
18. Engenharia, Exclusiva. (2021). Disjuntores Termomagnéticos e o seu funcionamento. Exclusiva engenharia: <https://www.exclusivaengenharia.com.br/disjuntores>
19. ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. Ciclo diário para fornecimentos em BTE e BTN em Portugal Continental. Períodos Horários. [Online] 2009. [Citação: 21 de Novembro de 2016.] <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/periodoshorarios/Paginas/CiclodiarifornecBTEBTNpt.aspx>.
20. European Environment Agency - EEA. Climate for a transport change. Copenhagen : EEA Report, 2008. ISBN 978-92-9167-117-5 / ISSN 1725-9177 / DOI 10.2800/3320.
21. European Environment Agency - EEA. Transitions towards a more sustainable mobility system - TERM 2016. Luxemburgo : EEA Report, 2016. No 34/2016 - ISSN 1977-8449.
22. Frandoloso. (2001). Controle ambiental solar passivo e ativo. https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Controle-ambiental-solar-passivo-e-ativo-Frاندoloso-2001_fig2_267448914
23. hager. (2021). Catálogo Corta circuitos porta fusivel.
24. <https://hager.com/pt/catalogo/distribuicao-de-energia/proteccao/corta-circuitos-portafusiveis>
25. Heidari, N., & Pearce, J. M. (2016). A review of greenhouse gas emission liabilities as the value of renewable energy for mitigating lawsuits for climate change related damages. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 55, 899–908. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.025>

26. International Energy Agency - IEA. Global EV Outlook. Paris - França: "International Energy Agency (IEA)" e "Electric Vehicles Initiative (EVI)" da "Clean Energy Ministerial", abril de 2013.
27. Janssens-Maenhout, G., Crippa, M., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Dentener, F., Bergamaschi, P., Pagliari, V., Olivier, J. G. J., Peters, J. A. H. W., van Aardenne, J. A., Monni, S., Doering, U., Petrescu, A. M. R., Solazzo, E., & Oreggioni, G. D. (2019). EDGAR v4.3.2 Global Atlas of the three major greenhouse gas emissions for the period 1970–2012. *Earth System Science Data*, 11(3), 959–1002. <https://doi.org/10.5194/essd-11-959-2019>
28. Magarreiro, C., Freitas, S., & Brito, M. C. (2018). Radiação solar e energia. <https://www.spf.pt/magazines/GFIS/119/article/993/pdf>
29. Moraes, Caio. (2020). Célula Fotovoltaica: tudo que você precisa saber. *Eletrônica de Potência*: <https://eletronicadepotencia.com/celulafotovoltaica/>
30. OMI-Polo Español S.A. (OMIE). Preço horário do mercado diário
31. <http://www.omie.es/files/flash/ResultadosMercado.swf>.
32. Ovelha, R. M. R. V. de (2017) Projeto, Dimensionamento e Instalação de Solução Fotovoltaica numa moradia offgrid. Universidade de Lisboa.
33. Pedro Reis. (2020). Portal da Energia.
34. <https://www.portalenergia.com/diferencas-seguidores-solares-eixo-unico-eixo-duplo/>
35. Portal Energia. (2004). Energia Fotovoltaica - Manual sobre tecnologias, projeto e instalação. <https://www.portal-energia.com/downloads/guiatecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>
36. Portal Solar. (2020). Passo a Passo da Fabricação do Painel Solar. Portal Solar: <https://www.portalsolar.com.br/passa-a-passo-da-fabricacaodo-painel-solar.html>
37. Presidência do Conselho de Ministros (2019) «Decreto-Lei no 162/2019», *Diário da República*, 1.a série N.o, (N.o 206), pp. 45–62. Disponível em: <https://data.dre.pt/eli/diario/1/206/2019/0/pt/html>.
38. Rahman, M. M., Shakeri, M., Tiong, S. K., Khatun, F., Amin, N., Pasupuleti, J., & Hasan, M. K. (2021). Prospective Methodologies in Hybrid Renewable Energy Systems for Energy Prediction Using Artificial Neural Networks. *Sustainability*, 13(4), 2393. <https://doi.org/10.3390/su13042393>

39. Schneider. Como funciona a bobina de mínima tensão dos disjuntores.
<https://www.se.com/br/pt/faqs/FA230131/>
40. Tempesta, A. G., Mariano, L. C., Pacheco, K. R. M., dos Santos, T. R. C., Rocco, M. L. M., & Roman, L. S. (2022). Organic Photovoltaic Solar Panels (OPV) Applied to a Tubelike Bus Station. *Brazilian Journal of Physics*, 52(1), 16. <https://doi.org/10.1007/s13538-021-01029-9>
41. Veiga, B. (2019). Células Fotovoltaicas: Desenvolvimento e as Três Gerações. Técnico Científica. <https://docplayer.com.br/135890180-Celulas-fotovoltaicas-desenvolvimento-e-as-tres-geracoes.html>
42. Victron energy BLUE POWER. (2020). Solar charge controllers. Victron energy BLUE POWER: <https://www.victronenergy.com/blog/2014/03/28/matching-victron-energy-solarmodules-to-thenew-mppt-charge-regulators/>
43. Victronenergy. (2020). Wich solar charge controller: PWM or MPPT.
https://www.victronenergy.com/upload/documents/Technical-Information-Which-solar-charge-controller-PWM-or-MPPT.pdf?_ga=2.145232436.1812790596.1669227018910579288.1669227018
44. Wang, C. e Lu, Y. (2016) Solar Photovoltaic. Savonia University of Applied Sciences.
45. ZERO. (2022). Um ano de recordes com consumo de eletricidade em Portugal assegurado em 64% por fontes renováveis.
46. <https://zero.org/2016-um-ano-de-recordes-com-consumo-de-eletricidade-em-portugal-assegurado-em-64-por-fontes-renovaveis/>
47. Zhou, B. et al. (2021) «A review on solar pavement and photovoltaic/thermal (PV/T) system», *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 93(March), p. 102753. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102753>.

Anexo A



Introduction

Assembled with 11BB PERC cells, the half-cell configuration of the modules offers the advantages of higher power output, better temperature-dependent performance, reduced shading effect on the energy generation, lower risk of hot spot, as well as enhanced tolerance for mechanical loading.



Higher output power



Lower LCOE



Less shading and lower resistive loss

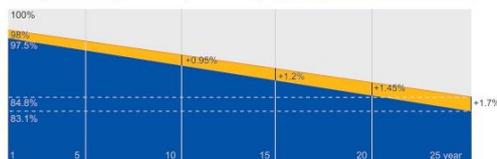


Better mechanical loading tolerance

Superior Warranty

- 12-year product warranty
- 25-year linear power output warranty

0.55% Annual Degradation Over 25 years



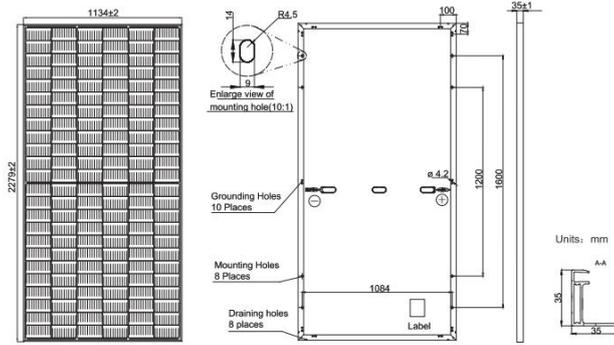
■ New linear power warranty ■ Standard module linear power warranty

Comprehensive Certificates

- IEC 61215, IEC 61730, UL 61215, UL 61730
- ISO 9001: 2015 Quality management systems
- ISO 14001: 2015 Environmental management systems
- ISO 45001: 2018 Occupational health and safety management systems
- IEC TS 62941: 2016 Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Guidelines for increased confidence in PV module design qualification and type approval



MECHANICAL DIAGRAMS



Remark: customized frame color and cable length available upon request

SPECIFICATIONS

Cell	Mono
Weight	28.6kg±3%
Dimensions	2279±2mm×1134±2mm×35±1mm
Cable Cross Section Size	4mm ² (IEC) , 12 AWG(UL)
No. of cells	144(6×24)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	QC 4.10(1000V) QC 4.10-35(1500V)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 300mm(+)/400mm(-); Landscape: 1300mm(+)/1300mm(-)
Packaging Configuration	31pcs/Pallet, 620pcs/40ft Container

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM72S30 -525/MR	JAM72S30 -530/MR	JAM72S30 -535/MR	JAM72S30 -540/MR	JAM72S30 -545/MR	JAM72S30 -550/MR
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	525	530	535	540	545	550
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.15	49.30	49.45	49.60	49.75	49.90
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	41.15	41.31	41.47	41.64	41.80	41.96
Short Circuit Current(Isc) [A]	13.65	13.72	13.79	13.86	13.93	14.00
Maximum Power Current(Imp) [A]	12.76	12.83	12.90	12.97	13.04	13.11
Module Efficiency [%]	20.3	20.5	20.7	20.9	21.1	21.3
Power Tolerance	0~+5W					
Temperature Coefficient of Isc(α _{Isc})	+0.045%/°C					
Temperature Coefficient of Voc(β _{Voc})	-0.275%/°C					
Temperature Coefficient of Pmax(γ _{Pmp})	-0.350%/°C					
STC	Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1.5G					

Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer.They only serve for comparison among different module types.

ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT

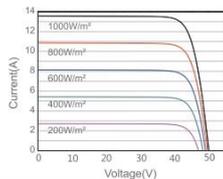
TYPE	JAM72S30 -525/MR	JAM72S30 -530/MR	JAM72S30 -535/MR	JAM72S30 -540/MR	JAM72S30 -545/MR	JAM72S30 -550/MR
Rated Max Power(Pmax) [W]	397	401	405	408	412	416
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	46.05	46.18	46.31	46.43	46.55	46.68
Max Power Voltage(Vmp) [V]	38.36	38.57	38.78	38.99	39.20	39.43
Short Circuit Current(Isc) [A]	10.97	11.01	11.05	11.09	11.13	11.17
Max Power Current(Imp) [A]	10.35	10.39	10.43	10.47	10.51	10.55
NOCT	Irradiance 800W/m ² , ambient temperature 20°C, wind speed 1m/s, AM1.5G					

OPERATING CONDITIONS

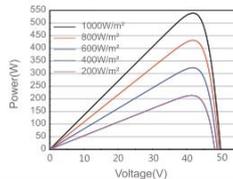
Maximum System Voltage	1000V/1500V DC
Operating Temperature	-40 C ~+85 C
Maximum Series Fuse Rating	25A
Maximum Static Load,Front*	5400Pa(112lb/ft ²)
Maximum Static Load,Back*	2400Pa(50lb/ft ²)
NOCT	45±2 C
Safety Class	Class II
Fire Performance	UL Type 1

CHARACTERISTICS

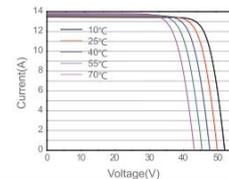
Current-Voltage Curve JAM72S30-540/MR



Power-Voltage Curve JAM72S30-540/MR



Current-Voltage Curve JAM72S30-540/MR



Anexo B

SUN2000-30/36/40KTL-M3 Smart PV Controller



Smart

8 strings intelligent monitoring



Efficient

Max. efficiency 98.7%



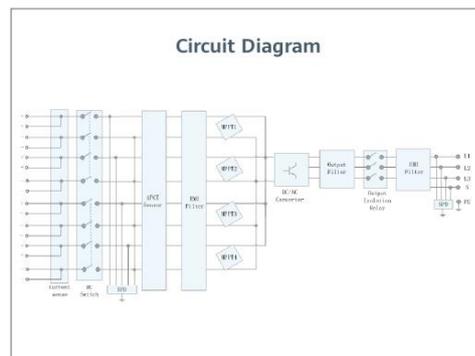
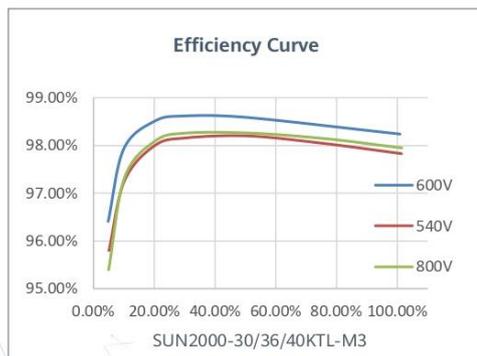
Safe

Fuse free design



Reliable

Type II surge arresters for DC & AC



SOLAR.HUAWEI.COM

SUN2000-30/36/40KTL-M3
Technical Specification

Technical Specification	SUN2000-30KTL-M3	SUN2000-36KTL-M3	SUN2000-40KTL-M3
Efficiency			
Max. Efficiency	98.7%		
European Efficiency	98.4%		
Input			
Max. Input Voltage ¹	1,100 V		
Max. Current per MPPT	26 A		
Max. Short Circuit Current per MPPT	40 A		
Start Voltage	200 V		
MPPT Operating Voltage Range ²	200 V ~ 1000 V		
Rated Input Voltage	600 V		
Number of Inputs	8		
Number of MPP Trackers	4		
Output			
Rated AC Active Power	30,000 W	36,000 W	40,000 W
Max. AC Apparent Power	33,000 VA ³	40,000 VA	44,000 VA
Rated Output Voltage	230 Vac / 400 Vac / 480 Vac, 3W/N+PE		
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz		
Rated Output Current	43.3 A	52.0 A	57.8 A
Max. Output Current	47.9 A	58.0 A	63.8 A
Adjustable Power Factor Range	0.8 LG ... 0.8 LD		
Max. Total Harmonic Distortion	< 3%		
Protection			
Input-side Disconnection Device	Yes		
Anti-islanding Protection	Yes		
AC Overcurrent Protection	Yes		
DC Reverse-polarity Protection	Yes		
PV-array String Fault Monitoring	Yes		
DC Surge Arrester	Yes		
AC Surge Arrester	Yes		
DC Insulation Resistance Detection	Yes		
Residual Current Monitoring Unit	Yes		
Arc Fault Protection	Yes		
Ripple Receiver Control	Yes		
Integrated PID Recovery ⁴	Yes		
Communication			
Display	LED Indicators, Integrated WLAN + FusionSolar APP		
RS485	Yes		
Smart Dongle	WLAN/Ethernet via Smart Dongle-WLAN-FE (Optional) 4G / 3G / 2G via Smart Dongle-4G (Optional)		
Monitoring BUS (MBUS)	Yes (Isolation Transformer required)		
General Data			
Dimensions (W x H x D)	640 x 530 x 270 mm (25.2 x 20.9 x 10.6 inch)		
Weight (with mounting plate)	43 kg (94.8 lb)		
Operating Temperature Range	-25 ~ + 60 °C (-13 °F ~ 140 °F)		
Cooling Method	Natural Convection		
Max. Operating Altitude	4,000 m (13,123 ft.) (Derating above 2000 m)		
Relative Humidity	0% RH ~ 100% RH		
DC Connector	Staubli MC4		
AC Connector	Waterproof Connector + OT/DT Terminal		
Protection Degree	IP 66		
Topology	Transformerless		
Nighttime Power Consumption	≤ 5.5W		
Optimizer Compatibility			
DC MBUS Compatible Optimizer	SUN2000-450W-P		
Standard Compliance (more available upon request)			
Safety	EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, EN 50530, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683		
Grid Connection Standards	IEC 61727, VDE-AR-N4105, VDE 0126-1-1, BDEW, G59/3, UTE C 15-712-1, CEI 0-16, CEI 0-21, RD 661, RD 1699, P.O. 12.3, RD 413, EN-50438-Turkey, EN-50438-Ireland, C10/11, MEA, Resolution No.7, NRS 097-2-1, AS/NZS 4777.2, DEWA		

1. The maximum input voltage is the upper limit of the DC voltage. Any higher input DC voltage would probably damage inverter.

2. Any DC input voltage beyond the operating voltage range may result in inverter improper operating.

3. For Austria, German, Belgium & Ukraine the Max. AC Apparent Power will not exceed 30,000 VA (with regard to grid code: VDE-AR-N4105, C10/11 & Austria)

4. SUN2000-30~40KTL-M3 raises potential between PV- and ground to above zero through integrated PID recovery function to recover module degradation from PID. Supported module types include: P-type (mono, poly), N-type (nPERT, HIT)