

Estudo energético industrial e análise económica da implementação de sistemas de energias renováveis

José António Moreira Sousa

Dissertação de Mestrado

Supervisor na FEUP: Prof. Flávia Barbosa



Mestrado em Engenharia Mecânica

setembro de 2025

“Success is not final, failure is not fatal: It is the courage to continue that counts.”

Winston Churchill

Resumo

De forma a garantir a sustentabilidade a longo prazo, a adaptação da população às regras e tendências de eficiência energética é essencial. Atualmente, muitas habitações privadas e instalações industriais recorrem a Unidades de Produção para Autoconsumo (UPAC), como forma de reduzir os custos energéticos e a pegada ambiental.

A instalação de UPAC's tem como objetivo diminuir a dependência da rede elétrica de serviço público (RESP) e aproveitar recursos renováveis como o sol, o vento e os cursos de água. É uma tendência que tem vindo a crescer e da qual se perspetiva um futuro com ainda mais desenvolvimentos fruto da dependência energética atual da Humanidade – advém de fatores como a eletrificação de frotas, utilização de energia elétrica para produzir energia térmica e aumento dos consumos nos países em desenvolvimento.

Neste projeto, desenvolvido com o apoio da EnergyTop – Instalações Elétricas e Topografia, Lda., foi abordada a instalação de UPAC's solares fotovoltaicas, os sistemas mais comuns e realizada uma análise dos consumos de uma unidade industrial para proceder ao dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico para autoconsumo. O projeto englobou uma revisão da literatura, o planeamento, definição de objetivos e o dimensionamento e simulação de um caso de estudo.

Em primeiro lugar, foi efetuada um estudo teórico sobre o tema do autoconsumo e sobre o panorama energético industrial, de forma a entender o estado atual da arte e compreender como são constituídos os sistemas solares fotovoltaicos de produção e autoconsumo.

De seguida, procedeu-se ao planeamento do projeto, começando pela análise do perfil consumos de uma empresa do ramo têxtil, definindo indicadores técnicos e económicos para apresentar ao cliente. Entendeu-se que seria importante criar apresentar 4 cenários com diferentes propostas de valor, tanto no nível de produção e autoconsumo, como no investimento inicial previsto.

Foram realizados os dimensionamentos e simulações para os 4 cenários, utilizando o software PV*SOL e, através dos indicadores apresentados, concluiu-se sobre o cenário mais favorável ao nível técnico e económico. O projeto terminou resumindo-se os dados em forma de tabelas para apoiar o cliente na tomada de decisão.

Industrial energy study and economic analysis of the implementation of renewable energy systems

Abstract

To ensure long-term sustainability, the population's adaptation to energy efficiency regulations and trends is essential. Currently, many private residences and industrial facilities use Self-Consumption Production Units as a way to reduce energy costs and reduce their environmental footprint.

The installation of UPACs aims to reduce dependence on the public power grid and harness renewable resources such as solar, wind, and waterways. This is a growing trend, with even greater consequences expected in the future due to humanity's current energy dependence—driven by factors such as fleet electrification, the use of electricity to produce thermal energy, and increased consumption in developing countries.

This project, developed with the support of EnergyTop – Instalações Elétricas e Topografia, Lda., addressed the installation of solar photovoltaic UPACs, the most common systems, and conducted a consumption analysis of an industrial unit to design a solar photovoltaic system for self-consumption. The project included a literature review, planning, goal setting, and the sizing and simulation of a case study.

First, a theoretical study was conducted on the topic of self-consumption and the industrial energy landscape, to understand the current state of the art and how solar photovoltaic systems for production and self-consumption are constructed.

Next, project planning was carried out, beginning with an analysis of the consumption profile of a textile company, defining technical and economic indicators to present to the client. It was understood that it would be important to create four scenarios with different value propositions, both in terms of production and self-consumption, as well as the estimated initial investment.

Sizing and simulations were performed for the four scenarios using PV*SOL software, and, based on the indicators presented, a conclusion was drawn regarding the most favorable scenario from a technical and economic perspective. The project concluded by summarizing the data in tables to support the client in decision-making.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de expressar a minha gratidão ao Eng. André Couto por toda a partilha de conhecimento e disponibilidade para me ajudar ao longo deste projeto. Permitiu-me sair da minha zona de conforto e aprender conceitos novos, além da Engenharia Mecânica.

Um agradecimento à professora Flávia Barbosa pela disponibilidade para me orientar e por toda a preocupação em relação a esta dissertação.

Gostaria de também agradecer à minha família e amigos, que, durante o meu percurso académico me acompanharam, apoiando-me incondicionalmente tanto nos bons, como nos maus momentos e motivando-me sempre que necessário. Sou-lhes grato por toda a ajuda e conselhos ao longo desta etapa da minha vida.

Por último, mas não menos importante, gostaria de deixar uma palavra de apreço a todos os colegas e amigos que fiz na FEUP e todos os docentes e colaboradores com quem me cruzei e que contribuíram muito positivamente, quer para a minha formação académica, quer para o meu desenvolvimento pessoal.

Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação	1
1.2	Informação e Casos de Estudo	1
1.3	Objetivos do projeto	2
1.4	Método seguido no projeto	2
1.5	Estrutura da dissertação	2
2	Autoconsumo de Energia	4
2.1	Panorama Energético em Portugal	4
2.2	Conceito de Autoconsumo de Energia	7
2.3	Vantagens	8
2.4	Particulares	9
2.5	Empresas	9
2.6	Enquadramento Legal	9
2.7	Evolução do Autoconsumo na Europa e no Mundo	10
2.8	Barreiras ao Crescimento	10
2.9	Conclusões	11
3	Evolução do Consumo de Energia no Setor Industrial em Portugal	12
3.1	Dados Históricos	12
3.2	Previsões	13
3.3	Tendências de Medidas na Eficiência Energética	13
3.4	Manutenção Preventiva e Preditiva	13
3.5	Implementação de Sistemas de Gestão de Energia	14
3.6	Iluminação LED Dinâmica	15
3.7	Instalação de Variadores de Velocidade/Frequência	15
3.8	Gestão de Consumos	16
3.9	Otimização de Sistemas de Ar Comprimido	16
4	Sistemas de Energias Renováveis – Tecnologias Disponíveis	17
4.1	Constituição de um Sistema Solar	17
4.2	Painéis Solares	18
4.2.1	Monocristalinos	18
4.2.2	Policristalinos	18
4.2.3	Bifaciais	18
4.2.4	Filme fino	19
4.3	Inversores	19
4.4	Strings	20
4.5	Concentradores de Dados	21
4.6	Estações Meteorológicas	21
4.7	Estruturas de Suporte aos Painéis Solares	22
4.8	Cabos DC e Cabos AC	22
4.9	Segurança das Instalações – Proteções Elétricas	23
4.10	Segurança dos Edifícios	24
4.11	Custos Indicativos	24
4.12	Manutenção Preventiva	25
4.13	Análise de Performance	25
5	Dimensionamento de uma Instalação de Autoconsumo	26
5.1	Condições Prévias e cenários	26
5.2	Análise de Consumos	27
5.3	Simulação e escolha dos equipamentos	28
5.4	Softwares e ferramentas disponíveis	35
5.5	Análise de resultados	36
6	Conclusões e perspetivas de trabalho futuro	45
	ANEXO A	48

Siglas e abreviaturas

A – Ampère

AC - *Alternating Current*

ACC - Autoconsumo Coletivo

ACI - Autoconsumo Individual

CAPEX - *Capital Expenditure*

CER - Comunidades de Energia Renovável

CO - Monóxido de Carbono

CPV - *Concentrated Photovoltaic*

CUR - Comercializador de Último Recurso

DC - *Direct Current*

DGEG - Direção-Geral de Energia e Geologia

DPS - Dispositivo de Proteção Contra Surtos

EPC - *Engineering, Procurement, and Construction*

EPR - Etileno-Propileno

GNL - Gás Natural Liquefeito

Isc - Corrente Máxima de Curto-circuito

IU - Instalação de Utilização

kWh - Quilowatt-hora

LCOE - *Levelized Cost of Energy*

LED - *Light Emitting Diode*

MIBEL - Mercado Ibérico de Eletricidade

MPPT - Maximum Power Point Trackers

OPEX - *Operational Expenditure*

ORD - Operador da Rede de Distribuição

PME - Pequenas e Médias Empresas

PV - *Photovoltaic*

REN - Rede Elétrica Nacional

RESP - Rede Elétrica de Serviço Público

RSIEE - Regulamento de Segurança de Instalações de Energia Elétrica

SCADA - *Supervisory Control and Data Acquisition*

SEM - Sistema Elétrico Nacional

SGen - Sistemas de Gestão de Energia

TIR - Taxa Interna de Rentabilidade

V - Volt

Voc - Tensão de Circuito Aberto

V_{mp} - Tensão de Operação

W - *Watt*

XLPE - Polietileno Reticulado

Lista de Figuras

Figura 1 - Forma final de consumo energético em Portugal em 2023 (ADENE, 2025)	4
Figura 2 - Evolução da produção de energia hidroelétrica em Portugal (DGEG, 2025).....	5
Figura 3 - Evolução da produção de energia eólica em Portugal (DGEG, 2025)	5
Figura 4 - Evolução da produção de energia solar em Portugal por zona geográfica (DGEG, 2025).....	6
Figura 5 Evolução da dependência energética geral de Portugal (ADENE, 2025).....	7
Figura 6 Consumo de energia final por setor de atividade, em 2023 (ADENE, 2025).....	7
Figura 7 Produção Descentralizada de Energia (DGEG, 2025)	8
Figura 8 - Modelo de Sistema de Gestão de Energia baseado na norma <i>ISO 50001</i> (MEESI, 2024).....	14
Figura 9 - Comparação da potência e da intensidade luminosa dos diferentes tipos de lâmpada (Silva, 2021)	15
Figura 10 Exemplo de sistema solar fotovoltaico monofásico de potência > 4kW com ligação à RESP (ADENE et al., 2025).....	17
Figura 11 – Exemplo de painéis solares fotovoltaicos monocristalino, policristalino, bifacial e filme fino	19
Figura 12 - Exemplo simplificado de um <i>string</i> com 6 painéis solares (Portal Solar, 2024)....	21
Figura 13 - Tabela com os consumos mensais do ano 2024	27
Figura 14 - Interface de seleção do PV*SOL	28
Figura 15 - Diagrama com os consumos mensais do ano 2024.....	28
Figura 16 - Imagem e características do painel Canadian Solar CS7N-665MS.....	30
Figura 17 - Disposição dos módulos no cenário 1	30
Figura 18 - Disposição dos módulos no cenário 2	31
Figura 19 - Disposição dos módulos no cenário 3	31
Figura 20 - Disposição dos módulos no cenário 4	31
Figura 21 - Imagem e características do inversor Huawei SUN200-50KTL M 3.....	33
Figura 22 – <i>Strings</i> para o cenário 1	34
Figura 23 - <i>Strings</i> para o cenário 2	35
Figura 24 - <i>Strings</i> para o cenário 3	35
Figura 25 - <i>Strings</i> para o cenário 4	35
Figura 26 - Visão geral da produção no cenário 1	36
Figura 27 - Visão geral da produção no cenário 2.....	37
Figura 28 - Visão geral da produção no cenário 3.....	37
Figura 29 - Visão geral da produção no cenário 4.....	38
Figura 30 - Parâmetros financeiros do cenário 1	39
Figura 31 - Parâmetros financeiros do cenário 2	40
Figura 32 - Parâmetros financeiros do cenário 3	41

Figura 33 - Parâmetros financeiros do cenário 4	42
Figura 34 - Visão geral dos resultados do cenário 1	42
Figura 35 - Visão geral dos resultados do cenário 2	43
Figura 36 - Visão geral dos resultados do cenário 3	43
Figura 37 - Visão geral dos resultados do cenário 4	44
Figura 38 - Tabela de comparação dos 4 cenários.....	45
Anexo A. 1 - Modelação do edifício e dos obstáculos envolventes	48
Anexo A. 2 - Modelação do edifício e dos obstáculos envolventes	48
Anexo A. 3 - Exemplo de defeitos encontrados na instalação existente - termografia	49
Anexo A. 4 - Exemplo de defeitos encontrados na instalação existente	49
Anexo A. 5 - Exemplo de defeitos encontrados na instalação existente - exterior	50
Anexo A. 6 - Exemplo de defeitos encontrados na instalação existente - inversor.....	50
Anexo A. 7 - Exemplo de defeitos encontrados na instalação existente - cabos desconectados	51
Anexo A. 8 - Características técnicas do painel Canadian Solar HiKu7-CS7N-MS	52
Anexo A. 9 - Características técnicas do inversor Huawei SUN2000-50KTL-M3	53
Anexo A. 10 - Ligações das <i>strings</i> do cenário 1	54
Anexo A. 11 - Ligações das <i>strings</i> do cenário 2	54
Anexo A. 12 - Ligações das <i>strings</i> do cenário 3	54
Anexo A. 13 - Ligações das <i>strings</i> do cenário 4	54
Anexo A. 14 - Diagrama elétrico da instalação do cenário 1	55
Anexo A. 15 - Diagrama elétrico da instalação do cenário 2	55
Anexo A. 16 - Diagrama elétrico da instalação do cenário 3	56
Anexo A. 17 - Diagrama elétrico da instalação do cenário 4	56
Anexo A. 18 - Exemplo de uma estrutura apresentada pela Energy Top.....	57

1 Introdução

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

Este projeto foi realizado no âmbito da unidade curricular de segundo ano e segundo semestre do Mestrado em Engenharia Mecânica, lecionado na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. O trabalho ocorreu entre os meses de fevereiro e setembro de 2025 em colaboração com a empresa EnergyTop – Instalações Eléctricas e Topografia, Lda.

O consumo de energia a nível mundial tem crescido de forma proporcional aos avanços tecnológicos e económicos nacionais e globais, sendo esta evolução é um dos fatores cruciais para o aumento da procura de energia. Cada vez mais se desenvolvem equipamentos mais sofisticados e mais dependentes de energia elétrica, sendo que este facto afeta os panoramas doméstico, comercial e industrial, exigindo infraestruturas energéticas cada vez mais complexas e mais robustas (Agency, 2025).

O desenvolvimento socioeconómico das últimas décadas, torna necessário uma melhor e mais eficiente gestão dos recursos energéticos existentes. A indústria, sendo uma das áreas com maior consumo de energia, requer uma transição para fontes mais sustentáveis e que deverão ser realizadas tendo também em consideração o volume e retornos dos investimentos envolvidos. Atualmente, a matriz energética industrial ainda depende de energias fósseis, sendo que em geral, na maioria dos países esta tendência tem vindo a diminuir (Agency, 2025).

A implementação de alternativas renováveis e de cogeração têm sido amplamente utilizadas, embora o seu custo e necessidade de investimento inicial em equipamentos e infraestruturas representem um entrave para muitos setores industriais. Esta transição também passa pela implementação de sistemas de armazenamento de energia e uma otimização na gestão das redes energéticas locais e nacionais (Gonçalves, 2025).

1.2 Informação e Casos de Estudo

Ao longo dos últimos anos, a EnergyTop tem vindo realizar estudos, desenvolver soluções e prestar serviços de manutenção a diversas empresas e entidades que implementam e adquirem unidades para produção de energias renováveis e cogeração. É também responsável por efetuar diversas instalações elétricas em barragens, parques fotovoltaicos, indústrias e grandes edifícios de comércio e serviços. Tem, por isso, um enorme *background* sobre o tema e é uma referência no setor.

O caso de estudo abordado é sobre uma empresa da área têxtil, localizada na zona norte do país. Por motivos de confidencialidade, não é possível revelar o nome real, adotando o nome fictício A&A S.A. A análise deste caso deve-se ao facto de este caso ser um exemplo comum em empresas na área do setor da produção e transformação, com instalações de grandes dimensões e máquinas e equipamentos a operar em regime diurno.

1.3 Objetivos do projeto

Ao longo desta dissertação, tenciona-se abordar de forma teórica o tema do autoconsumo, analisar as suas diversas variáveis tanto a nível nacional como Europeu e Mundial e concluir sobre a sua evolução.

Para aplicação dos conhecimentos adquiridos, pretende-se explorar os consumos das instalações da empresa A&A S.A., com o objetivo de entender o seu perfil de consumo energético e estudar soluções de produção de energia que se enquadrem neste panorama de empresas. Com vista a enquadrar este investimento nas intenções do cliente, serão criados vários cenários com diversas opções de produção e financeiras.

Este estudo conta com a análise da parte técnica, estrutural e económica, de forma a ajustar de forma correta os sistemas de produção e entender o proveito deste tipo de sistemas para as empresas do setor industrial.

1.4 Método seguido no projeto

Este trabalho foi planeado para se começar com a abordagem teórica, de forma a sustentar a análise e permitir um maior aproveitamento da informação. A base teórica partiu do conhecimento partilhado pelos engenheiros da EnergyTop – Instalações Eléctricas e Topografia, Lda, acompanhamento com o Eng. André Couto, artigos científicos e técnicos e outras dissertações relacionadas com a área.

Após a criação de uma base teórica sólida, iniciou-se a obtenção da informação necessária para enquadrar o caso. Obteve-se através do fornecedor de energia do cliente, E-Redes, um histórico de consumos e iniciou-se a análise, com vista à interpretação e obtenção de informações prévias ao projeto e realização de um enquadramento do caso.

Tratando-se de um cliente que já possuía uma UPAC instalada por outra empresa, foi realizada uma análise ao sistema existente pelos técnicos da Energy Top. Foram encontrados erros e apresentadas sugestões de melhoria.

Prosseguiu-se com a abordagem ao caso, criando alguns cenários base de enquadramento de forma a discutir diferentes caminhos de dimensionamento.

Após se entender o caminho a seguir, começaram os trabalhos de projetar e simular 4 cenários diferentes, tendo no fim sido realizada uma análise aos resultados para se retirarem as devidas conclusões e sugerir a escolha da melhor opção para o cliente.

1.5 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos.

No Capítulo 1 é apresentado o enquadramento, a informação geral sobre o caso de estudo, os objetivos e a estrutura da dissertação.

No Capítulo 2 é realizada uma abordagem geral ao tema do autoconsumo de energia, explicando o conceito, contextualizando os panoramas energéticos português, europeu e mundial e analisando a sua evolução. Também se faz referência às vantagens do autoconsumo de energia e ao desenvolvimento desta temática ao longo do tempo.

No capítulo 3 aborda-se o setor energético industrial, compreendendo a sua evolução histórica e tendências futuras. Analisa-se também formas de aumentar a eficiência de consumos através de medidas de manutenção, implementação de sistemas de energia, instalação de luminárias LED e de variadores de velocidade e frequência, otimização de consumos e melhorias de sistemas de ar comprimido.

O capítulo 4 centra-se nos sistemas de energias renováveis, mais especificamente nos sistemas solares fotovoltaicos, nos seus componentes e instalação. Compara-se as opções atuais no mercado, os custos associados e a performance deste tipo de sistemas.

No capítulo 5 inicia-se a abordagem direta ao problema apresentado com um caso de estudo de uma empresa que serviu como referência para todo o projeto. É realizada uma análise de consumos da empresa cliente e dimensiona-se 4 cenários diferentes como solução, simulando cada um deles de forma a tirar conclusões sobre a sua viabilidade técnica e financeira.

No capítulo 6 conclui-se sobre a rentabilidade dos cenários simulados, utilizando as métricas técnicas e económicas mais importantes.

2 Autoconsumo de Energia

Neste capítulo discutem-se as ideias fundamentais que servirão de base para o desenvolvimento do projeto conduzido nesta Dissertação. O foco está na análise do panorama energético atual e no conceito de autoconsumo de energia, tanto para particulares, como para empresas e o seu enquadramento legal.

Este capítulo fez uma contribuição importante para o projeto como um todo, facilitando a compreensão da teoria e relacionando-a com o caso de estudo abordado.

2.1 Panorama Energético em Portugal

O panorama energético português revela-se semelhante ao da maioria dos países europeus, tendo vindo a atravessar uma profunda transformação nas últimas duas décadas. No setor da energia elétrica, Portugal tem apostado fortemente no incentivo à instalação de sistemas de produção de energias renováveis, na eficiência energética e na descarbonização. Tendo uma reserva de recursos naturais como combustíveis fósseis muito limitados, está dependente da sua importação abastecer as cadeias energéticas primárias. As poucas reservas petrolíferas e de gás natural, por serem reduzidas, são pouco exploradas (Pinho, 2025)

Apenas uma reduzida parte dos produtos petrolíferos importados são utilizados para produção de energia elétrica. Na figura 1 é indicada que a forma final de consumo de energia de aproximadamente 46% associado a produtos petrolíferos e quase 10% associado a gás natural. O setor dos transportes é o maior consumidor de produtos petrolíferos.

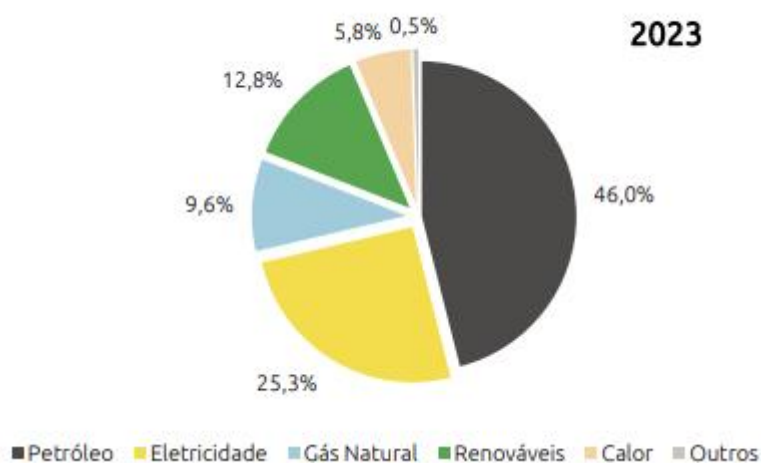


Figura 1 - Forma final de consumo energético em Portugal em 2023 (ADENE, 2025)

Existem cerca de 260 barragens em Portugal, não estando todas associadas a produção de energia. As 60 barragens mais ativas são responsáveis por assegurar uma média de cerca de 28% da produção de energia elétrica nos últimos 5 anos. Nos rios Douro, Tejo e Mondego encontram-se as infraestruturas de maior dimensão. Este tipo de centrais permite o armazenamento de água, o que favorece o controlo de produção, podendo requisitar apenas o necessário para equilibrar os níveis de consumo e produção. Uma vantagem de algumas barragens é que, além do armazenamento de água, podem ser reversíveis. Desta forma, bombeiam água de jusante para montante em alturas em que existe produção em excesso na RESP – períodos noturnos ou em que outras fontes de energia renovável, como a eólica produzem em excesso, para aproveitar este caudal em momentos de maior necessidade, evitando exportar energia de forma gratuita (Agência Portuguesa do Ambiente, 2025)

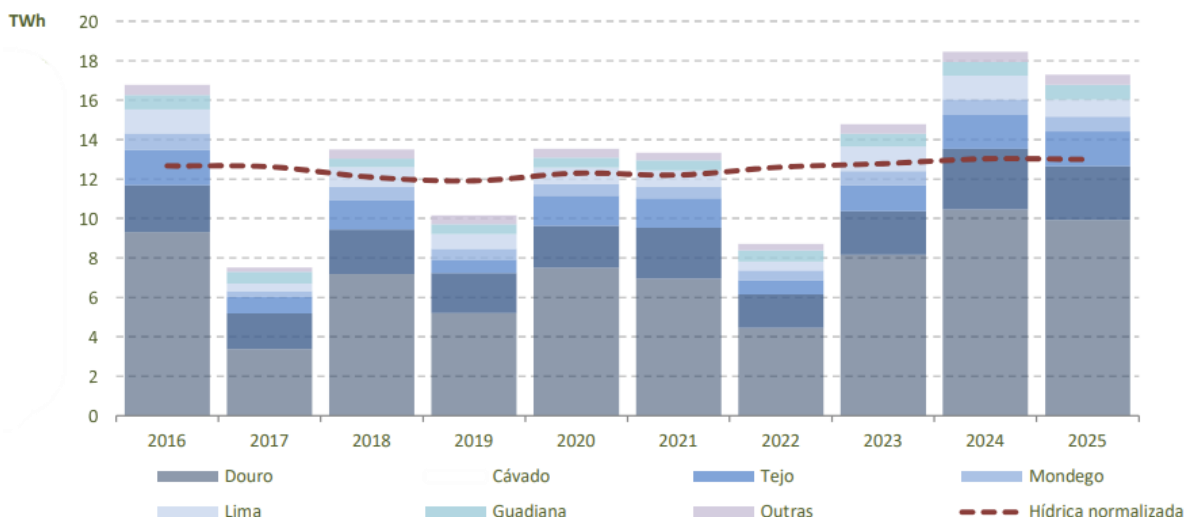


Figura 2 - Evolução da produção de energia hidroelétrica em Portugal (DGEG, 2025)

A energia eólica também apresenta um impacto muito semelhante, com uma média de contribuição anual de aproximadamente 25 a 28%, como se verifica na figura 3. Na zona norte e centro do país é onde se encontram as maiores produções devido a serem mais montanhosas e com condições favoráveis de vento (IEA, 2025).

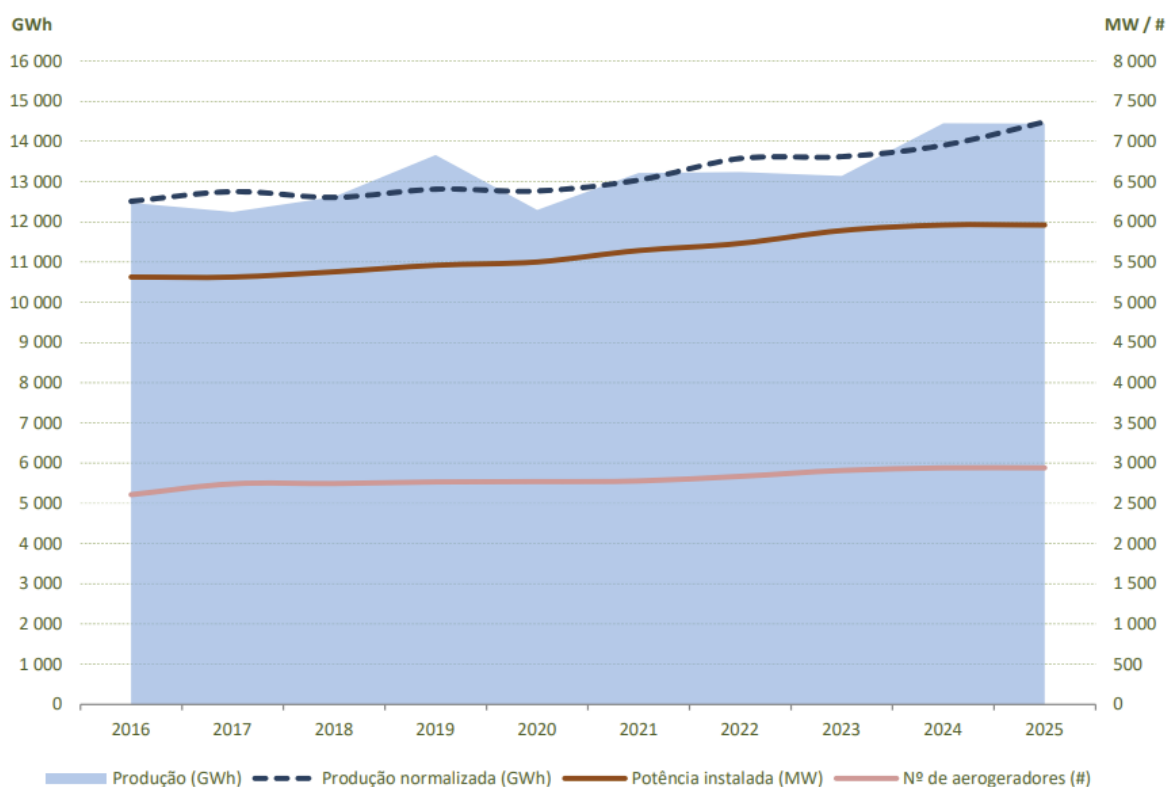


Figura 3 - Evolução da produção de energia eólica em Portugal (DGEG, 2025)

Nos últimos anos, a energia solar tem crescido consideravelmente, aproveitando a elevada radiação solar em Portugal, sobretudo na zona sul, onde têm nascido infraestruturas de tamanho considerável. Devido à sua localização geográfica, no sul da Europa, Portugal dispõe de bons recursos solares em todo o país e, com a redução do preço dos equipamentos verificado nos últimos anos, os contratos EPC (Engineering, Procurement, and Construction), nos quais as empresas adquirem e suportam o custo da instalação, tornam-se mais atrativos. Estes contratos

permitem que o cliente seja o proprietário do equipamento. Já representa cerca de 12% da produção elétrica. Na figura 4 mostra-se a evolução por zona em Portugal. (ADENE, 2025).

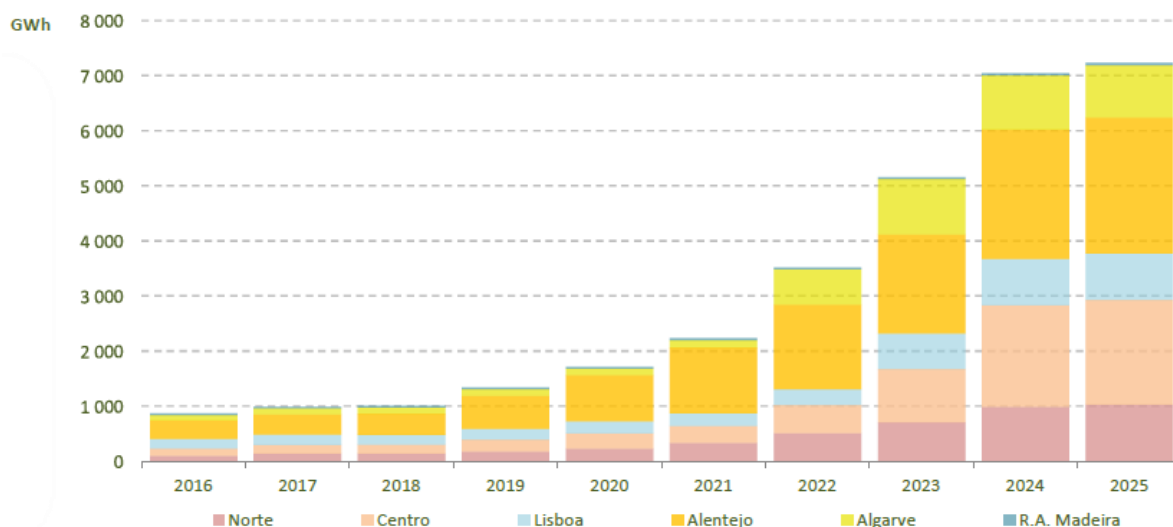


Figura 4 - Evolução da produção de energia solar em Portugal por zona geográfica (DGEG, 2025)

Segundo a DGEG, “no ano móvel de maio de 2024 a abril de 2025, a produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis foi de 42 951 GWh, correspondendo a 73.2% do total da produção bruta de eletricidade” e “neste mesmo período, 74% da produção de eletricidade de origem renovável foi obtida através das tecnologias eólica e hídrica” e “a capacidade instalada na produção descentralizada representa 13% da potência instalada renovável” (DGEG, 2025).

O carvão foi eliminado da produção elétrica nacional em 2021, mas o gás e a biomassa ainda representam uma parte nas contas de produção de eletricidade em Portugal.

Devido à falta de reservas próprias, Portugal importa a quase totalidade dos combustíveis fósseis que consome, incluindo petróleo, gás natural e carvão:

- Petróleo bruto: É importado, principalmente, de países como a Nigéria, a Argélia e o Brasil. As refinarias da Galp em Sines e Matosinhos, embora esta última tenha encerrado em 2021 processavam o crude para abastecimento interno e exportação;
- Gás Natural: Vem essencialmente os Estados Unidos da América e da Nigéria, através de terminais de Gás Natural Liquefeito (GNL), nomeadamente para o porto de Sines;
- Carvão: Já não é utilizado para produção elétrica, mas ainda é importado para algumas atividades industriais como a siderurgia.

Apesar do forte investimento em energias renováveis, Portugal continua a importar eletricidade, principalmente de Espanha, através da rede interligada da Península Ibérica. O país faz parte do Mercado Ibérico de Eletricidade (MIBEL) desde 2007, o que permite trocas energéticas constantes entre os dois países, dependendo da oferta e da procura. Em períodos de elevada produção renovável, Portugal exporta energia para Espanha. No entanto, quando a produção renovável é insuficiente, especialmente em períodos de seca, que afeta a produção hidroelétrica, ou quando há uma elevada procura, o país importa eletricidade da rede espanhola. Portugal tem vindo a tornar-se mais autossuficiente em termos de energia elétrica (REN, 2024)

Uma demonstração desta ligação foi a interrupção geral no dia 28 de abril que afetou Espanha e, consequentemente, Portugal que estava a importar parte da sua energia elétrica total. Esta falha teve repercussões que duraram mais de 10 horas.

Ao nível da energia elétrica, Portugal é praticamente autossuficiente, contrariamente ao que acontece se considerarmos o balanço energético total com as diversas formas de energia como se verifica na figura 5.

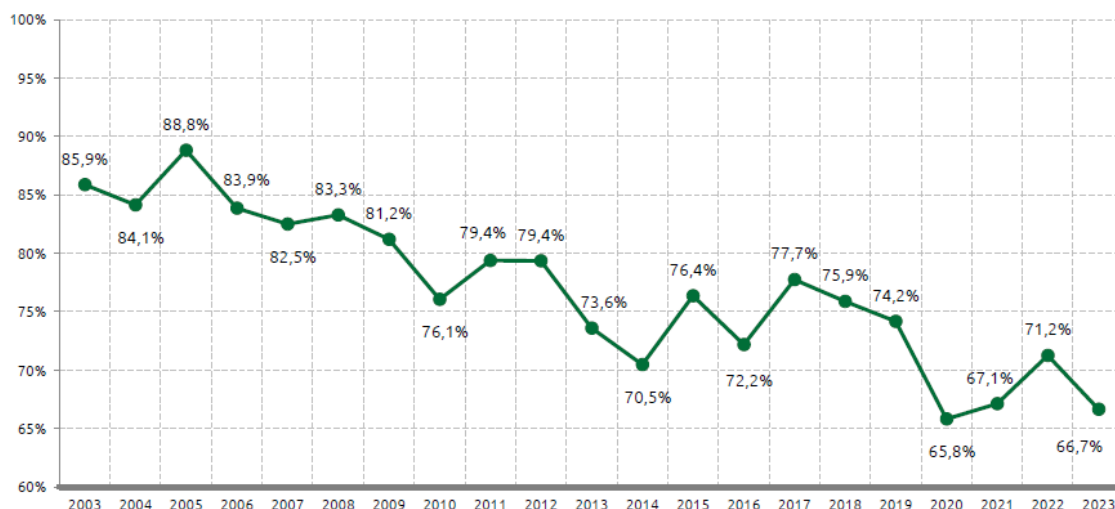


Figura 5 - Evolução da dependência energética geral de Portugal (ADENE, 2025)

Embora se tenham vindo a desenvolver muitas melhorias no setor doméstico e habitacional, os grandes consumidores estão associados a operadores económicos. Como demonstrado na Figura 6, 27,7% dos consumos de energia estão associados à indústria e 37% aos transportes no ano de 2022. O setor doméstico representa menos de 17,5% dos consumidores.

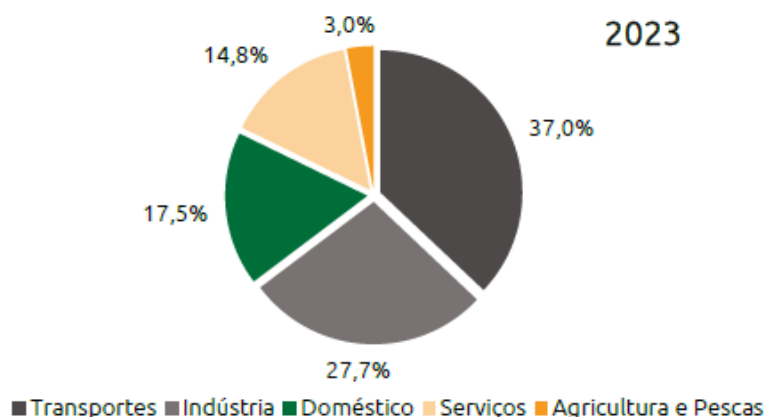


Figura 6 - Consumo de energia final por setor de atividade, em 2023 (ADENE, 2025)

2.2 Conceito de Autoconsumo de Energia

O autoconsumo de energia, segundo o Decreto-Lei n.º 15/2022, Art. 2.º, alínea ii, define-se como “o regime em que a energia elétrica produzida numa unidade de produção é consumida, total ou parcialmente, pelo produtor-consumidor, individualmente ou em conjunto com outros autoconsumidores”.

Uma Unidade de Produção para Autoconsumo (UPAC) é um sistema que tem como objetivo principal a produção de energia elétrica para consumo próprio. Existem UPAC's a partir de fontes de energia renováveis ou não renováveis, sendo a energia fotovoltaica a mais comum em Portugal. A instalação de uma UPAC procura minimizar as necessidades de consumo da instalação à qual está associada. Dependendo da sua dimensão e do recurso utilizado, pode não conseguir assegurar a produção total durante certos períodos e noutros, produzir energia em excesso que poderá ser injetada na rede elétrica ou armazenada com recurso a baterias (ADENE, 2022).

Nas situações mais comuns, a UPAC é instalada dentro da instalação de utilização (IU).

Em Portugal, os sistemas de autoconsumo mais comuns dividem-se em três modelos:

- **Autoconsumo Individual (ACI):** neste modelo, o consumidor final produz energia renovável nas suas instalações, tanto para consumo próprio como para armazenamento ou venda da eletricidade que não consome. Verifica-se que este modelo é um dos mais simples e dos mais comuns (ADENE et al., 2025).
- **Autoconsumo Coletivo (ACC):** esta modalidade é uma das opções de Comunidades de Energia. Nestes sistemas, os consumidores e produtores agregam-se e partilham a energia gerada entre duas ou mais IU's, encontrando-se a UPAC instalada numa das IU's ou na proximidade deste grupo de consumidores. As unidades podem ser interligadas diretamente entre si ou através da Rede Elétrica de Serviço Público (RESP). É comum instalar estes sistemas em grandes edifícios residenciais e comerciais e em condomínios e podem ter uma fonte de energia não renovável (ADENE et al., 2025).
- **Comunidades de Energia Renovável (CER):** este modelo é semelhante ao ACC, tendo maior complexidade devido à necessidade de ter uma organização mais formal, dispondo de uma forma jurídica como uma empresa, cooperativa ou associação. Estes tipos de instalações aplicam-se mais a comunidades mais dispersas como um conjunto de habitações na mesma zona ou um grupo de indústrias próximas entre si (ADENE et al., 2025).

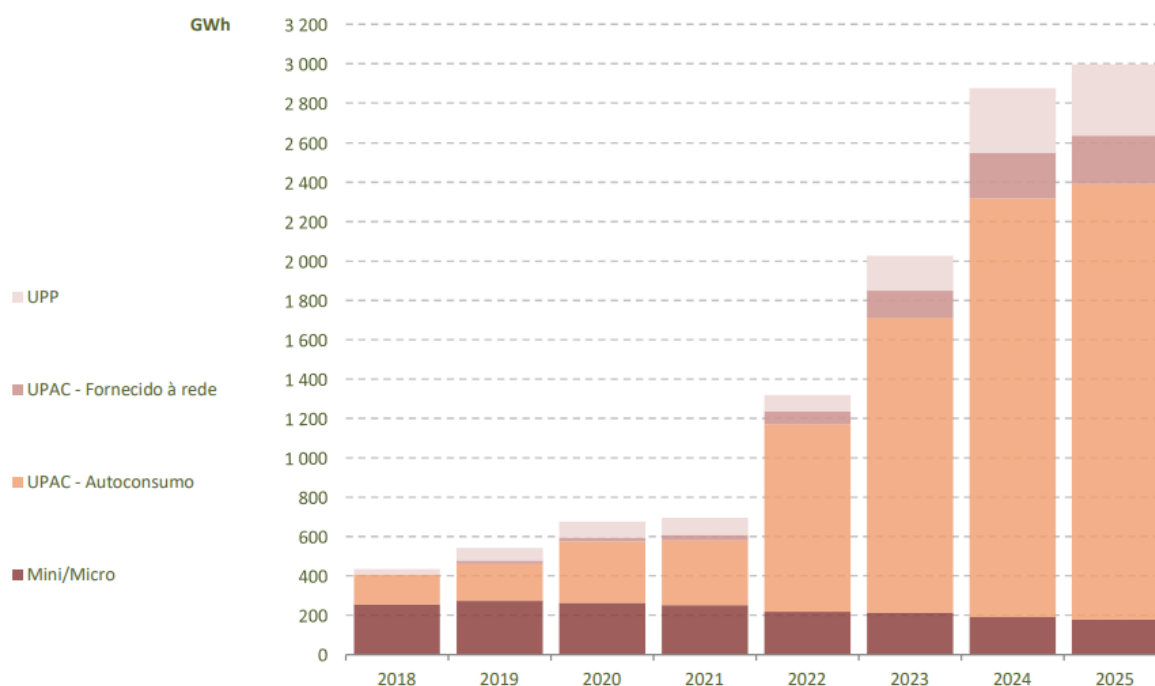


Figura 7 - Produção Descentralizada de Energia (DGE, 2025)

Durante o ano de 2024, cerca de 16% da produção de energia renovável foi gerada através de unidades de autoconsumo, como demonstrado na figura 7.

2.3 Vantagens

As vantagens da produção distribuída estão relacionadas com a flexibilidade que esta modalidade proporciona. Destacam-se:

- Redução de perdas no transporte ao longo da RESP – estando a fonte de produção mais próxima do consumidor, reduzem-se as perdas;

- Processos burocráticos simplificados – até potências instaladas de 30kW é apenas necessário realizar uma comunicação prévia e os custos para instalações domésticas são reduzidos;
- Tecnologia solar com preços competitivos – otimiza o retorno do investimento. Atualmente dispõe-se de equipamentos mais acessíveis e com boas garantias de funcionamento.

2.4 Particulares

A implementação de UPAC's em habitações unifamiliares e multifamiliares tem registado um crescimento significativo nos últimos anos. A tipologia mais comum assenta na integração de sistemas fotovoltaicos para a conversão de energia solar em eletricidade. O principal objetivo desta solução é a otimização do perfil de consumo energético das famílias, promovendo a autossuficiência parcial e a redução da fatura elétrica através da produção descentralizada de energia. As soluções mais comuns para habitações são um kit simples de painéis e um inversor ou um kit que inclui os painéis, o inversor e baterias para o armazenamento de energia (André, 2022).

Nos sistemas sem baterias, caso exista excedente de produção, a energia pode ser injetada na RESP ou vendida, mediante a celebração de um contrato entre o produtor particular e algum comercializador do mercado. Em último caso, é possível recorrer ao Comercializador de Último Recurso (CUR) para a venda do excedente. Na maioria das vezes, a tarifa aplicada é relativamente baixa, entre 0,02€ e 0,06€ por kWh, privilegiando-se, sempre que possível, o autoconsumo. As UPAC's com baterias, em alguns casos, permitem funcionamento isolado da rede elétrica (off-grid) em caso de quebra de abastecimento na RESP (Carrilho, 2019).

2.5 Empresas

A implementação de UPAC's em empresas é uma prática cada vez mais comum. O benefício principal é a redução da fatura de eletricidade associado a um investimento relativamente baixo.

No setor empresarial, a fonte mais utilizada é a solar, e portanto, será a única abordada diretamente nesta dissertação. O motivo desta escolha prende-se com o perfil de consumo do setor empresarial ser maioritariamente diurno, coincidindo com o perfil de produção das instalações fotovoltaicas. Este facto permite um maior aproveitamento da energia produzida para autoconsumo. Estes sistemas, por norma, são montados nas coberturas dos edifícios e nos parques de estacionamento, não interferindo com a atividade das empresas (Reis, 2019).

Dependendo do setor empresarial, é possível aceder a benefícios, incentivos fiscais ou financiamento a fundo perdido no âmbito de programas europeus e nacionais. A nível ambiental, estas medidas afetam diretamente a redução de emissões de monóxido de carbono (CO).

2.6 Enquadramento Legal

Em Portugal, o regime jurídico que regulamenta esta atividade é o Decreto-Lei n.º 15/2022, de 14 de janeiro, tendo sofrido alterações através do Decreto-Lei n.º 99/2024, de 3 de dezembro. A entidade reguladora destes projetos é a Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG).

O Decreto-Lei n.º 15/2022 estabelece diversas regras sobre o Sistema Elétrico Nacional (SEN), abordando as disposições gerais da atividade, o direito e deveres do auto-consumidor, normas técnicas de instalação e operação, a gestão das redes elétricas e as responsabilidades institucionais.

2.7 Evolução do Autoconsumo na Europa e no Mundo

A evolução do autoconsumo tem sido um tema central na transição energética mundial. A descida dos custos da tecnologia de produção de energia e a necessidade acrescida de energia elétrica têm culminado no desenvolvimento de novas soluções para suprimir esta procura.

O autoconsumo está em rápida expansão, acompanhando o crescimento das energias renováveis e da digitalização das redes elétricas, especialmente através de sistemas fotovoltaicos. Estes sistemas têm emergido como uma solução estratégica. Sendo um modelo de produção descentralizada, permite aos consumidores finais, tanto residenciais, como comerciais ou industriais, produzir e consumir a sua própria eletricidade, reduzindo a dependência RESP e contribuindo para os objetivos climáticos e energéticos definidos a nível nacional e internacional (Félix, 2021).

A Europa, devido a fatores económicos, sociais e tecnológicos tem aumentando a dependência de energia elétrica. O perfil de consumo tem vindo a alterar-se: existem cada vez mais equipamentos elétricos, mas a eficiência também aumentou. Algumas evoluções acarretam grandes desafios de implementação, como é o caso da mobilidade elétrica. O autoconsumo está em rápida expansão, acompanhando o crescimento das energias renováveis e da digitalização das redes elétricas. Esta evolução e a introdução de uma maior quota de energias renováveis com vista a reduzir a dependência de combustíveis fósseis, obriga a uma gestão mais eficaz das redes elétricas (Weiss et al., 2024).

A nível mundial, a adoção de sistemas de autoconsumo tem registado, em geral, um crescimento exponencial nas últimas duas décadas. Além dos fatores técnicos, em muitos países tem-se verificado um maior apoio legislativo e regimes regulatórios mais favoráveis para esta área. Têm sido estabelecidas metas ambiciosas para atingir a neutralidade carbónica a nível mundial com incentivos diretos e regimes regulatórios favoráveis ao autoconsumo. Muitos países estabeleceram como objetivo atingir a neutralidade carbónica até ao ano 2050, tentando criar um compromisso global de descarbonização (National Public Utilities Council, 2025).

Nos próximos anos, prevê-se que esta evolução se mantenha e que o autoconsumo assuma um papel importante nas redes elétricas de cada país

2.8 Barreiras ao Crescimento

Prevê-se que a evolução da última década se mantenha e que o autoconsumo assuma um papel importante nas redes elétricas de cada país, contudo, há fatores que podem mudar o rumo deste crescimento e dificultar o seu desenvolvimento.

As principais barreiras ao crescimento podem ser de diferente carácter:

- Regulatórias e Legislativas – a inexistência de legislação e regulamentação que promova e facilite o setor. Sem um regime jurídico sólido e bem construído é impossível controlar o mercado e incentivar ao investimento no autoconsumo porque o utilizador comum não tem acesso às normas e necessita de apoio administrativo para efetivar o investimento, gerando incerteza. Os processos devem ser facilitados e os licenciamentos e registos devem ser acelerados;
- Económico e Financeiro – o investimento inicial pode ser muito impactante para o orçamento de algumas famílias e empresas, principalmente em países menos desenvolvidos. A escassez de mecanismos financeiros de apoio dificultam o acesso a estas tecnologias;
- Técnico e Infraestrutural – a proliferação de sistemas de autoconsumo requer um maior desenvolvimento da rede elétrica da maioria dos países de forma a não gerar instabilidades na rede nem congestionar os sistemas atuais de produção. A solução passa

por uma melhor gestão e digitalização das redes energéticas. Mesmo ultrapassando esta barreira, edifícios e instalações antigas podem não comportar com segurança sistemas de autoconsumo;

- Cultural e Social – desconhecimento e pouca literacia energética promovem a resistência à mudança.

2.9 Conclusões

O autoconsumo de energia pode ser uma forma de auxiliar a suprimir as necessidades energéticas em diferentes zonas do país pois permite reduzir as perdas associadas à produção centralizada e transporte ao longo de elevadas distâncias.

A massificação de ligações de produção descentralizada à RESP acarreta desafios técnicos e que exigem investimentos elevados, permitindo concluir que esta solução é viável, mas para tal, é necessário flexibilizar a RESP e modernizar a gestão energética a nível nacional, sendo uma solução que demorará alguns anos até ser estável.

3 Evolução do Consumo de Energia no Setor Industrial em Portugal

O setor industrial representa um dos maiores consumidores de energia em Portugal, tendo uma forte responsabilidade do desenvolvimento dos tecidos económicos nacionais. Segundo a Adene, a indústria representou 27,7% do consumo de energia final em Portugal no ano de 2023, sendo o segundo maior consumidor e ficando atrás do setor dos transportes. A indústria tem vindo a decrescer o seu consumo ao longo dos últimos anos, (ADENE, 2025).

A indústria, além do consumo direto de energia elétrica, consome ainda outras fontes como o gás natural e derivados de petróleo. A evolução tem vindo a tornar a indústria mais eficiente energeticamente, mas mais dependente da energia elétrica. A necessidade de fontes de calor representa uma parte considerável das necessidades energéticas industriais.

3.1 Dados Históricos

Após a década de 60 a indústria portuguesa evoluiu e dinamizou-se, tendo passado por diversos períodos de crise e de revitalização. A partir dos anos 90 começou a aumentar a sua procura de energia de diversas formas e começou a ter um impacto significativo no panorama energético português. Até aos anos 2000, os combustíveis fósseis e o carvão, em conjunto com a energia elétrica, eram fontes preponderantes. Já nesta época, algumas indústrias apostavam em unidades de produção descentralizada, tanto de energia hidroelétrica como de cogeração. Muitas vezes, permitia que se aproveitassem os gases de escape para aquecer caldeiras ou para produzir vapor de água (Amador, 2010).

A partir de 2000, a evolução tecnológica e a preocupação ambiental exigiram a adoção de medidas de eficiência e controlo energético tendo o carvão começado a deixar gradualmente de ser utilizado até 2010. Ao longo desta evolução, além da energia elétrica, o gás natural foi ganhando destaque na substituição dos poluentes produtos petrolíferos e do carvão (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2025).

Devido a crises económicas, a partir de 2010 o crescimento industrial português não acompanhou o de outros países europeus. Só a partir de 2014 é que se começou a sentir o abrandamento da crise económica e um consequente aumento da atividade industrial. Nesta fase de recuperação económica, começaram a surgir apoios e incentivos nacionais e europeus para a instalação de unidades de produção de energias renováveis, que constam no Decreto-Lei n.º 153/2014. A modernização industrial, nesta época, já requeria uma grande quantidade de energia elétrica e a sensibilização sobre os problemas ambientais já era consideravelmente alta. Também começaram a surgir algumas UPAC's de energia solar em contexto industrial. Esta época é marcada pela melhoria da eficiência energética através da adoção de equipamentos mais sofisticados e melhorando as infraestruturas industriais mais obsoletas.

Atualmente, o setor industrial está cada vez mais eletrificado, representando cerca de 32,7% da energia consumida. O gás natural ainda representa quase 24,8% do total da energia consumida (ADENE, 2025).

O autoconsumo fotovoltaico e de cogeração são uma realidade em muitas unidades industriais, sendo que, para pequenas unidades, a adoção de sistemas solares é a menos dispendiosa, de mais fácil instalação e adequada aos perfis de consumo. A caldeiras a gás e a fuelóleo também começaram a ser substituídas por sistemas de bombas de calor industriais ou caldeiras elétricas.

A indústria tem-se tornado mais eficiente e cada vez mais otimizada. Atualmente, tanto a nível mundial com europeu, há uma grande consciência sobre a degradação da qualidade ambiental. A indústria e os transportes sempre representaram fontes com grande influência no ambiente, quer pela produção de energia, quer pelo mau manuseamento de produtos químicos e de poluentes. A legislação também se tornou mais exigente com este setor (European Environment Agency, 2022).

3.2 Previsões

Atualmente, a eficiência energética é um tema pertinente para todas as áreas e deverá manter-se nos próximos anos.

O consumo de energia na indústria para processos de produção e transformação tende a diminuir pelo aumento da eficiência e modernização dos equipamentos. Os processos de produção são cada vez mais estudados e otimizados devido aos custos energéticos associados. Ao nível das instalações e infraestruturas também se poderão notar melhorias visto que, cada vez mais, se implementam sistemas de gestão de energia e se adota um compromisso de manutenção industrial mais apertado, com modernização de todos os sistemas associados e auxiliares da indústria – hidráulicos, térmicos e pneumáticos.

Contudo, o desenvolvimento de um número mais elevado e de produtos mais complexos em relação ao passado, torna esta tarefa exigente. A otimização na produção de calor ainda continua também a ser um desafio.

Uma das grandes preocupações está centrada na mobilidade elétrica e na progressiva substituição dos motores a combustão por veículos elétricos. Este tema tem levantando inúmeras questões tanto pela logística como pela procura energética em caso de renovação total das frotas. Este facto pode manter o balanço do consumo energético industrial total idêntico, contrariando as descidas previstas. Este tema não afeta só a indústria e acompanha diversos setores industriais.

Prevê-se que se usem cada vez menos combustíveis fósseis e que as fontes renováveis de energia elétrica assumam o papel principal. A instalação de UPAC's pode ser preponderante devido ao potencial de redução dos custos energéticos. O hidrogénio também pode fazer parte da solução e já se encontra em estudo a sua utilização em diversas áreas.

3.3 Tendências de Medidas na Eficiência Energética

A melhoria da eficiência energética em ambientes industriais exige uma abordagem multidimensional, que envolva não apenas a substituição de equipamentos ou fontes de energia antigas, mas também a otimização operacional e logística e a manutenção ativa dos sistemas existentes. Num contexto de crescente pressão ambiental a nível mundial e com o aumento do custo da energia e exigências na legislação, adotar medidas e técnicas eficazes para reduzir o consumo energético sem comprometer a produtividade é uma estratégia essencial e desafiante.

3.4 Manutenção Preventiva e Preditiva

Quando se está perante uma falha de uma máquina ou equipamento, as repercussões financeiras e ao nível de serviço podem ser muito negativas. Nesta fase, é necessário realizar manutenções corretivas e os custos associados são, por norma, de grande escala.

No campo da manutenção, a adoção de medidas de manutenção preventivas e preditivas pode, além de uma forma de poupança económica, ser uma forma de aumento de eficiência energética e de prolongar a vida útil dos equipamentos, reduzindo a longo prazo os custos de operação.

A manutenção preventiva é uma estratégia de manutenção sistemática e planeada que consiste em realizar inspeções periódicas, serviços e substituições de componentes em intervalos programados para evitar falhas inesperadas e garantir o funcionamento eficiente de uma máquina. Estes planos de manutenção podem aplicar-se a todos os recursos industriais, tais como motores, caldeiras, sistemas de ventilação e de ar comprimido e sistemas hidráulicos. Estes equipamentos, quando operados segundo um plano de manutenção adequada, sofrem menor desgaste e menores perdas energéticas. (Wireman, 2010)

A manutenção preditiva é uma abordagem de manutenção baseada na monitorização contínua das condições e do desempenho dos equipamentos para prever quando a manutenção será necessária. Utilizam-se dados recolhidos através de diversos tipos de sensores e técnicas de análise, como medições de vibração, termografia, análise de óleos e lubrificantes e ultrassom. Através desta monitorização constante, é possível identificar sinais de desgaste ou anomalias antes que ocorram falhas.

Estima-se que adoção de rotinas de manutenção preventivas ou preditivas possam implicar numa redução de mais de 10% do consumo de energia.

3.5 Implementação de Sistemas de Gestão de Energia

Os Sistemas de Gestão de Energia (SGEn) são uma das formas de monitorização, controlo e melhoria contínua do desempenho energético de um edifício ou instalação. A norma *ISO 50001:2018, Energy Management Systems* é uma das normas de certificação existentes para este campo de análise. Esta norma baseia-se em *standards* internacionais com planos de implementação de melhoria contínua para sistemas de gestão de energia. Trata-se de um reconhecimento formal de desempenho energético.

A figura 8 mostra um exemplo de modelo destes sistemas.

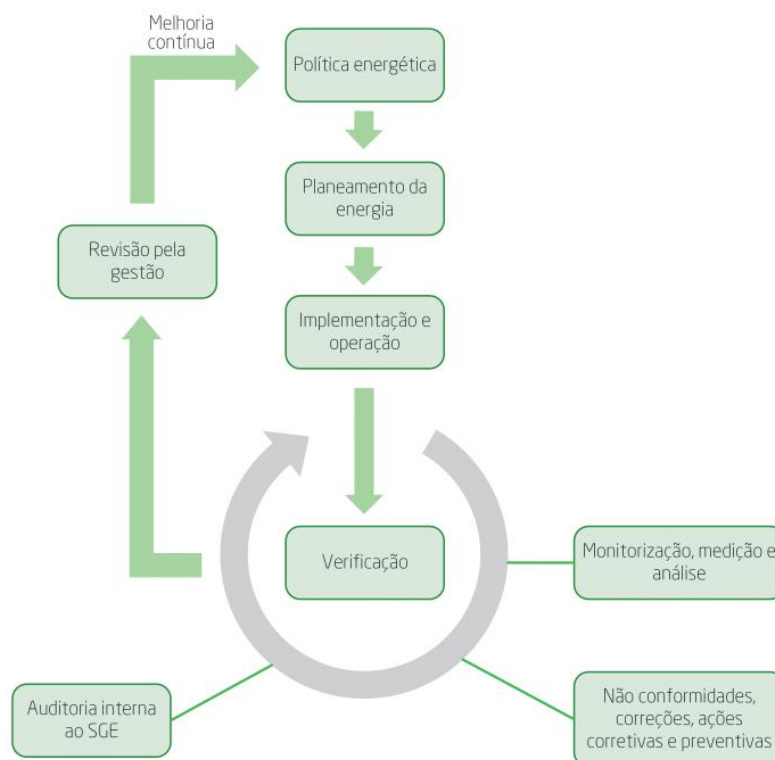


Figura 8 - Modelo de Sistema de Gestão de Energia baseado na norma *ISO 50001* (MEESI, 2024)

Embora dispendiosas, são ferramentas fundamentais para identificar ineficiências, definir indicadores e promover decisões técnicas de melhoria informadas. Por serem métodos avançados, são planos de difícil acesso a Pequenas e Médias Empresas (PME's) (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2025).

Desde setembro de 2021, surgiu uma diretriz *ISO 50005:2021* está disponível como uma norma não certificável, mas orientadora que fornece uma introdução mais simplificada e passo a passo à gestão de energia. Contém uma variedade de exemplos de assistência e implementação para ajudar as empresas a determinar o seu estado de eficiência e maturidade energética e a implementar medidas de melhoria. Por ser mais simples e não obrigar a auditorias externas, é mais apetecível para PMEs. Pode servir também como preparação para adoção da *ISO 50001*.

Estima-se que as empresas que implementam este tipo de sistemas possam alcançar reduções superiores a 10% no consumo de energia.

3.6 Iluminação LED Dinâmica

Atualmente, a substituição de sistemas de iluminação convencionais por LEDs de alta eficiência é uma das medidas de retorno mais simples, mais rápido e com custos controlados. A integração com sensores de movimento, luminosidade e definição de horários de trabalho permite uma gestão dinâmica e adaptativa. Este tipo de iluminação quase não produz calor e é menos prejudicial para o ambiente (European Commission, 2023).

A adoção de luminárias LED permite uma economia energética de até 80%. Os LEDs também apresentam maior durabilidade e fiabilidade, o que significa que se poupa nos custos de manutenção e reparação. Podem durar mais de 50.000 horas, cerca de 5 vezes mais que as lâmpadas incandescentes (European Commission, 2023).

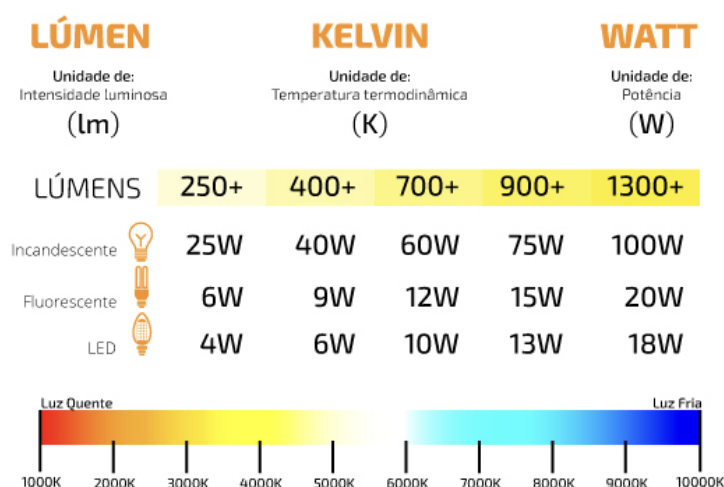


Figura 9 - Comparação da potência e da intensidade luminosa dos diferentes tipos de lâmpada (Silva, 2021)

A Figura 9 demonstra a diferença de potência necessária para se obter a mesma intensidade luminosa numa lâmpada incandescente, fluorescente e LED.

3.7 Instalação de Variadores de Velocidade/Frequência

Antigamente, os motores de indução eram considerados máquinas para operar a velocidade constante e não era possível obter gamas de variação contínua de velocidade de uma forma simples e económica. A evolução da eletrónica tornou possível obter fontes de alimentação multifásicas de frequência variável e iniciou-se um grande desenvolvimento no domínio do controlo da velocidade através da variação da frequência. Um variador de frequência controla a velocidade, o binário e a potência de motores elétricos de corrente alternada.

Os variadores de velocidade e de frequência permitem adaptar a velocidade de motores elétricos à necessidade carga real, evitando funcionamento contínuo a 100% da capacidade.

É possível aplicar este meio de controlo a motores de sistemas de ventilação, bombagem, refrigeração, tapetes rolantes e compressores. Além da redução do desgaste e das necessidades de manutenção, é possível obter reduções de consumo elétrico entre 20 e 55% em equipamentos sobredimensionados ou com funcionamento intermitente (ABB, 2024).

3.8 Gestão de Consumos

A gestão ativa de consumos envolve a análise detalhada do perfil energético de uma instalação e requer a implementação de sistemas de gestão de energia. Com recurso a dados em tempo real, históricos e comparativos, combinada com *dashboards* inteligentes e alertas técnicos, permite decisões rápidas e eficazes. Estes sistemas facilitam a deteção precoce de anomalias e desperdícios, evitando consumos ocultos e os custos associados a uma má gestão energética.

É comum a adoção de sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*). Este sistema é uma tecnologia de solução de software e hardware que permite a monitorização, o controlo e a aquisição de dados em tempo real em infraestruturas industriais e energéticas (Iberdrola, 2025b).

Assim, é possível avaliar o perfil de consumo e os maiores responsáveis dentro de uma unidade industrial. Conhecendo os equipamentos, é possível implementar melhorias e substituir elementos de alto consumo por outros mais eficientes.

3.9 Otimização de Sistemas de Ar Comprimido

O ar comprimido é uma das formas de energia mais caras e ineficientes em ambiente industrial. A sua otimização representa um dos maiores potenciais de poupança energética.

A baixa eficiência está relacionada com um mau dimensionamento das unidades de produção e distribuição de ar comprimido, associadas a elevadas perdas de carga e fugas de ar. Além destes fatores, a falta de manutenção revela-se muitas vezes uma agravante na eficiência energética.

Para otimizar estes sistemas é necessário avaliar a sua complexidade e abordar todas as variantes do problema, começando pela tecnologia de compressão (parafuso ou pistão) em função do perfil de consumo. É fulcral adotar motores de acionamento eficientes e reservatórios bem dimensionados, de forma a reduzir o número de arranques dos motores elétricos, poupando também o sistema de desgastes excessivos fruto das operações de arranque. Outra escolha importante é a pressão de utilização do sistema que deve ser bem definida em função das necessidades (Correia, 2023).

Além da produção, é importante analisar e dimensionar toda a linha de distribuição, adotando boas práticas para reduzir os problemas de desgaste e evitar consumos excessivos de energia.

Uma boa otimização destes sistemas pode representar uma poupança de até 35% de eletricidade (Correia, 2023).

4 Sistemas de Energias Renováveis - Tecnologias Disponíveis

4.1 Constituição de um Sistema Solar

Os sistemas solares de UPAC's transformam a energia solar e energia elétrica. Estes sistemas destinam-se a produzir energia de forma a suprir parte ou a totalidade da energia para consumidores domésticos ou industriais. Como referido anteriormente, são aplicados em diverso tipo de edifícios - comerciais, industriais e habitacionais, embora a sua constituição técnica e os equipamentos sejam semelhantes. Podem ser aplicados diretamente na cobertura de edifícios ou no solo. Dependendo da potência e se dispõem ou não de armazenamento, podem exigir maior complexidade (ADENE et al., 2025).

Em geral, os sistemas são constituídos por:

1. Painéis solares fotovoltaicos;
2. Cabos solares DC - positivo e negativo;
3. Proteções elétricas DC – fusíveis DC e descarregadores de sobretensão;
4. Inversor(Gonçalves) DC/AC;
5. Bateria de acumulação (equipamento opcional);
6. Contador de produção (aplicável a potências iguais ou superiores a 4kW);
7. Cabos elétricos AC – monofásico (L1, neutro e terra) ou trifásico (L1, L2, L3, neutro e terra);
8. Proteções elétricas AC.

Na Figura 10 é possível observar um exemplo simplificado de uma UPAC aplicada a uma habitação.

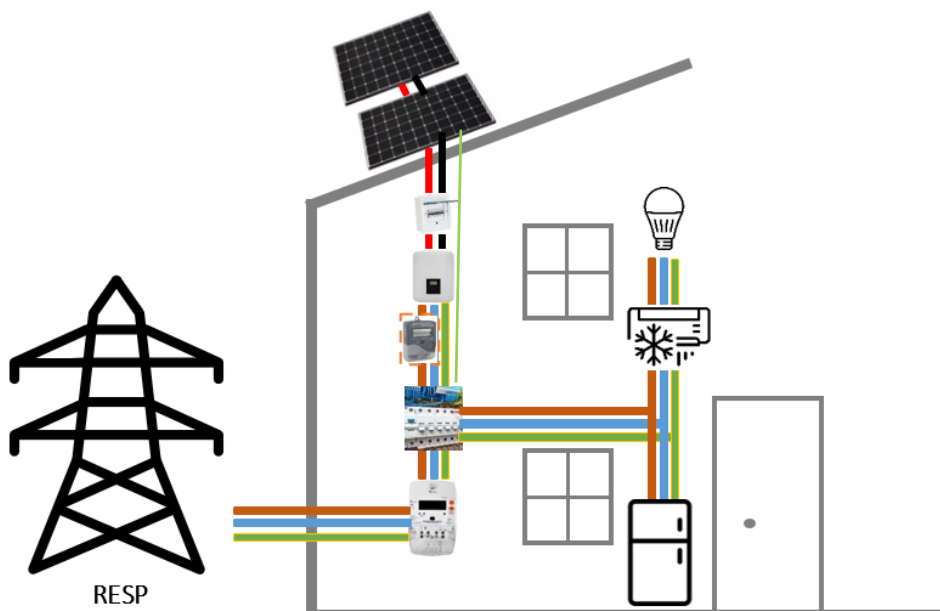


Figura 10 - Exemplo de sistema solar fotovoltaico monofásico de potência > 4kW com ligação à RESP (ADENE et al., 2025)

Uma UPAC deve ser dimensionada de acordo com a utilização prevista. Todos os elementos e equipamentos devem ser adequados à potência instalada, de forma a garantir um funcionamento eficiente da unidade. Para dimensionar um sistema solar fotovoltaico é necessário analisar:

- Instalação de Utilização (IU):
 - analisar a localização geográfica da instalação;
 - estudar a orientação solar de forma a posicionar os painéis da forma mais correta – devem ser evitadas sombras pois representam uma menor produção e danificam os painéis, criando pontos quentes. A referência normalmente é direcionar os painéis para sul e uma montagem permitir 30° de inclinação em relação ao solo, embora, muitas vezes, surjam soluções que passam por direcionar os painéis para nascente ou poente, de forma a ter maior produção coincidente com o perfil de consumo da instalação consumidora.
 - construção e estrutura de montagem
- Perfil de consumo: análise da fatura de eletricidade ou, preferencialmente, dados do Operador da Rede de Distribuição (ORD) de 15 em 15 minutos ou de sistemas de monitorização montados;
- Hábitos de utilização de consumo semanal;
- Pretensão de integrar mobilidade elétrica no futuro.

4.2 Painéis Solares

Um painel solar fotovoltaico é designado como o equipamento que permite a captação da radiação solar e a converte em energia elétrica, de corrente contínua, através de células solares. As principais tecnologias de painéis são painéis PV (*Photovoltaic*) e CPV (*Concentrated Photovoltaic*). No caso dos PV, captam diretamente a luz solar. Já os CPV, recorrem a uma lente para concentrar a luz solar que abrange uma área em apenas um ponto mais reduzido e concentrado (Dr. Simon Philipps, 2025).

No mercado, as soluções mais encontradas são do tipo PV, das quais se destacam:

4.2.1 Monocristalinos

Estes painéis são fabricados a partir de silício monocristalino, um material de elevada pureza. Os átomos estão organizados num único cristal contínuo. Estes painéis apresentam uma coloração preta uniforme e cantos arredondados nas células. A sua eficiência varia entre 17% e 25%. Esta tecnologia tem um excelente desempenho em locais com elevada radiação direta, sendo ideal para instalações com espaço limitado, como coberturas residenciais e industriais. O custo destes painéis ainda pode ser ligeiramente mais elevado, embora seja cada vez mais idêntica à de outro tipo de painéis (Repsol, 2024).

4.2.2 Policristalinos

Estes painéis são fabricados a partir de silício fundido e solidificado em múltiplos cristais em diferentes células, o que proporciona um menor espaço para os eletrões se movimentarem livremente, reduzindo a eficiência. Esta estrutura confere-lhes uma aparência azulada com padrões cristalinos visíveis. A sua eficiência varia tipicamente entre 13% e 20%, sendo mais comum ter 15%. O custo é mais reduzido, sendo uma opção economicamente vantajosa para instalações em que o espaço não é uma limitação, como centrais solares ou grandes edifícios industriais (Repsol, 2024).

4.2.3 Bifaciais

Estes painéis são uma evolução dos sistemas convencionais, podendo ser compostos por células monocristalinas ou policristalinas. Possuindo células fotovoltaicas em ambos os lados (frente e

traseira), têm a capacidade de captar radiação solar direta na face frontal, e a radiação refletida na parte traseira (efeito albedo). Esta característica podem aumentar a produção energética entre 5% a 30%, consoante o tipo de superfície onde estão instalados. São particularmente eficientes em ambientes com elevada refletividade, como áreas com neve, areia ou pavimentos claros, sendo recomendados para instalações em estruturas elevadas (Iberdrola, 2025a).

4.2.4 Filme fino

Estes painéis utilizam materiais semicondutores depositados em camadas muito finas sobre superfícies flexíveis ou rígidas, como vidro, plástico ou metal. As principais tecnologias incluem o silício amorfo (a-Si), telureto de cádmio (CdTe) e cobre-índio-gálio-selénio (CIGS). Nestes painéis as eficiências são mais baixas – abaixo de 18%. Destacam-se pela leveza, flexibilidade e bom desempenho sob temperaturas elevadas ou em condições de luz difusa. São muito utilizados em aplicações especiais, como fachadas de edifícios, veículos ou locais onde a estrutura de suporte deve ser leve (NREL, 2022).



Figura 11 – Exemplo de painéis solares fotovoltaicos monocristalino, policristalino, bifacial e filme fino

4.3 Inversores

Em qualquer sistema de produção de energia solar, os inversores são equipamentos imprescindíveis. Os inversores convertem a energia elétrica produzida pelos painéis solares, corrente contínua em corrente alternada, o que permite que a energia produzida seja compatível com a RESP e com os equipamentos elétricos, em caso de autoconsumo. Para isso, estes sistemas sincronizam a energia gerada com a rede elétrica em sistemas ligados à rede (*on-grid*), permitindo um *output* de energia com frequência e tensão adequadas (E-Redes, 2025).

Além da conversão, os inversores também são responsáveis pela otimização da produção gerada pelos painéis, obtendo o máximo desempenho da instalação.

Os 3 tipos mais comuns de inversor são:

- *String* - utilizados em sistemas residenciais e comerciais de média dimensão. Podem operar com um ou mais grupos de painéis conectados em série (*strings*). Permitem uma maior flexibilidade na instalação e melhor desempenho em situações de variação de radiação.
- Centralizados ou em cadeia - utilizados em grandes instalações fotovoltaicas, como centrais solares, onde vários *strings* de módulos são conectados a um único inversor de grande potência. São otimizados para sistemas com condições uniformes de radiação solar e orientação (Santos, 2023).

- Microinversores – são dispositivos normalmente instalados individualmente em cada módulo fotovoltaico, permitindo converter a energia localmente. São utilizados em instalações com sombras parciais ou módulos com diferentes orientações. Em alguns casos podem ser conectados a mais do que um painel solar;
- Híbridos – tem a mesma função que um inversor *string* mas combinam as funcionalidades dos inversores para operar *on-grid* e *off-grid*, permitindo operar através da rede elétrica, baterias e produção solar. Na ausência de energia da RESP, podem criar uma rede para operar apenas com a UPAC. São ideais para sistemas com uma gestão energética mais avançada e necessidade de armazenamento.

4.4 Strings

Atualmente, os inversores do tipo *string* são amplamente utilizados em sistemas fotovoltaicos residenciais e comerciais de pequena e média dimensão, destacando-se pela sua elevada eficiência energética, simplicidade de instalação e boa relação custo-benefício. Estes equipamentos operam com um ou mais painéis solares ligados em série - *strings*, reunindo a corrente contínua gerada por cada cadeia para posterior conversão em corrente alternada num único inversor. Esta configuração faz com que as tensões individuais dos módulos se somem, enquanto a corrente que percorre o circuito é constante, igual à menor corrente de todos os módulos. É importante que a direção e orientação de todos os painéis de cada *string* seja a mesma e as condições de sombra também (Portal Solar, 2024).

A criação de uma *string*, ou seja, a ligação em série dos módulos visa atingir a tensão mínima de operação requisitada pelo inversor. Por exemplo, um inversor pode exigir no mínimo 500 V em corrente contínua para iniciar o seu funcionamento, sendo a V_{MPTT} .

Quanto maior o número de módulos fotovoltaicos em série, maior a tensão do *string*, tendo de se respeitar o limite máximo de entrada do inversor. Os valores típicos na maioria das aplicações variam entre 600 V e 1000 V.

O dimensionamento de *strings* deve ter em consideração a Tensão de circuito aberto (V_{oc}) e tensão de operação (V_{mp}) dos módulos. Também é necessário avaliar a temperatura mínima na zona de instalação – a tensão dos módulos aumenta com a descida da temperatura.

É essencial avaliar a corrente máxima de curto-circuito. A I_{sc} é a corrente elétrica máxima que uma célula solar ou um módulo fotovoltaico podem fornecer quando seus terminais positivo e negativo são diretamente conectados, ou seja, quando estão em curto-circuito. Este valor de corrente é um parâmetro crucial para o dimensionamento e proteção de sistemas fotovoltaicos pois é necessário garantir que todos os componentes como cabos, disjuntores e o próprio inversor sejam capazes de suportar a corrente máxima que pode ser gerada.

O número de MPPTs do inversor (*Maximum Power Point Trackers*) também têm de ser alvo de análise. Os MPPTs são responsáveis por maximizar a extração de energia de uma *string*, ajustando a tensão e corrente de operação para manter o ponto de máxima potência durante o tempo de operação. Quando um inversor possui múltiplos MPPTs, é possível ligar *strings* com diferentes orientações ou inclinações a cada MPPT, garantindo um melhor aproveitamento energético, mesmo com diferenças de produção nos módulos instalados. É recomendável que *strings* conectados ao mesmo MPPT possuam características elétricas semelhantes, para evitar perdas.

A figura 12 mostra um exemplo simplificado de uma *string* com 6 painéis:

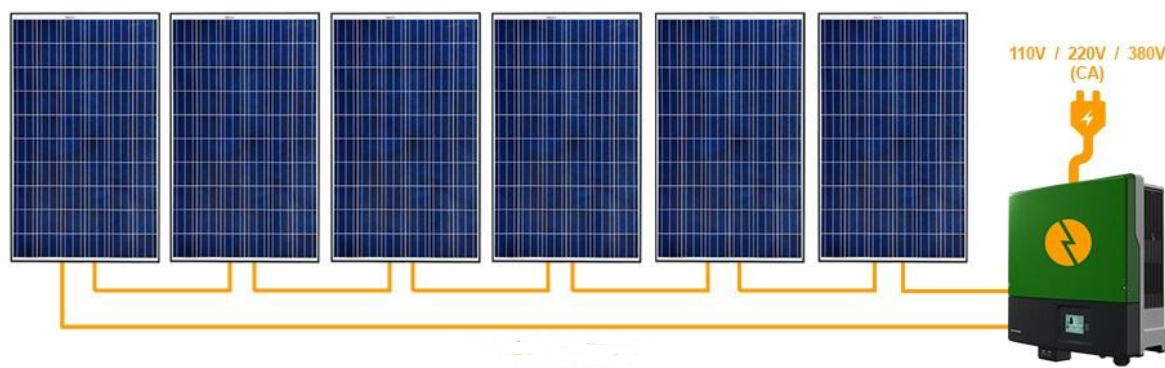


Figura 12 - Exemplo simplificado de um *string* com 6 painéis solares (Portal Solar, 2024)

A utilização de *strings* permite uma grande simplicidade de instalação e manutenção, reduzindo a utilização de cablagem em comparação com as ligações em paralelo.

Este método permite uma grande compatibilidade com os inversores *string* e facilidade de dimensionamento modular em função da área disponível e da potência desejada para o sistema.

Contudo, tem a maior desvantagem de utilizar *strings* é a ligação em série ter corrente limitada. Desta forma, se um painel estiver numa zona de sombra, sujo ou com danos, toda a produção do *string* é afetada, reduzindo-se para o patamar do painel com menor produção. É comum instalar díodos de *bypass* para atenuar estes efeitos, contudo apenas conseguem minimizar parcialmente o impacto deste tipo de ligação. Cada painel costuma ser equipado com 3 díodos de *bypass* integrados.

4.5 Concentradores de Dados

Um concentrador de dados é um equipamento responsável por agregar, organizar e transmitir as informações operacionais provenientes de um sistema de geração de energia. Este equipamento atua como um centralizador da comunicação do sistema, estabelecendo ligação entre os diversos componentes do sistema — como inversores, contadores de energia, sensores e sistemas de armazenamento e as plataformas de monitorização locais ou remotas.

A sua principal função consiste em centralizar os dados recolhidos de diferentes dispositivos, possibilitando a visualização em tempo real, a análise do desempenho do sistema e a identificação rápida de falhas, desvios ou anomalias operacionais.

4.6 Estações Meteorológicas

É comum encontrar estações meteorológicas em UPAC's fotovoltaicas de forma a monitorizar, analisar e otimizar do funcionamento destas instalações. Estas unidades de produção dependem das condições ambientais para o seu desempenho energético. A medição de diversas variáveis ambientais permite uma avaliação mais rigorosa da eficiência do sistema e também contribui para o planeamento de operações de manutenção, deteção de anomalias e melhoria contínua da produção.

Numa produção de energia solar, as estações meteorológicas podem recolher um conjunto de variáveis ambientais das quais se destacam a irradiação solar global, um parâmetro relevante, uma vez que representa a principal fonte de energia captada pelos módulos fotovoltaicos, a temperatura ambiente, pois afeta a eficiência dos componentes eletrónicos, especialmente os inversores e a temperatura dos módulos fotovoltaicos, de forma a avaliar as perdas térmicas. Também é comum analisar a velocidade e direção do vento, com o objetivo de analisar a capacidade de arrefecimento dos módulos e avaliar cargas mecânicas sobre a estrutura,

principalmente em estruturas móveis, normalmente denominados por “seguidores”. Em casos de instalações maiores, também se analisa a humidade relativa a pressão atmosférica.

As estações meteorológicas são geralmente ligadas a *dataloggers* ou concentradores de dados. Estes equipamentos recolhem, armazenam e transmitem as informações para plataformas de monitorização. Os dados obtidos são cruzados com os valores de produção elétrica registados pelos inversores e contadores, permitindo uma análise integrada do sistema e implementação de melhorias. Estes dados serão fundamentais para a análise de performance da instalação.

4.7 Estruturas de Suporte aos Painéis Solares

As estruturas de suporte dos painéis são um componente fundamental de qualquer sistema fotovoltaico. São estas estruturas que garantem a fixação, orientação e estabilidade dos módulos solares ao longo do seu tempo de vida útil. A sua função garantir não é apenas garantir a integridade mecânica do sistema, mas também otimizar a captação da radiação solar, suportando cargas estáticas e dinâmicas impostas por fatores ambientais como vento, neve e variações térmicas e ultrapassar dificuldades de montagem em sítios acidentados.

O tipo de estruturas mais comuns e mais simples são as estruturas fixas. Este tipo de estrutura é de custo inferior, muito fiável e tem uma maior simplicidade construtiva. Os módulos são instalados sobre uma estrutura de alumínio ou aço, garantindo uma inclinação e orientação favoráveis. A inclinação e orientação são fixas e definidas de forma a maximizar a produção anual. Em alguns casos podem ser ajustadas manualmente. Estas estruturas podem ser montadas diretamente sobre o solo, coberturas, telhados e pavilhões industriais, sendo importante em certos casos, realizar uma análise estrutural prévia ao edifício.

As estruturas móveis, seguidores solares ou *trackers* são estruturas que permitem o movimento dos painéis, por norma, ao longo do dia, de modo a acompanhar a trajetória do sol. Existem sistemas com apenas um eixo, que permitem a rotação e sistemas de dois eixos, que ajustam tanto a orientação como a elevação dos módulos. Estes sistemas são mais complexos e mais dispendiosos e exigem adição de sistemas mecânicos, atuadores, redutores e controladores. O objetivo desta utilização é aumentar a produção de energia, permitindo aumentos de até 40%, dependendo da localização e condições meteorológicas do local. É necessário realizar um estudo pormenorizado para perceber se compensa o investimento a longo prazo, tendo em conta o preço inicial, a necessidade de manutenção preventiva e a menor fiabilidade (Martins, 2016).

4.8 Cabos DC e Cabos AC

No contexto de sistemas fotovoltaicos, os cabos elétricos desempenham o papel de condução da energia gerada pelos painéis solares até aos diversos componentes da instalação, como inversores, quadros de proteção e pontos de consumo. Estes condutores podem ser classificados em dois grupos principais, conforme o tipo de corrente elétrica que transportam: cabos de corrente contínua - DC e cabos de corrente alternada - AC. Cada um possui características específicas, tanto ao nível construtivo como funcional, adequando-se às exigências elétricas, ambientais e técnicas da instalação.

Os cabos DC estão presentes maioritariamente junto aos módulos, fazendo a ligação destes até à entrada das *strings* dos inversores. São responsáveis pela ligação dos módulos fotovoltaicos entre si, pelas ligações aos micro-inversores, caso existam, e pelo transporte da energia até ao inversor principal do sistema. Operam com tensões contínuas relativamente elevadas, normalmente de 1000 VDC, podendo em parques de grande dimensão chegar aos 1500VDC. Estão expostos às condições exteriores, e portanto, devem cumprir requisitos rigorosos de segurança e durabilidade. Estes cabos costumam possuir um isolamento robusto, normalmente em materiais como XLPE (Polietileno Reticulado), EPR (Etileno-Propileno) ou outros compostos de elevada resistência térmica e mecânica. Como estão muitas vezes sujeitos à luz

solar direta, terem resistência à permite instalação direta ao ar livre, sem necessidade de condução em tubagens ou em mangas. A secção destes cabos é dimensionada com base na corrente máxima dos painéis e na limitação da queda de tensão. Normalmente, a secção é de 6 mm², utilizando-se isolamento preto para o cabo negativo e vermelho para o cabo positivo.

Após a conversão da corrente contínua em alternada pelos inversores, a energia é transportada através cabos AC até aos quadros eléctricos, transformadores ou pontos de entrega à rede. Estes condutores operam habitualmente em níveis de baixa tensão 230/400 Volts, embora em sistemas de maior dimensão possam atingir valores mais altos. O isolamento de cabos AC são normalmente em materiais como PVC, XLPE ou HEPR, escolhidos de acordo com a tensão, o ambiente de instalação e a necessidade de estarem sujeitos a cargas mecânicas. Em sistemas de média tensão, para evitar interferências em equipamentos próximos, pode ser necessária a inclusão de blindagem eletromagnética, especialmente importante em sistemas de média tensão, para evitar interferências em equipamentos próximos. Em instalações subterrâneas ou sujeitas a esforços mecânicos significativos, é necessário aumentar a robustez dos cabos. Estes cabos devem ser dimensionados de forma a suportar elevada condução de corrente, considerando também os efeitos da dissipação térmica e do agrupamento de condutores em calhas ou condutas (TME, 2024).

Este dimensionamento e a seleção destes cabos devem seguir normas técnicas internacionais, como a IEC 60228, referente às classes de condutores, e a IEC 60502, aplicável a cabos de potência. A legislação nacional, nomeadamente o Regulamento de Segurança de Instalações de Energia Elétrica (RSIEE), também deve ser observada (General Cable CelCat, 2023).

4.9 Segurança das Instalações - Proteções Elétricas

A proteção elétrica é um aspeto fundamental na conceção e operação de sistemas fotovoltaicos, sendo determinante para garantir a integridade dos equipamentos, a segurança dos utilizadores e a conformidade com os requisitos legais. Estes sistemas, por operarem com correntes elevadas e estarem frequentemente sujeitos a condições ambientais adversas, exigem medidas específicas de proteção contra falhas elétricas.

Os principais riscos estão relacionados com curto-circuitos, tanto nos circuitos de corrente contínua como de alternada, sobrecargas que podem causar aquecimento excessivo dos cabos e componentes, levando a pontos de ignição, arcos elétricos, que representam também um risco acrescido de incêndio, e fugas de corrente para a terra, que podem colocar em risco pessoas e equipamentos.

De forma a mitigar estes riscos, recorre-se à instalação de dispositivos de proteção adequadamente selecionados e posicionados ao longo da instalação.

Os dispositivos de proteção mais utilizados são os disjuntores diferenciais e termomagnéticos, que protegem contra picos de corrente e fugas à terra. Os disjuntores são usados para corrente AC e DC e devem ser próprios para esse fim, com capacidade de corte adequada às tensões de operação.

De forma a proteger os *strings* de painéis fotovoltaicos, evitando que uma falha se propague para o resto do sistema, são utilizados fusíveis específicos para DC.

Ao longo da instalação podem ser utilizados seccionadores ou comutadores de corte em carga, que permitem desligar manualmente partes da instalação, tanto em AC como DC, de forma a aumentar a segurança, especialmente útil em intervenções de manutenção.

Nos quadros DC e AC para proteger os inversores e outros componentes sensíveis contra picos de tensão induzidos por raios ou perturbações da rede, é comum utilizar dispositivos de proteção contra sobretensões (DPS).

Um outro sistema presente em todas as instalações elétricas é a ligação à terra. A sua utilização é essencial para segurança operacional e proteção contra choques elétricos. A malha de terra deve ter resistência compatível com os requisitos da instalação e garantir a dissipação eficaz de correntes em caso de falhas no sistema. Do lado DC, é comum instalarem-se fusíveis antes do inversor.

4.10 Segurança dos Edifícios

A instalação de sistemas fotovoltaicos em edifícios exige uma avaliação cuidadosa dos impactos estruturais, elétricos e de segurança que estas soluções podem introduzir na construção. Para além dos requisitos associados à produção de energia, é essencial garantir que a instalação fotovoltaica não compromete a integridade estrutural, a segurança contra incêndios, nem a acessibilidade ou funcionalidade do edifício. Em edifícios mais antigos é necessária uma avaliação cuidadosa a toda a instalação e estrutura, de forma a garantir a segurança dos utilizadores.

4.11 Custos Indicativos

A análise de custos é um elemento essencial na avaliação da viabilidade de sistemas fotovoltaicos, pois permite estimar o investimento necessário à sua implementação e antever os encargos associados à sua operação e manutenção. Esta avaliação fornece também os dados base para o cálculo de indicadores económicos, como o tempo de retorno do investimento ou o custo nivelado da energia, permitindo analisar se a instalação de uma solução fotovoltaica se adequa ao cliente e se vai ser rentável a longo prazo.

O investimento inicial, conhecido como custo de capital (CAPEX), inclui todos os equipamentos e serviços necessários à instalação e entrada em funcionamento do sistema. Os módulos fotovoltaicos representam uma parcela significativa deste custo, influenciado por fatores como a potência dos painéis, o tipo de tecnologia utilizada, analisado anteriormente, e a dimensão da instalação. O custo dos painéis tem vindo a decrescer ao longo dos anos e, atualmente, o custo dos módulos situa-se, em média, entre 0,15€ e 0,35€ por Watt de potência. Por exemplo, um painel solar monocristalino de 500W pode custar em torno de 80€ a 145€ (Rodrigues, 2018).

Outro componente importante são os inversores, responsáveis pela conversão da corrente contínua gerada pelos painéis em corrente alternada. O seu custo depende da potência, do tipo de inversor (central, *string* ou microinversor) e das funcionalidades de controlo e monitorização. Tipicamente, os inversores correspondem a cerca de 10 a 15% do custo total do sistema.

A estrutura de suporte, que fixa os módulos, tem um custo variável conforme a configuração da instalação. As estruturas fixas apresentam custos mais reduzidos, enquanto soluções com sistemas de seguimento, embora mais dispendiosas, permitem ganhos significativos na produção. A cablagem, os dispositivos de proteção elétrica e os quadros de ligação são igualmente considerados no orçamento, tal como os custos com projeto, licenciamento e mão de obra.

Em instalações de pequena e média dimensão para autoconsumo, o custo total tende a situar-se entre 450 e 900 euros por quilowatt-pico instalado, podendo variar consoante a complexidade técnica ou as especificações do cliente.

Para além do investimento inicial, é necessário considerar os custos de operação e manutenção (OPEX), que embora reduzidos, são relevantes ao longo da vida útil do sistema, geralmente superior a 20 anos. A maioria dos fabricantes de painéis oferecem garantia de 10 anos contra defeitos e de 25 a 30 anos de garantia de performance, já os inversores não costumam ter

garantia superior a 5 anos. Estes custos incluem a manutenção preventiva, a limpeza dos painéis e a verificação de conexões elétricas, bem como a manutenção corretiva, associada à substituição de componentes avariados, especialmente inversores, que têm uma durabilidade inferior à dos módulos. A substituição de painéis por danos mecânicos ou efeitos meteorológicos, embora impossível de estimar, também é um fator a ter em conta.

Em alguns casos, podem incluir também serviços de monitorização remota, seguros e inspeções periódicas, conforme as exigências contratuais ou regulamentares. Estima-se que estes encargos representem entre 1% e 2% do investimento inicial por ano.

A análise financeira completa deve incluir ainda a estimativa da produção anual de energia, os preços de venda ou de autoconsumo, a evolução das tarifas elétricas e os eventuais incentivos públicos. Estes dados permitem calcular indicadores como o *payback* simples, o valor atual líquido, a taxa interna de rentabilidade (TIR) e o custo nivelado da eletricidade (LCOE), essenciais para suportar decisões de investimento fundamentadas (Martins, 2016).

4.12 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva, em geral, consiste num conjunto de ações técnicas sistematicamente programadas, com o objetivo de garantir o bom funcionamento dos equipamentos e evitar falhas inesperadas. As operações de manutenção têm intervalos de tempo definidos ou baseiam-se número estimado de ciclos de operação. É fundamental efetuar manutenção, de forma a assegurar a fiabilidade, segurança de operação e máxima eficiência dos sistemas.

Um dos objetivos da manutenção preventiva é minimizar as paragens não planeadas para manutenção corretiva, prolongar da vida útil dos equipamentos e a preservar o rendimento. Em sistemas de produção e energia solar, as atividades mais comuns incluem inspeções visuais para detetar desgaste, sujidade ou corrosão nas estruturas, verificação de cabos, isolamentos, ligações e quadros elétricos. Nos quadros elétricos é importante efetuar o reaperto dos parafusos de disjuntores e terminais. Em algumas situações pode recorrer-se a termografias para detetar pontos quentes gerados por danos nos painéis e detetar díodos de *bypass* queimados. Um outro fator a ter em conta é a limpeza dos módulos fotovoltaicos. Adicionalmente, e de forma menos regular, realizam-se testes ao funcionamento inversores, aos dispositivos de proteção e aos sistemas de monitorização, além da calibração de sensores e equipamentos de medição.

Ao antecipar problemas e corrigir desvios antes que se transformem em falhas, a manutenção preventiva reduz os custos associados a intervenções corretivas, melhora a previsibilidade da operação e contribui para a otimização do desempenho energético. Quando é necessário recorrer a operações de manutenção corretiva, após a ocorrência de uma avaria, implica, geralmente, tempos de inatividade mais prolongados com impactos negativos na produção e custos mais avultados.

4.13 Análise de Performance

A performance de um sistema solar fotovoltaico pode sofrer reduções com o passar do tempo e com a acumulação de pequenos danos. Para tal, deve efetuar-se uma análise comparativa entre a produção teórica esperada e a produção real. Normalmente, considera-se o rácio entre a energia produzida e a energia produzida em condições ideais.

Em relação à produção ideal, é possível recorrer a softwares de simulação e os próprios inversores dispõem de sistemas inteligentes de monitorização e cálculo da performance do sistema e da perda de eficiência ao longo do tempo, em comparação com a instalação nova.

5 Dimensionamento de uma Instalação de Autoconsumo

O caso de estudo abordado é uma empresa do setor têxtil no distrito de Braga. Trata-se de uma empresa familiar portuguesa, cujas origens remontam ao início do século XX. Atualmente, é propriedade de dois irmãos, que sucederam ao pai e, antes disso, ao avô na liderança. Atualmente, a empresa conta com setenta teares e produz aproximadamente 300 mil metros de tecido por mês. Um dos pilares desta indústria é a responsabilidade social e o compromisso com a sustentabilidade. A empresa tem apresentado um crescimento acelerado nos últimos anos, desenvolvendo e produzindo tecidos de alta qualidade, abrangendo atualmente quase toda a gama de tecidos para camisas e têxteis-lar – roupa de cama, toalhas, artigos decorativos e roupa de dormir. A A&A tem também fortes preocupações ambientais e uma das medidas que pretendeu implementar foi a instalação de painéis solares, produzindo parte da de energia elétrica que consomem. A intenção de instalação de uma UPAC deveu-se ao facto de ser uma das alternativas diretas para produzir energia, aproveitando as instalações da empresa.

A análise foi realizada através do *software* PV*SOL, tendo sido uma ferramenta indispensável no dimensionamento e abordagem ao caso de estudo.

5.1 Condições Prévias e cenários

Um dos primeiros fatores a ter em consideração antes de dar seguimento à instalação de uma UPAC solar é a análise do espaço disponível e de possíveis constrangimentos a enfrentar no posicionamento dos painéis. Através de uma visita e de uma observação prévia das instalações da empresa, notou-se que poderiam surgir diversas possibilidades, em função da dimensão pretendida para a instalação ou do investimento a realizar. Surgiram 4 cenários possíveis, que serão analisados posteriormente. O objetivo dos 4 cenários é oferecer ao cliente diferentes níveis de investimento, tendo em conta diferentes potências de instalação e de uso das coberturas do edifício. O edifício dispõe de duas coberturas suscetíveis para a montagem dos painéis, cada uma com aproximadamente 582m² e, sendo nelas que se poderá instalar os painéis, criaram-se os seguintes cenários:

- Cenário 1: Cobertura completa das instalações. Neste cenário optava-se por ocupar a totalidade da cobertura de ambos os edifícios;
- Cenário 2: Cobertura traseira. Este cenário contempla a instalação de painéis na cobertura do edifício mais a norte;
- Cenário 3: Duas coberturas de maior dimensão. Neste cenário, opta-se por utilizar a cobertura mais a norte por estar menos suscetível a sombras que a cobertura mais a sul;
- Cenário 4: Duas coberturas parciais. Esta abordagem contempla a instalação da UPAC cobrindo parcialmente ambos os edifícios.

Nos anexo A.1 e A.2 encontram-se imagens da modelação do edifício.

Em termos de dificuldade de instalação, os 4 cenários são semelhantes. Os constrangimentos de passagem das cablagens e da localização dos inversores não são significativos e em todos os cenários é necessário instalar e realizar o alinhamento das estruturas de suporte dos painéis.

Desta forma, prosseguiu-se com a simulação de todos os cenários para encontrar métricas que permitam concluir sobre a solução mais benéfica.

As imagens anteriores foram obtidas através da modelagem no software PV*Sol, de forma a obter os 4 cenários. Os passos seguintes são a escolha dos equipamentos - potência dos painéis, dimensão e estrutura das *strings* e, consequentemente, a potência dos inversores. Além dos fatores técnicos e especificações, os equipamentos escolhidos têm de oferecer garantias de fiabilidade, assistência e reduzida manutenção.

5.2 Análise de Consumos

Na instalação de uma UPAC, um dos fatores importantes a considerar são os perfis de consumos das empresas. Uma instalação sub ou sobredimensionada pode refletir-se num investimento desajustado e com um retorno inferior ao esperado. Os consumos foram obtidos através do fornecedor de energia, neste caso, a E-Redes, são referentes ao ano 2024.

Existem 3 parâmetros a notar, o consumo total (diário, mensal e anual), os períodos temporais de maior consumo e o pico máximo atingido.

Os dados foram condensados através de uma folha de cálculo *Excel*, de forma a se perceberem os parâmetros pretendidos e fazer interface com o software PV*SOL. Os períodos temporais considerados foram de 15 minutos. Na figura 13 encontra-se uma tabela com os consumos.

Da análise, conclui-se que:

- Em dias laborais (5 dias por semana), os consumos significativos iniciam-se às 6 horas e 15 minutos e terminam às 18 horas e 30 minutos. Entre as 8 horas e 30 minutos e as 12 horas e as 14h horas e as 18 horas;
- Os consumos em períodos de paragem e fins de semana são reduzidos, sendo de cerca de 1kWh ou inferiores;
- Os picos de consumo raramente excedem os 20kWh;
- A média de consumo nos períodos laborais, centram-se entre os 14 e os 16kWh.

	Mês	Energia Ativa Consumida (kWh)	Energia Reativa Indutiva Consumida (kWh)	Energia Reativa Capacitiva Consumida (kWh)
1	Janeiro	19 538	1 093	18 278
2	Fevereiro	17 495	8 475	5 750
3	Março	20 634	11 040	397
4	Abril	18 791	7 740	4 726
5	Maio	19 927	3 275	10 397
6	Junho	17 837	2 950	10 413
7	Julho	22 059	2 785	1 162
8	Agosto	10 755	1 270	13 811
9	Setembro	18 925	2 717	9 677
10	Outubro	21 621	3 188	9 822
11	Novembro	19 300	804	2 513
12	Dezembro	16 108	2 011	12 334

Figura 13 - Tabela com os consumos mensais do ano 2024

Também se analisaram as médias mensais. A média mensal de consumos é de 18 582 kWh, verificando-se que agosto foi o mês de menor consumo e julho foi o mês com consumo maior. Estes factos devem-se ao período de férias da empresa em agosto e ao período de maior consumo e reforço de stocks verificado na época de verão.

Estes dados são fundamentais para entender a dimensão e as taxas de autonomia esperadas. A instalação de baterias poderia ser equacionada embora, neste caso, por se verificar que os períodos de maior consumo são coincidentes com os de maior produção, o investimento avultado em baterias foi descartado. Além disso, a empresa não realiza turnos de trabalho noturnos nem fora das horas de luz solar, portanto, o armazenamento seria inútil e exigiria uma instalação substancialmente mais potente e mais cara. O objetivo é sempre minimizar a exportação de energia.

5.3 Simulação e escolha dos equipamentos

Após as etapas de criação de cenários e de análise estatística e crítica dos consumos, seguiu-se com a simulação dos 4 cenários, utilizando os mesmos pressupostos de sistema, clima e rede para todos. Na imagem 14 é possível observar os parâmetros escolhidos no PV*SOL:

Tipo de sistema, clima e rede

Tipo de sistema: 3D, Sistema fv conectado à rede com consumo

Tipo de modelagem: ☒ Modelar sistema em 3D

Dados climáticos:

País		Localização	
Portugal		Porto (2001-2020, Meteonorm 8.2)	
Latitude	41° 7' 58" (41,13°)	Soma anual da irradiação global	1603 kWh/m²
Longitude	-8° 35' 59" (-8,6°)	Média anual da temperatura	14,9 °C
Fuso horário	UTC-0		
Período	2001 - 2020		
Fonte	Meteonorm 8.2		

Intervalo da simulação: ☒ 1 hora (simulação mais rápida) ☐ 1 minuto (simulação mais precisa)

Rede c.a.:

Tensão (V-L1): 230 V
 Quantidade de fases: 3-fásico
 cos φ: 1
 Limitação da potência de injeção: Não

Figura 14 - Interface de seleção do PV*SOL

Em todos os casos se trata de uma simulação com modelagem 3D de um sistema PV conectado à rede com autoconsumo. Os dados climáticos usados para a simulação também são os mesmos e contemplam o período de 2001 a 2020, utilizando o *Meteonorm 8.2* como fonte, obtendo-se uma soma anual de irradiação global de 1603 KWh/m² e uma temperatura média anual de 14,9°C. A rede também é igual para todas as situações, com tensão de 230V, trifásico e sem limitação de potência de injeção. A simulação foi realizada com intervalos de 1 minuto para se obter uma maior precisão.

De seguida foram inseridos os dados de consumo no PV*SOL, obtendo-se o seguinte gráfico:

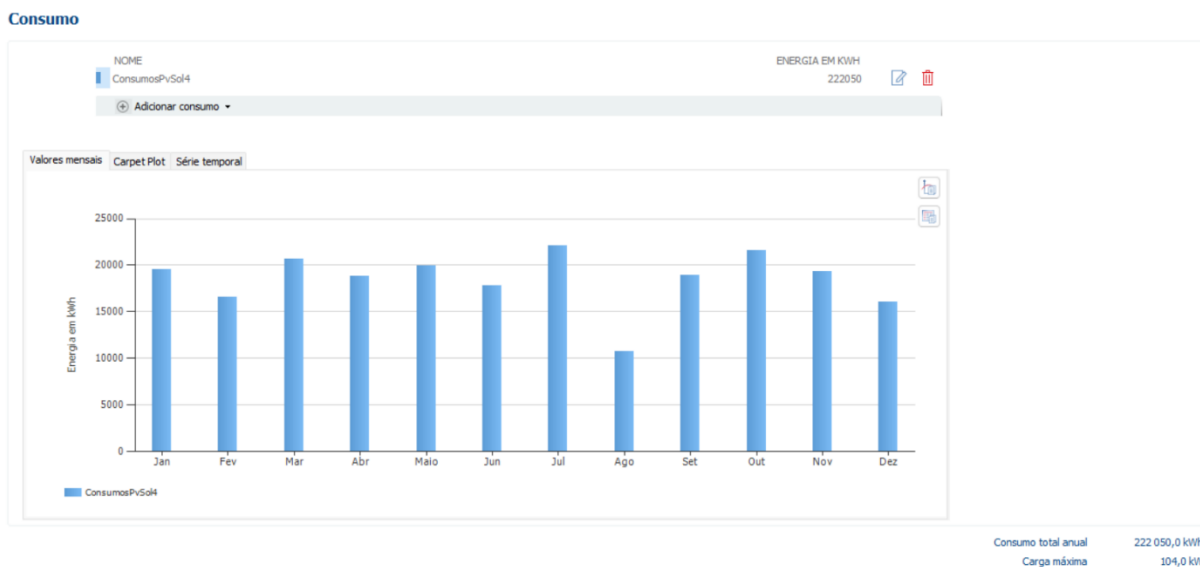


Figura 15 - Diagrama com os consumos mensais do ano 2024

A etapa seguinte foi a escolha dos módulos para de seguida modelar a estrutura dos painéis para os 4 cenários.

Para a escolha do módulo, recorreu-se ao *know how* e experiência da Energy Top, que tendo realizado centenas de montagens de sistemas por todo o país, indicou marcas de referência que oferecem garantia do produto, fiabilidade e qualidade de fabrico. De entre as marcas *Suntech*, *Jinko*, *JA Solar* e *Canadian Solar*, analisaram-se algumas soluções viáveis. Nesta etapa é uma boa prática consultar o sistema de listagem Tier 1. Este ranking avalia as empresas com base em desempenho comercial, posicionamento de mercado e solidez financeira. O facto de um fornecedor constar nesta lista, não garante a qualidade dos módulos, mas atesta a robustez financeira e longevidade de mercado das empresas nela presentes. Tendo em conta a duração da garantia dos módulos, é importante que o cliente receba um produto com segurança de manutenção a longo prazo e cujo fabricante se encontre em funcionamento.

Um fator primordial para finalizar a escolha do modelo dos painéis, é a potência e a tecnologia dos módulos. Em termos de material, devido à sua eficiência e expansão no mercado, optou-se por células monocristalinas.

Nesta fase foram tomadas 2 considerações importantes:

- Por norma, para a mesma potência, um maior número de módulos implica um custo maior da instalação – mais mão de obra, maior custo logístico, maior área coberta e mais estruturas de apoio e mais ligações elétricas. Por sua vez, conforme a potência de um painel vai aumentando, o seu preço aumenta de forma não proporcional, obtendo-se uma relação preço por Watt inferior. Para este caso, entre as opções estava a utilização de painéis de potência superior a 500W. Analisando os preços de aquisição por módulo, entendeu-se que o tipo de painéis com menor relação €/W seriam a rondar os 650W. Em instalações efetuadas em indústria, é comum as potências serem nesta faixa de valores. A partir deste nível de potência a oferta é mais reduzida e a utilização é menos comum pela grande dimensão dos painéis e, conseqüentemente, o custo revela-se mais muito mais elevado. A partir deste ponto, analisaram-se as ofertas de cada fabricante na gama de potência desejada.
- Dentro das medidas standard, considerando o comprimento e largura do telhado e a área útil de montagem, sabia-se que o número máximo de módulos rondaria as 300 a 330 unidades, sendo que, para os diferentes cenários, se pretendia obter uma potência instalada superior à carga máxima registada de 104kW. Para obter uma potência instalada de 104kW utilizando módulos de 650W, seria necessário adquirir 160 unidades, o que parece ser viável em termos de espaço e, um número inferior de painéis facilita a montagem, o espaçamento entre cada unidade e a criação de acessos para manutenção e limpeza.

Após pesquisa e seleção de alguns modelos passíveis de utilização dos fabricantes de referência, outro fator a analisar é a disponibilidade no mercado à data da simulação e o conhecimento das equipas de montagem sobre o produto. No caso de o cliente pretender avançar com a proposta apresentada é necessário garantir o fornecimento dos equipamentos em tempo útil e ao melhor preço de mercado possível, estando atento a campanhas e promoções dos fornecedores.

Através das análises técnicas e experiência com o fornecedor, optou-se por selecionar módulos monocristalinos de 665 Watts da *Canadian Solar*, o modelo CS7N-665MS. A disponibilidade de mercado seria quase imediata, o fator preço/potência era inferior à maioria dos produtos concorrentes e a verificou-se uma confiança e experiência elevadas por parte da equipa da Energy Top com este tipo de produto e com o fabricante. As suas especificações completas encontram-se no anexo A.8.

**ELECTRICAL DATA | STC***

CS7N	645MS	650MS	655MS	660MS	665MS	670MS	675MS
Nominal Max. Power (Pmax)	645 W	650 W	655 W	660 W	665 W	670 W	675 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.7 V	37.9 V	38.1 V	38.3 V	38.5 V	38.7 V	38.9 V
Opt. Operating Current (Imp)	17.11 A	17.16 A	17.20 A	17.24 A	17.28 A	17.32 A	17.36 A
Open Circuit Voltage (Voc)	44.8 V	45.0 V	45.2 V	45.4 V	45.6 V	45.8 V	46.0 V
Short Circuit Current (Isc)	18.35 A	18.39 A	18.43 A	18.47 A	18.51 A	18.55 A	18.59 A
Module Efficiency	20.8%	20.9%	21.1%	21.2%	21.4%	21.6%	21.7%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C						
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL)) or 1000V (IEC/UL))						
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730)						
Max. Series Fuse Rating	30 A						
Protection Class	Class II						
Power Tolerance	0 ~ + 10 W						

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

Figura 16 - Imagem e características do painel Canadian Solar CS7N-665MS

Ao nível da estrutura, considerou-se o padrão de qualidade normal, com vigas e perfis de alumínio fixos por parafusos ao telhado. A inclinação considerada foi de 12°, de modo aos painéis fotovoltaicos estarem paralelos ao telhado serrilhado e facilitar a montagem. Desta forma, pode considerar-se um espaço entre a traseira do painel da chapa do telhado de aproximadamente 10 centímetros, permitindo boa ventilação. A orientação obtida pela direção dos edifícios foi de 169°, sendo um desvio de 11° em relação à direção mais benéfica que seria sul, com 180°. Não compensava a mão de obra necessária nem a complexidade de alinhar a estrutura perfeitamente com o eixo norte-sul.

Para a disposição e contabilização do número de módulos, foram tomadas as seguintes considerações para cada cenário:

- Cenário 1: Cobrir a maior área possível de ambos os edifícios para se obter a maior potência instalada – total de 320 módulos e 212,80 kW de potência instalada;

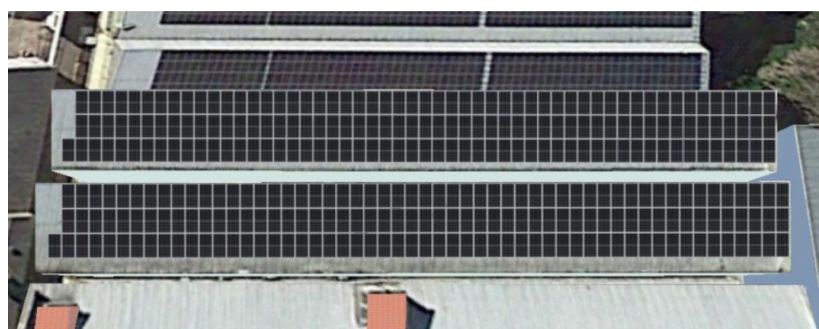


Figura 17 - Disposição dos módulos no cenário 1

- Cenário 2: Cobrir apenas o telhado norte, utilizando a maior área possível. Assim, otimiza-se a montagem de estruturas e a passagem de cablagens é realizada apenas num dos edifícios – 160 módulos e 106,40 kW de potência instalada;

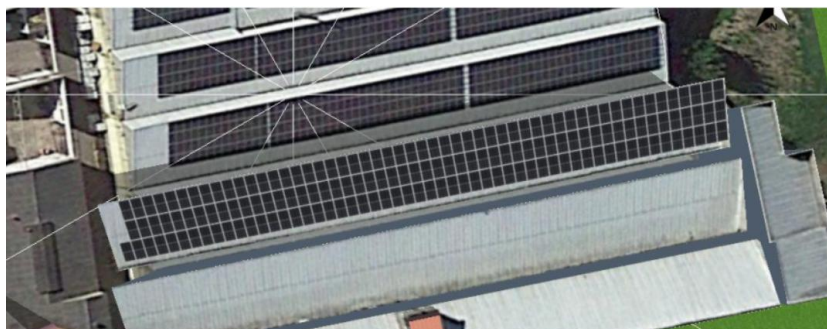


Figura 18 - Disposição dos módulos no cenário 2

- Cenário 3: Obter uma instalação em cada edifício, aproveitando todo o comprimento do telhado. Os módulos são colocados mais próximos da cumieira, reduzindo as sombras causadas pelas 3 chaminés próximas à instalação e aumentando o número de horas de exposição solar. Devido à proximidade entre os edifícios, as zonas mais abaixo de cada telhado estão sujeitas a sombras quando o sol incide mais horizontalmente – período de inverno e início e final de dia – 200 módulos e 133,00 kW de potência instalada;



Figura 19 - Disposição dos módulos no cenário 3

- Cenário 4: Obter uma instalação em cada edifício com um número de módulos similar ao do cenário 2, mas otimizando a produção através do posicionamento dos painéis, evitando sombras causadas pelas chaminés e aumentando o número de horas de exposição solar. Para isso, tal como no cenário 3, a instalação é realizada o mais próximo possível da cumieira, pelas mesmas razões apresentadas no cenário 3 - 160 módulos e 106,40 kW de potência instalada.

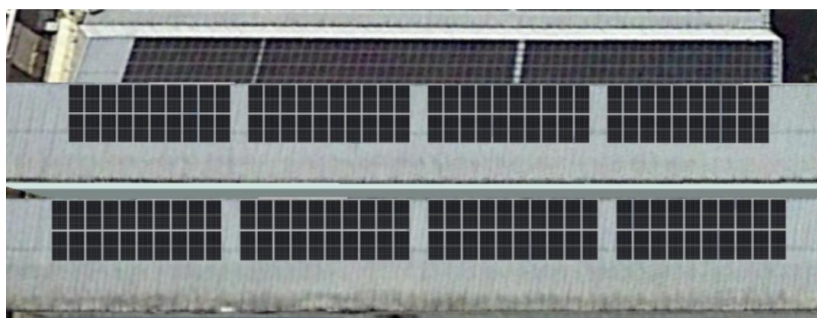


Figura 20 - Disposição dos módulos no cenário 4

Foi realizada uma modelação 3D da estrutura dos edifícios e das chaminés adjacentes, de forma a simular os períodos de radiação e os efeitos das sombras no local de montagem. Para cada cenário iniciou-se a disposição dos painéis com os pressupostos acima indicados e de forma a, com módulos de 665W, se cumprir a potência de pico máxima – 104 kW. É importante deixar uma margem de potência instalada superior pois, em poucos momentos cada módulo produz a potência máxima anunciada, quer por falta de radiação incidente, perdas de potência nas cablagens e no inversor e aquecimento dos painéis durante a época de maior temperatura, reduzindo a eficiência.

A partir da escolha dos módulos procede-se à escolha dos inversores. A escolha de um inversor depende de diversos fatores, incluindo a potência dos painéis instalados, a dimensão pretendida das *strings*, o preço e a disponibilidade do produto. Entre os fabricantes com melhor reputação, destacam-se a *SMA*, a *Sungrow*, a *Huawei* e a *GoodWe*.

Na abordagem ao cliente, verificou-se um facto importante – o cliente já possuía uma unidade solar de minigeração montada no edifício por uma outra empresa do setor, contudo, encontrava-se insatisfeito com a solução e reportava que a produção era muito inferior ao esperado. Todos os inversores eram da marca *GoodWe*. A pedido do cliente foi efetuada pela Energy Top uma análise técnica à instalação existente que permitiu tirar as seguintes conclusões: a instalação do hardware estava efetuada respeitando, em geral, os padrões técnicos, embora fosse recomendável proceder a melhorias e pequenas correções. No momento da inspeção, apenas 1 dos 8 inversores estava em pleno funcionamento. Dos restantes, 2 não estavam devidamente ativados nem conectados à rede, nem aos servidores, 2 estavam instalados, mas tinham o disjuntor geral desligado e os outros 3 estavam com avarias, possivelmente com componentes queimados por alguma descarga elétrica provocada por trovoadas. Além destes fatores, encontraram-se *strings* desligadas. Através do histórico de produção concluiu-se que a produção era muito inferior ao esperado e ao potencial da instalação. Nos anexos A.3 a A.7 encontram-se exemplos das más práticas encontradas na instalação.

De forma a facilitar o utilizador e de ser um fabricante de confiança, uma das primeiras opções para os inversores seria a *GoodWe*. Ao equipar uma nova instalação com equipamentos da mesma marca, permitiria consultar o estado da instalação e os históricos de dados na mesma interface e o colaborador da empresa cliente responsável por supervisionar as instalações fotovoltaicas já estava ambientado à utilização destes inversores. Mas, devido ao facto relatado anteriormente, o cliente não pretendeu que os inversores fossem do fabricante *GoodWe*, mesmo se tendo provado a falta de performance não estar, em nada, relacionada com esta marca, mas sim com os erros na instalação.

Dos restantes fabricantes analisou-se a oferta. Para os 4 cenários, devido à disposição geográfica e proximidade entre painéis, uma escolha mais simples e económica seria optar por inversores de maiores potências, reduzindo o número de inversores. Para a mesma potência, usar 1 inversor fica substancialmente mais barato do que usar 2 com metade da potência. Contudo, tem a desvantagem de, por norma, se dispor de menos MPPT's e se houver alguma avaria, afeta a estrutura inteira.

Por questões práticas, optou-se por usar inversores de 40 kW ou 50 kW, permitindo assim um maior número de *strings* e evitando perdas de produção por sombreamento. Verificou-se que os preços estavam dentro dos valores de mercado.

Em termos de potência, é uma boa prática optar por uma potência de painéis ligeiramente superior à dos inversores, não havendo risco de esta ser ultrapassada. Durante o período de operação, só com as condições ideais é que cada módulo produz a potência máxima, quer seja por falta de radiação incidente – início e final do dia, quer por perdas de potência nas cablagens, aquecimento dos painéis durante a época de maior temperatura, reduzindo a eficiência e sujidades acumuladas na face dos módulos ao longo do tempo.

Para cada cenário, tendo em conta as potências instaladas, idealizou-se a seguinte potência de inversores:

- Cenário 1: Para os 212,80 Kw de potência DC instalada – 4 inversores de 50 kW – 200 kW de potência AC;
- Cenário 2: Para os 106,40 kW de potência DC instalada – 2 inversores de 50 kW – 100 kW de potência AC;
- Cenário 3: Para os 133,00 kW de potência DC instalada - 2 inversores de 50 kW – 100 kW de potência AC;
- Cenário 4: Para os 106,40 kW de potência DC instalada - 2 inversores de 50 kW – 100 kW de potência AC.

Em todos os casos, a potência instalada de módulos é superior à dos inversores, sendo que no cenário 3 é onde a diferença é maior. Analisaram-se as especificações dos equipamentos das marcas de referência, que se verificou serem semelhantes. O número de MPPT's é semelhante para quase todos os casos, com 4 unidades com 2 entradas cada. Destaca-se o *SMA STP 50-41*, com 6 MPPT's, cada um com 6 entradas, embora seja substancialmente mais caro.

Pela credibilidade e por oferecer boas relações potência/preço e qualidade/preço, escolheu-se o *Huawei SUN2000-50KTL M 3*. A partir desta opção é necessário realizar o enquadramento das *strings* e aferir se se consegue fazer uma boa construção das *strings* utilizando este modelo de inversor. As suas especificações completas encontram-se no anexo A.9.



Technical Specification	SUN2000-50KTL-M3
Efficiency	
Max. Efficiency	98.5%
European Efficiency	98.0%
Input	
Max. Input Voltage ¹	1,100 V
Max. Current per MPPT	30 A
Max. Current per Input	20 A
Max. Short Circuit Current per MPPT	40 A
Start Voltage	200 V
MPPT Operating Voltage Range ²	200 V ~ 1,000 V
Rated Input Voltage	600 V
Number of Inputs	8
Number of MPP Trackers	4
Output	
Rated AC Active Power	50,000 W
Max. AC Apparent Power	55,000 VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)	55,000 W
Rated Output Voltage	400 Vac / 480 Vac, 3W+(N) + PE
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Rated Output Current	72.2 A @ 400Vac, 60.1 A @ 480Vac
Max. Output Current	79.8 A @ 400Vac, 66.5 A @ 480Vac
Adjustable Power Factor Range	0.8 LG ... 0.8 LD
Max. Total Harmonic Distortion	<3%

Figura 21 - Imagem e características do inversor Huawei SUN200-50KTL M 3

Para o desenvolvimento das *strings*, é necessário ter em conta as seguintes características fundamentais dos inversores:

- Máxima voltagem total por cada input – 1100 V – voltagem máxima suportada pelo inversor. Tem de ser adequada ao somatório da voltagem em circuito aberto (Voc) dos painéis da *string*. Para o painel escolhido é de 45.6 V. Logo, para se obter o número máximo de painéis para este inversor, faz-se o cálculo $1100/45,6=24,12$, ou seja, no máximo 24 painéis em condições de pico de voltagem;
- Máxima corrente por MPPT – 30A – máxima corrente que cada MPPT pode receber - Tem de ser adequada à corrente em curto-circuito de cada painel da *string*. Cada MPPT tem 2 entradas, portanto, o somatório das 2 entradas tem de ser inferior à máxima corrente suportada. Para o painel escolhido é de 18.51 A logo, só se pode usar uma entrada de cada MPPT;

- Máxima corrente por cada input do MPPT – 20 A - máxima corrente que cada MPPT pode receber por entrada - Tem de ser adequada à corrente em curto-circuito de cada painel da *string*. Para o painel escolhido é de 18.51 A;
- Voltagem de arranque – 200 V - voltagem mínima para o inversor iniciar o funcionamento. Deve ser adequada à soma da voltagem de funcionamento dos módulos (V_{mp}), sendo que, se o somatório da *string* não cumprir este mínimo, o inversor não funciona. O cálculo $200/45,6=4,38$ dá-nos o número de painéis mínimo para o inversor funcionar em condições de operação perfeitas, 5 módulos. O número de módulos tem de ser muito superior a 5 pois em raras situações se obtém o valor de diferença de potencial ideal;
- Margem de voltagem de operação de cada MPPT – 200 V a 1000 V – intervalo de voltagem de funcionamento do inversor. Tem de ser adequada ao somatório da voltagem em circuito aberto (V_{oc}) dos painéis da *string* e à soma da voltagem de funcionamento dos módulos (V_{mp}). Para o painel escolhido a V_{oc} é de 45.6 V e a V_{mp} é de 38.5 V. Tem-se então um máximo de $1000/45,6=21,9$ painéis.

Através das conclusões acima, considerou-se que o número ideal seria de 20 módulos por *string*, usando apenas 4 inputs do inversor, uma input por MPPT. Este número de módulos aproxima-se do máximo de capacidade de funcionamento de cada entrada, mas sempre em segurança.

Além do número de painéis de cada *string*, é fulcral posicionar os módulos da mesma *string* em condições o mais parecidas possíveis. Sempre que um módulo de uma *string* está com baixo rendimento, seja por sombreamento, sujidade ou perda de células que queimaram ao longo do tempo, limita os restantes módulos da *string* à mesma produção que o pior módulo.

Neste caso, tem de se ter em consideração as sombras causadas pelas chaminés próximas do edifício e as sombras ao início e final de dia causadas pelo telhado mais a sul. Desta forma, entendeu-se que a forma mais correta e eficiente de colocar cada *string* seria dispor os módulos ao longo da direção horizontal. Além disso, era importante seleccionar o inversor ao qual se liga cada *string*. Nesta instalação, ligaram-se a cada inversor as *strings* mais próximas, com o objetivo de reduzir a utilização de cabo DC. Para isso, posicionaram-se 2 inversores por telhado no cenário 1 e 1 inversor em cada telhado nos restantes cenários. Segue-se a disposição das *strings* para cada cenário e em anexo encontra-se a sequência de ligação das mesmas.

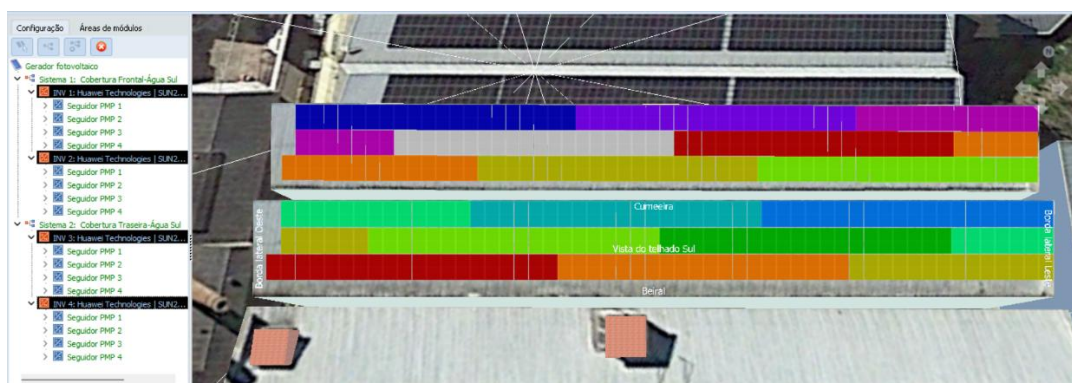


Figura 22 – *Strings* para o cenário 1

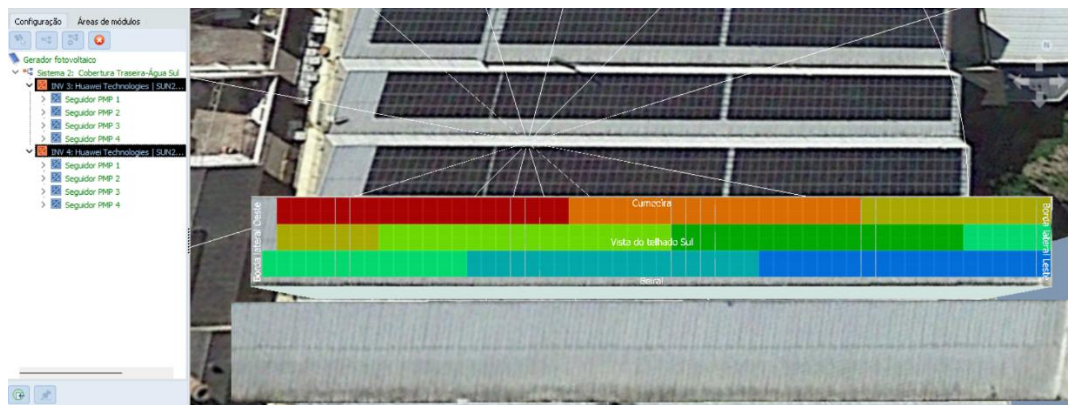


Figura 23 - *Strings* para o cenário 2

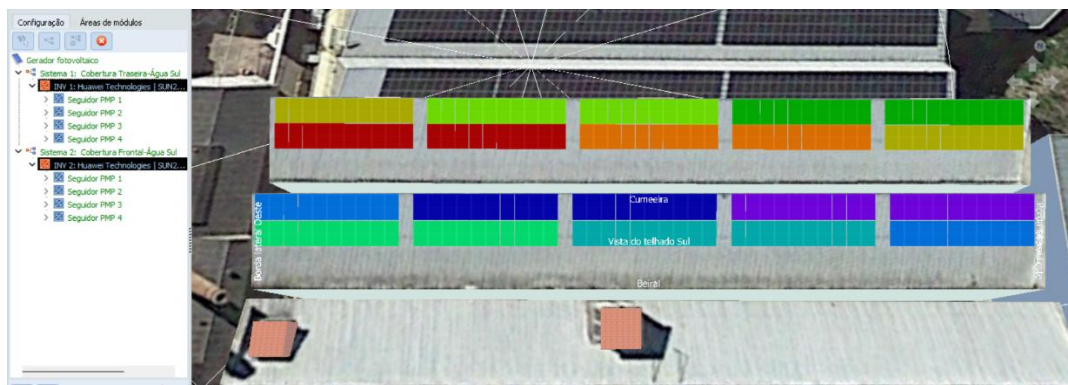


Figura 24 - *Strings* para o cenário 3

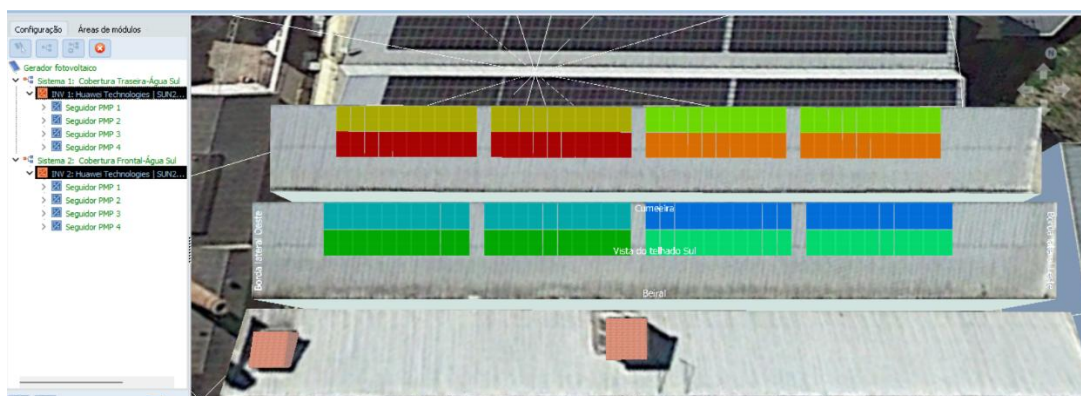


Figura 25 - *Strings* para o cenário 4

Os painéis são espaçados 20 centímetros entre si, tanto na vertical como na horizontal. Nos cenários 3 e 4 deixaram-se acessos entre painéis a cada 10 painéis dispostos horizontalmente. Esta prática facilita tanto as operações de limpeza como de manutenção.

Com estes dados inseridos no software PV*SOL, simulou-se, com intervalos de 1 minuto, a previsão de produção para 1 ano.

5.4 Softwares e ferramentas disponíveis

O PV*Sol é um software de origem alemã e permite simular a instalação e dimensionar unidades de produção de energia solar. Desenvolvido pela *Valentin Software* é uma ferramenta amplamente utilizada em engenharia e projetos de energia solar, permitindo o cálculo do

desempenho energético e financeiro de instalações fotovoltaicas em diferentes contextos - desde pequenas unidades de produção para autoconsumo até grandes centrais solares.

Através de uma interface gráfica intuitiva e de uma base de dados atualizada de módulos, inversores e baterias disponíveis no mercado, o PV*SOL possibilita avaliar não apenas a produção anual de energia, mas também o comportamento do sistema em intervalos temporais detalhados (mensais, diários ou horários), incorporando variáveis como radiação solar, orientação e inclinação dos módulos, sombreamento e temperatura ambiente. Por fim, permite a análise financeira do cenário simulado.

5.5 Análise de resultados

Após se correr a simulação, o software gera diversos resultados e análises importantes para apoiar uma tomada de decisão. Para complementar a análise e comparar as métricas mais importantes para o cliente foi criada uma tabela em *Excel*, com os resultados para cada cenário. Um dos parâmetros de elevado grau de importância era o rácio de energia produzida utilizada para autoconsumo e a capacidade de autossuficiência da instalação. Para cada um dos cenários, obteve-se:

- Cenário 1 – 39,3% da energia produzida pelo sistema fotovoltaico é utilizada para autoconsumo e 57,3% da energia consumida é produzida pelo sistema fotovoltaico.

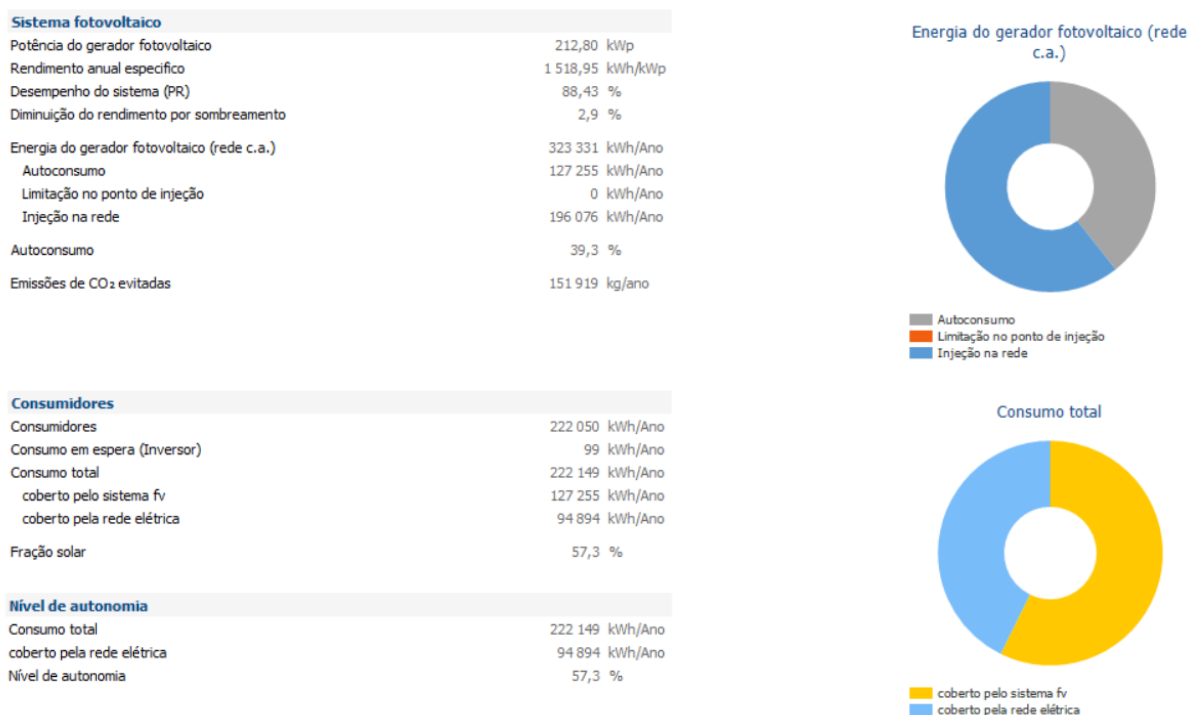


Figura 26 - Visão geral da produção no cenário 1

- Cenário 2 – 62,0% da energia produzida pelo sistema fotovoltaico é utilizada para autoconsumo e 44,3% da energia consumida é produzida pelo sistema fotovoltaico.

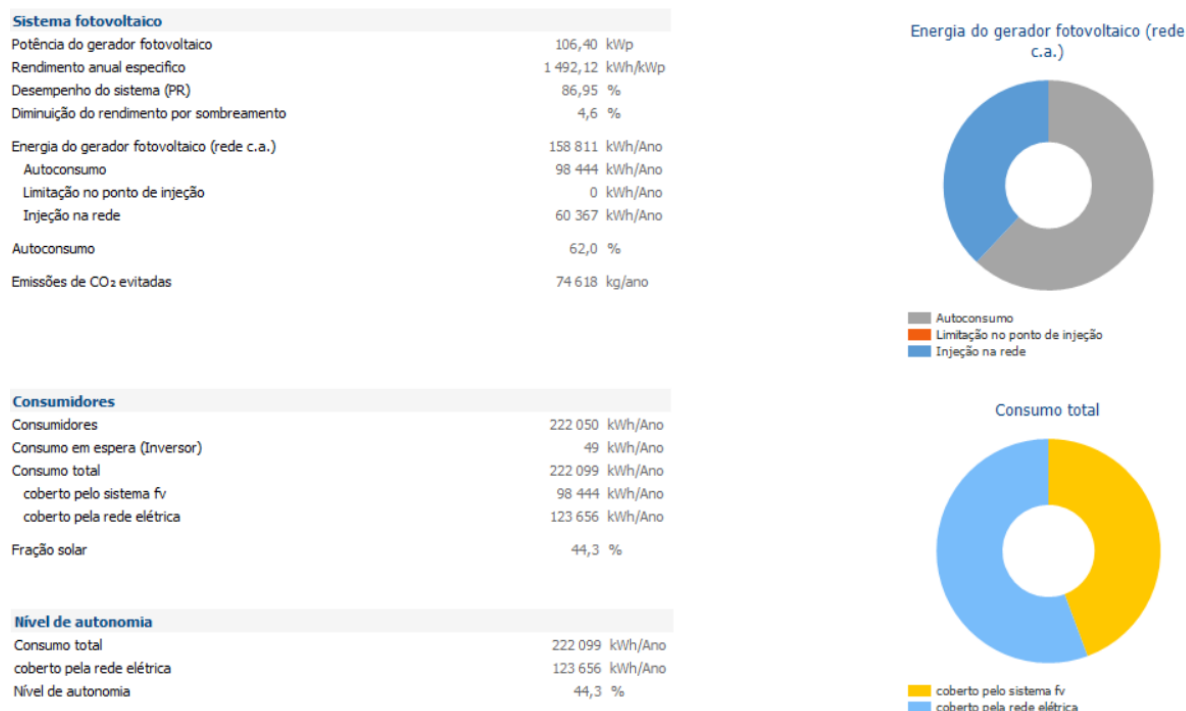


Figura 27 - Visão geral da produção no cenário 2

- Cenário 3 – 55,4% da energia produzida pelo sistema fotovoltaico é utilizada para autoconsumo e 50,6% da energia consumida é produzida pelo sistema fotovoltaico.

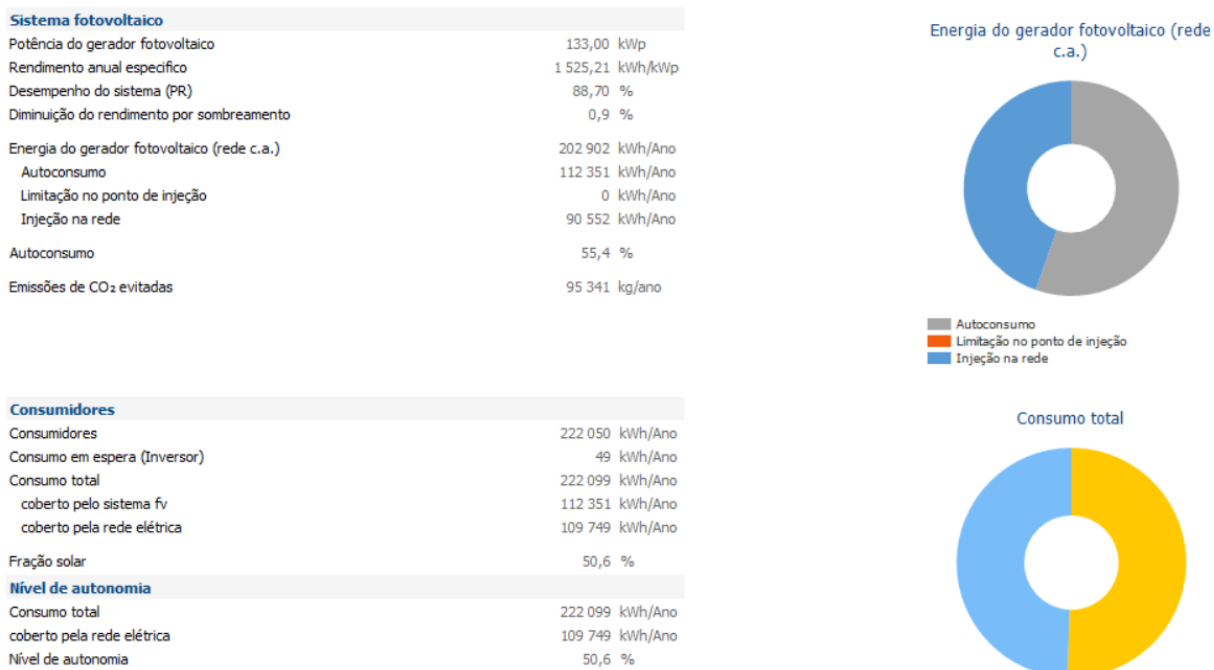


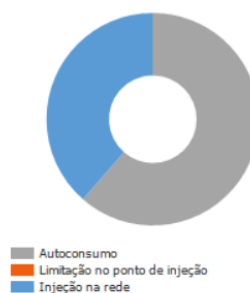
Figura 28 - Visão geral da produção no cenário 3

- Cenário 4 – 61,4% da energia produzida pelo sistema fotovoltaico é utilizada para autoconsumo e 46,1% da energia consumida é produzida pelo sistema fotovoltaico.

Sistema fotovoltaico

Potência do gerador fotovoltaico	106,40 kWp
Rendimento anual específico	1 567,73 kWh/kWp
Desempenho do sistema (PR)	91,27 %
Diminuição do rendimento por sombreamento	0,5 %
Energia do gerador fotovoltaico (rede c.a.)	166 856 kWh/Ano
Autoconsumo	102 491 kWh/Ano
Limitação no ponto de injeção	0 kWh/Ano
Injeção na rede	64 365 kWh/Ano
Autoconsumo	61,4 %
Emissões de CO ₂ evitadas	78 399 kg/ano

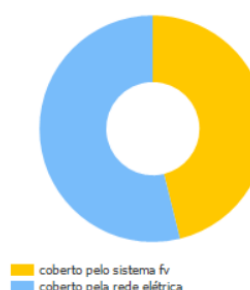
Energia do gerador fotovoltaico (rede c.a.)



Consumidores

Consumidores	222 050 kWh/Ano
Consumo em espera (Inversor)	49 kWh/Ano
Consumo total	222 099 kWh/Ano
coberto pelo sistema fv	102 491 kWh/Ano
coberto pela rede elétrica	119 608 kWh/Ano
Fração solar	46,1 %

Consumo total



Nível de autonomia

Consumo total	222 099 kWh/Ano
coberto pela rede elétrica	119 608 kWh/Ano
Nível de autonomia	46,1 %

Figura 29 - Visão geral da produção no cenário 4

Outro parâmetro a considerar é o impacto financeiro anual que cada cenário vai oferecer, como consequência da energia autoconsumida que não terá de ser adquirida da rede e da energia excedente vendida. Destacam-se a Taxa Interna de Retorno (TIR), o valor investido, os valores estimados de receita e o prazo de amortização do investimento.

- Cenário 1 – obteve-se uma TIR de 37,64%, um investimento de 95.760€, uma receita de 13.470,45€, uma poupança de 21.481,42€ e um prazo de 2 anos e 9 meses para amortizar o investimento;

Parâmetros econômicos

Taxa interna de retorno	37,64 %
Fluxo de caixa acumulado	800 862,31 €
Prazo de amortização	2 anos, 9 meses
Custos de geração da energia	0,0135 €/kWh

Vista geral de pagamentos

Investimento específico	450,00 €/kWp
Custos de investimento	95 760,00 €

Remuneração e Economia	
Remuneração total no primeiro ano	13 470,45 €/Ano
Economia no primeiro ano	21 481,42 €/Ano
LuzBoa (LuzBoa - Grupo Nexus Energia, S.A.)	
Tarifa da energia Ponta	0,176 €/kWh
Economia Ponta	1 965,27 €/Ano
Tarifa da energia Cheia	0,1763 €/kWh
Economia Cheia	12 338,73 €/Ano
Tarifa da energia Vazio	0,1562 €/kWh
Economia Vazio	7 120,23 €/Ano
Tarifa da energia Super Vazio	0,1312 €/kWh
Economia Super Vazio	54,18 €/Ano
Base de preço	1057 €/Mês
Inflação da tarifa de energia	2 %/Ano
Remuneração da eletricidade em venda direta	
Preço de venda da eletricidade	0,07 €/kWh
Remuneração da eletricidade em venda direta	13 470,45 €/Ano

Figura 30 - Parâmetros financeiros do cenário 1

- Cenário 2 – obteve-se uma TIR de 44,99%, um investimento de 47.880€, uma receita de 4.147,24€, uma poupança de 16.672,26€ e um prazo de 2 anos e 4 meses para amortizar o investimento;

Parâmetros económicos	
Taxa interna de retorno	44,99 %
Fluxo de caixa acumulado	509 099,49 €
Prazo de amortização	2 anos, 4 meses
Custos de geração da energia	0,0137 €/kWh
Vista geral de pagamentos	
Investimento específico	450,00 €/kWp
Custos de investimento	47 880,00 €

Remuneração e Economia	
Remuneração total no primeiro ano	4 147,24 €/Ano
Economia no primeiro ano	16 672,26 €/Ano
LuzBoa (LuzBoa - Grupo Nexus Energia, S.A.)	
Tarifa da energia Ponta	0,176 €/kWh
Economia Ponta	1 873,06 €/Ano
Tarifa da energia Cheia	0,1763 €/kWh
Economia Cheia	9 625,02 €/Ano
Tarifa da energia Vazio	0,1562 €/kWh
Economia Vazio	5 142,10 €/Ano
Tarifa da energia Super Vazio	0,1312 €/kWh
Economia Super Vazio	30,58 €/Ano
Base de preço	1057 €/Mês
Inflação da tarifa de energia	2 %/Ano
Remuneração da eletricidade em venda direta	
Preço de venda da eletricidade	0,07 €/kWh
Remuneração da eletricidade em venda direta	4 147,24 €/Ano

Figura 31 - Parâmetros financeiros do cenário 2

- Cenário 3 – obteve-se uma TIR de 43,56%, um investimento de 59.850€, uma receita de 6.220,90€, uma poupança de 18.998,95€ e um prazo de 2 anos e 5 meses para amortizar o investimento;

Parâmetros económicos	
Taxa interna de retorno	43,56 %
Fluxo de caixa acumulado	607 780,83 €
Prazo de amortização	2 anos, 5 meses
Custos de geração da energia	0,0134 €/kWh
Vista geral de pagamentos	
Investimento específico	450,00 €/kWp
Custos de investimento	59 850,00 €

Remuneração e Economia	
Remuneração total no primeiro ano	6 220,90 €/Ano
Economia no primeiro ano	18 998,95 €/Ano
LuzBoa (LuzBoa - Grupo Nexus Energia, S.A.)	
Tarifa da energia Ponta	0,176 €/kWh
Economia Ponta	1 914,49 €/Ano
Tarifa da energia Cheia	0,1763 €/kWh
Economia Cheia	10 953,05 €/Ano
Tarifa da energia Vazio	0,1562 €/kWh
Economia Vazio	6 091,09 €/Ano
Tarifa da energia Super Vazio	0,1312 €/kWh
Economia Super Vazio	38,82 €/Ano
Base de preço	1057 €/Mês
Inflação da tarifa de energia	2 %/Ano
Remuneração da eletricidade em venda direta	
Preço de venda da eletricidade	0,07 €/kWh
Remuneração da eletricidade em venda direta	6 220,90 €/Ano

Figura 32 - Parâmetros financeiros do cenário 3

- Cenário 4 – obteve-se uma TIR de 46,97%, um investimento de 47.8800€, uma receita de 4.421,86€, uma poupança de 17.346,77€ e um prazo de 2 anos e 3 meses para amortizar o investimento.

Parâmetros econômicos	
Taxa interna de retorno	46,97 %
Fluxo de caixa acumulado	533 985,99 €
Prazo de amortização	2 anos, 3 meses
Custos de geração da energia	0,013 €/kWh
Vista geral de pagamentos	
Investimento específico	450,00 €/kWp
Custos de investimento	47 880,00 €
Pagamentos únicos	0,00 €
Subsídios	0,00 €
Custos anuais	0,00 €/Ano
Outros lucros ou economias	0,00 €/Ano

Remuneração e Economia

Remuneração total no primeiro ano	4 421,86 €/Ano
Economia no primeiro ano	17 346,77 €/Ano
LuzBoa (LuzBoa - Grupo Nexus Energia, S.A.)	
Tarifa da energia Ponta	0,176 €/kWh
Economia Ponta	1 878,86 €/Ano
Tarifa da energia Cheia	0,1763 €/kWh
Economia Cheia	9 993,07 €/Ano
Tarifa da energia Vazio	0,1562 €/kWh
Economia Vazio	5 440,80 €/Ano
Tarifa da energia Super Vazio	0,1312 €/kWh
Economia Super Vazio	32,54 €/Ano
Base de preço	1057 €/Mês
Inflação da tarifa de energia	2 %/Ano
Remuneração da eletricidade em venda direta	
Preço de venda da eletricidade	0,07 €/kWh
Remuneração da eletricidade em venda direta	4 421,86 €/Ano

Figura 33 - Parâmetros financeiros do cenário 4

Em termos técnicos e de performance, todos os cenários têm rendimentos semelhantes, visto que, as *strings* são montadas e pensadas da mesma forma e as condições de operação, com exceção de algumas zonas de sombra durante a época de inverno, são muito semelhantes em todos os cenários. Seguem-se 4 imagens com a compilação dos resultados e um gráfico indicativo da comparação entre produção, injeção na rede e consumos.



Figura 34 - Visão geral dos resultados do cenário 1

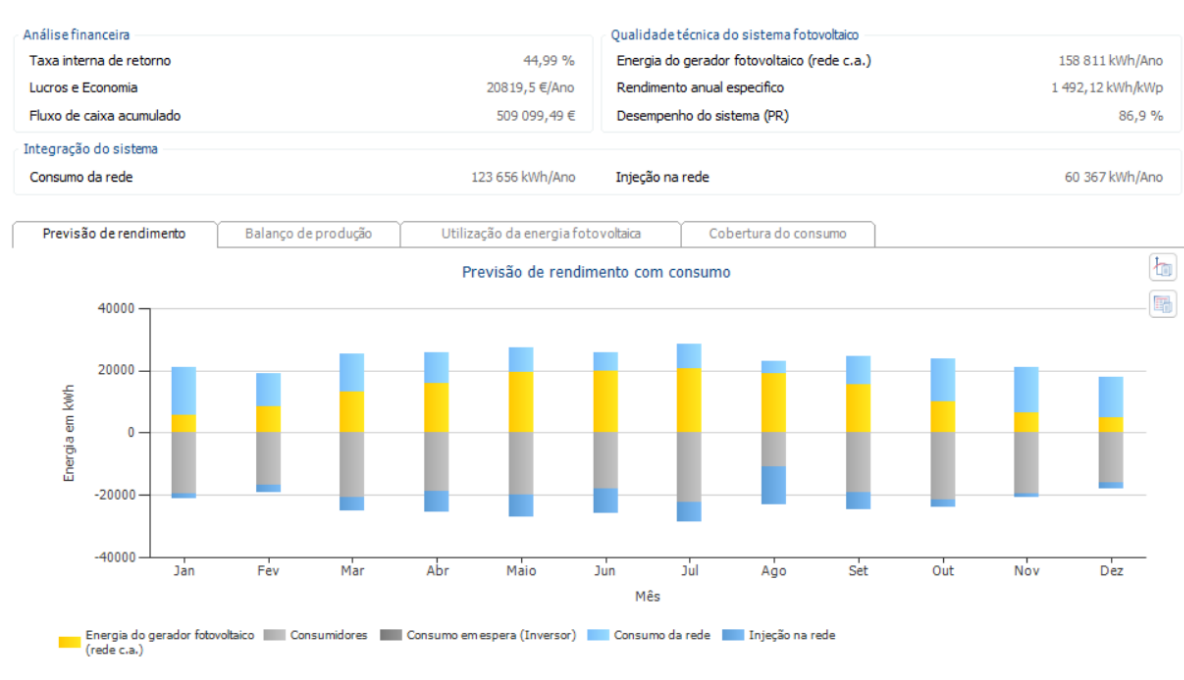


Figura 35 - Visão geral dos resultados do cenário 2

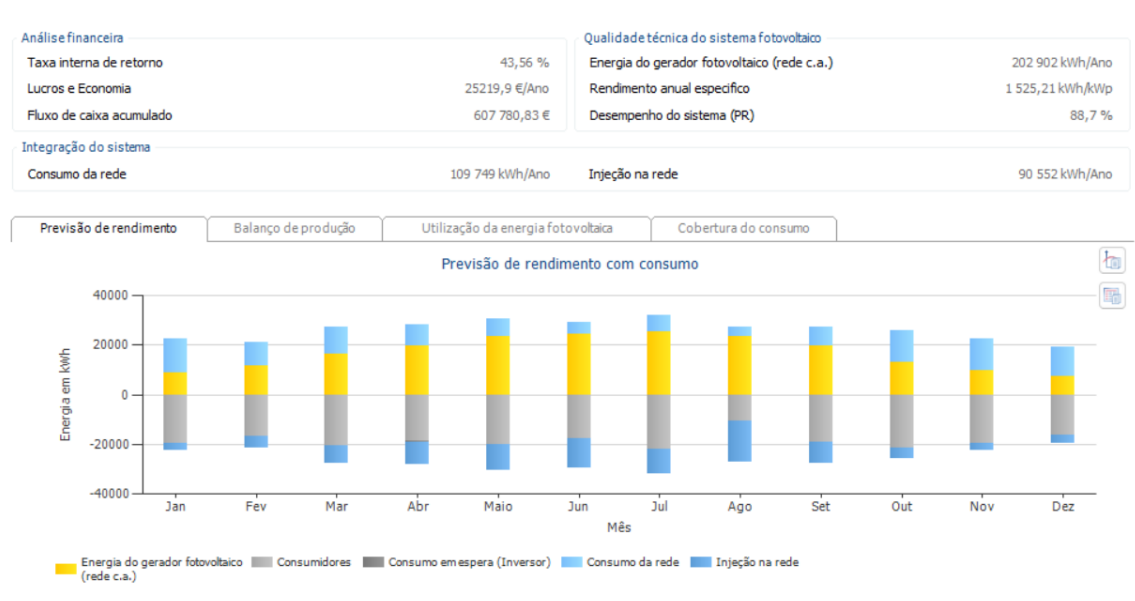


Figura 36 - Visão geral dos resultados do cenário 3

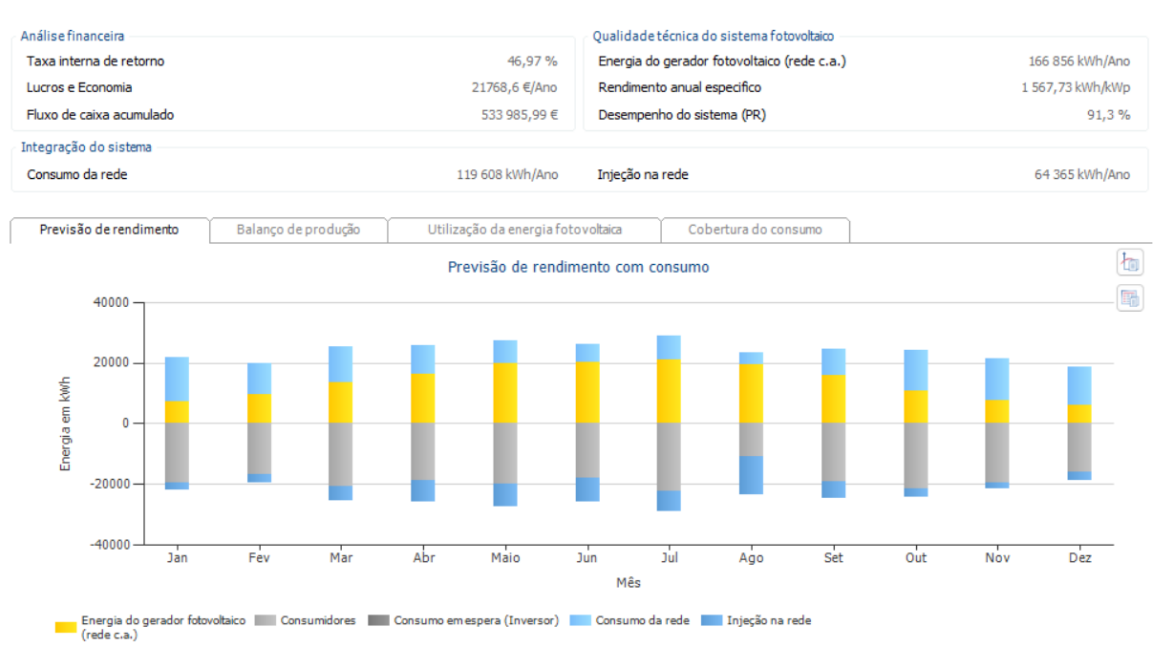


Figura 37 - Visão geral dos resultados do cenário 4

A análise das imagens e gráficos anteriores permite entender a diferença de cobertura de consumos por cada mês. Destaca-se o cenário 1 por permitir que a energia consumida seja, em grande parte, da produção fotovoltaica. Neste cenário também se injeta substancialmente mais energia na rede do que nos restantes.

Em relação ao desempenho do sistema, dado pelo *Performance Ratio*, o cenário 4 está em destaque com 91,3%. Este facto explica-se por este cenário ter menos módulos, permitindo que o posicionamento adotado tenha sido o mais favorável, aproveitando a zona com maior número de horas de exposição solar e menos sujeita a sombras, causada tanto pelas chaminés como pelos telhados adjacentes. Isto demonstra que as zonas onde nos outros cenários se instalam painéis, são zonas com aproveitamento inferior e que devem ser evitadas.

Nos anexos A.10 a A.13 é possível observar o diagrama do circuito previsto para cada cenário.

6 Conclusões e perspetivas de trabalho futuro

Embora seja possível realizar uma análise através de cálculos manuais, existem ferramentas no mercado que facilitam e permitem análises técnicas e económicas mais precisas. Neste projeto recorreu-se ao PV*SOL e ao *Excel*, condensando a informação de forma a ser apresentada aos clientes e para dar indicadores técnicos importantes para a instalação.

A imagem seguinte foi criada para resumir os indicadores mais importantes e com mais peso na decisão sobre que cenário adotar:

Variáveis em Análise			Cenário N.º 1 Cobertura Completa	Cenário N.º 2 Cobertura Traseira	Cenário N.º 3 2 Coberturas Totais	Cenário N.º 4 2 Coberturas Parciais
1	Investimento Inicial	€	95 760	47 880	59 850	47 880
2	Período de Retorno	anos	2 anos e 9 meses	2 anos e 4 meses	2 anos e 5 meses	2 anos e 3 meses
3	Taxa de Rentabilidade	%	37,64%	44,99%	43,56%	46,97%
4	Número de Painéis Solares	N.º	320	160	200	160
5	Potência Instalada DC	kWp	212,80	106,40	133,00	106,40
6	Número de Inversores	N.º	4	2	2	2
7	Potência Instalada AC	kW	200	100	100	100
8	Energia Produzida	kWh	323 331	158 811	202 902	166 856
9	Energia Autoconsumida	kWh	127 255	98 444	112 351	102 491
10	Energia Exportada	kWh	196 076	60 367	90 552	64 365
11	Energia Comprada à Rede	kWh	94 894	123 656	109 749	119 608
12	Energia Autoconsumida	%	39,30%	62,00%	55,40%	61,40%
13	Energia Exportada	%	60,70%	38,00%	44,60%	38,60%

Figura 38 - Tabela de comparação dos 4 cenários

Escolheram-se os 13 parâmetros da tabela por serem os mais importantes para a decisão, considerando que tecnicamente, todos cumpriram os pressupostos definidos. Seguem-se as conclusões que permitem concluir sobre o cenário mais vantajoso:

- Dos 4 cenários, os que exigem um investimento substancialmente menor são o cenário 2 e o cenário 4;
- O cenário com período de retorno mais baixo é o 4;
- O cenário com melhor taxa de rentabilidade é o cenário 4;
- O cenário com maior produção de energia é o 1, sendo que mais de metade é exportada para a rede;
- A energia autoconsumida é maior no cenário 1, contudo, apresenta pouca diferença para os restantes cenários;
- Os cenários com maior percentagem de energia autoconsumida são o 2 e o 4.

Concluiu-se que o cenário 4 é o mais vantajoso, principalmente pelo investimento exigido ser inferior, a percentagem de energia autoconsumida ser elevada e, portanto, é o cenário que apresenta melhor taxa de rentabilidade.

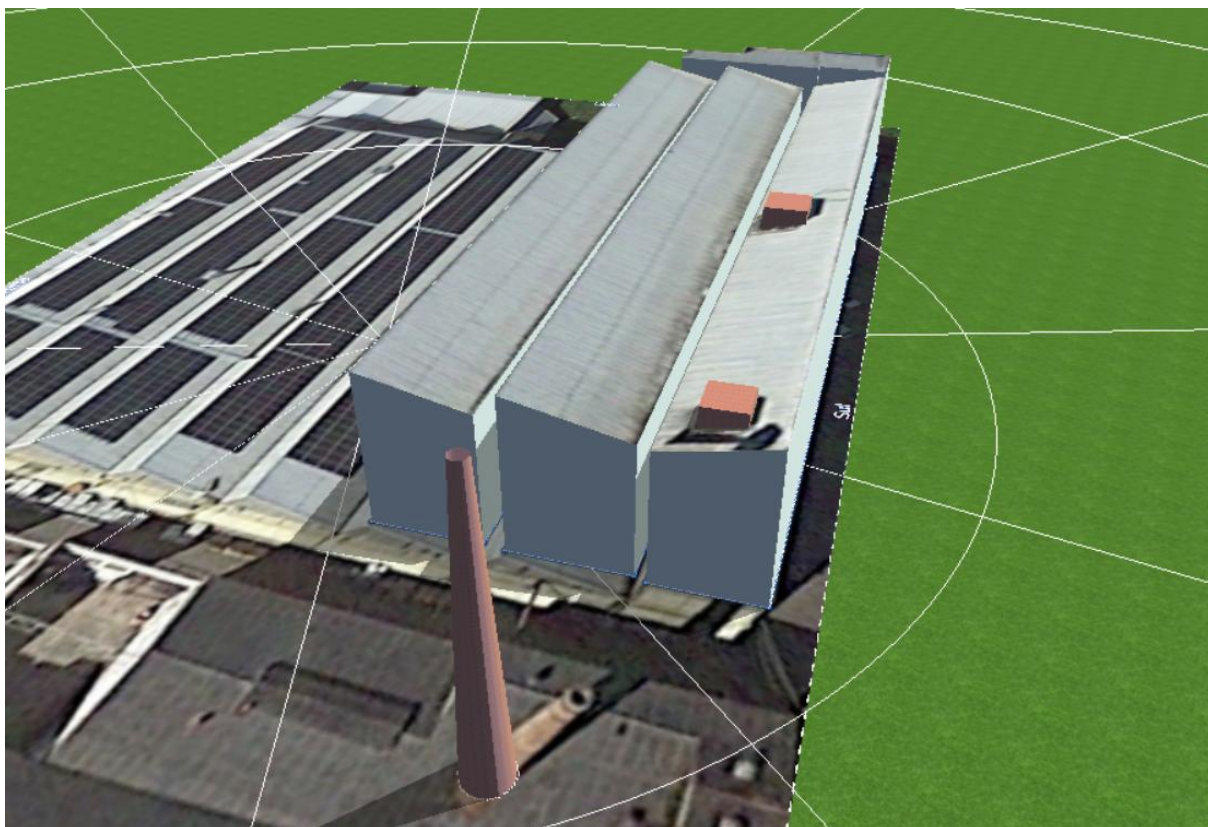
Futuramente, é pertinente desenvolver um plano de manutenção adequado e entender se, dependendo do cenário escolhido, a instalação de baterias pode ser uma opção viável e rentável.

Referências

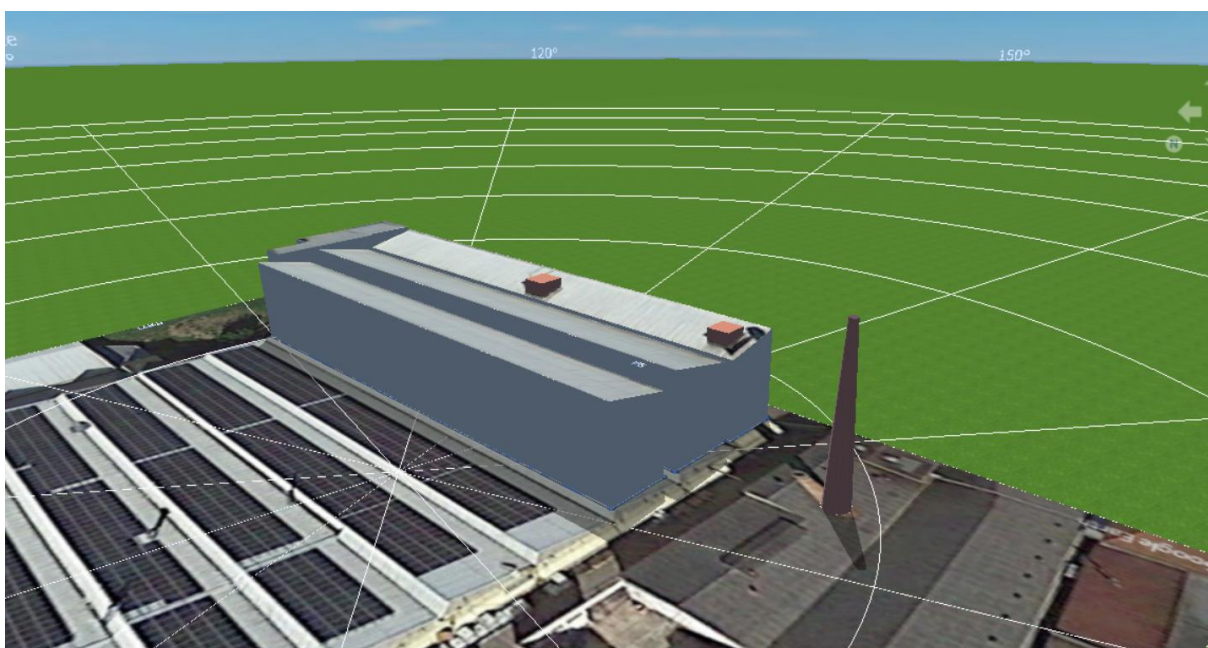
- ABB. (2024). *Driving down industrial energy consumption*. Retrieved 14/08/2024 from
- ADENE. (2025). *Energia em números 2025*. DGEG. https://www.dgeg.gov.pt/pt/destaques/energia-em-numeros-edicao-2025/?utm_source=chatgpt.com
- ADENE, E-Redes, & ERSE. (2025). *Guia Explicativo do Autoconsumo*.
- ADENE, D. (2022). *Manual de Autoconsumo e Comunidades de Energia Renovável*.
- Agência Portuguesa do Ambiente, A. (2025). *Barragens de Portugal*. Retrieved 24/05/2025 from <https://apambiente.pt/prevencao-e-gestao-de-riscos/barragens-de-portugal?>
- Agency, I. E. (2025). *Global Energy Review 2025*.
- Amador, J. (2010). Produção e Consumo de Energia em Portugal: Factos Estilizados. *Boletim Económico*.
- André, F. M. M. (2022). *Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos com Baterias Ligados à Rede*
- Carrilho, J. F. V. (2019). *Sistemas Fotovoltaico e Eólico para Produção de Energia Elétrica numa Vivenda*
- Correia, M. L. F. D. (2023). *Gestão de Energia na Indústria*
- DGEG. (2025). *Estatísticas Rápidas - n.º 245*.
- Dr. Simon Philipps, F. I. a. W. W., PSE Projects GmbH. (2025). *Photovoltaics Report*.
- E-Redes. (2025). *Autoconsumo Individual*. <https://www.e-redes.pt/pt-pt/clientes-e-parceiros/produtores/quero-ser-autoconsumidor>
- European Commission, E. (2023). *Energy Efficient Products*. https://energy-efficient-products.ec.europa.eu/product-list/light-sources_en
- European Environment Agency, E. (2022). *Industry*. Retrieved 09/08/2025 from <https://www.eea.europa.eu/themes/industry/intro>
- Félix, J. P. A. (2021). *Estudo de Viabilidade Económica para Instalação de UPAC e Adoção de Veículos Elétricos na Indústria*
- General Cable CelCat. (2023). *Cabos para instalações de energia solar fotovoltaica*.
- Gonçalves, S. (2025). Portugal to invest \$466 million to boost grid management, battery storage after outage. *Reuters*. <https://www.reuters.com/sustainability/boards-policy-regulation/portugal-invest-466-million-boost-grid-management-battery-storage-after-outage-2025-07-28/>
- Iberdrola. (2025a). *Bifacial panels: What makes them different?* <https://www.iberdrola.com/about-us/our-innovation-model/bifacial-solar-panels>
- Iberdrola. (2025b). *What is a SCADA system? Discover its advantages*. Retrieved 10/08/2025 from <https://www.iberdrola.com/about-us/our-innovation-model/scada-systems>
- IEA. (2025). Retrieved 12/06/2025 from <https://www.iea.org/countries/portugal/electricity?>
- Martins, F. O. (2016). *Seguidor solar de dois eixos com motores passo-a-passo*

- MEESI. (2024). *Outras Medidas para o Aumento da Eficiência Energética*. Retrieved 05/09/2025 from <https://www.meesi.pt/medidas-transversais/capitulo-8-outras-medidas-para-aumento-de-eficiencia-energetica>
- National Public Utilities Council, N. (2025). Retrieved 09/08/2025 from <https://www.motive-power.com/carbon-neutral-goals-by-country/>
- NREL. (2022). *Cadmium Telluride Accelerator Consortium Aims To Reduce Costs, Speed Deployment of Low-Carbon Thin-Film Solar Technologies*. <https://www.nrel.gov/news/detail/program/2022/cadmium-telluride-accelerator-consortium-aims-to-reduce-costs-speed-deployment-of-low-carbon-thin-film-solar-technologies>
- Organisation for Economic Co-operation and Development, O. (2025). *Environment at a Glance: Portugal*. Retrieved 15/08/2025 from https://www.oecd.org/en/publications/environment-at-a-glance-country-notes_59ce6fe6-en/portugal_9e7bcab2-en.html
- Pinho, L. (2025). Da taxonomia à eletrificação: um caminho para a sustentabilidade empresarial. *Jornal Económico*. <https://jornaleconomico.sapo.pt/noticias/d-taxonomia-a-eletrificacao-um-caminho-para-a-sustentabilidade-empresarial/>
- Portal Solar, P. (2024). *Micro inversor solar grid tie: o que é e para que serve?* Retrieved 18/08/2025 from <https://www.portalsolar.com.br/micro-inversor-solar-grid-tie.html>
- Reis, P. (2019). Kit Autoconsumo Solar Fotovoltaico: Tudo o que deve saber. <https://www.portal-energia.com/kit-autoconsumo-solar-fotovoltaico/>
- REN. (2024). *Energia em Equilíbrio - Relatório Integrado*.
- Repsol. (2024). *Types of solar panels*. Retrieved 12/08/2025 from <https://www.repsol.com/en/energy-move-forward/energy/types-of-solar-panels/index.cshtml>
- Rodrigues, S. (2018). CAPEX: o que é, como funciona e qual a importância para as empresas.
- Santos, M. (2023). *Inversores solares*. <https://sotysolar.pt/blog/inversores-solares>
- Silva, F. (2021). *Consumo de energia fluorescente vs LED?* NetScreen. <https://www.netscreen.pt/blog/iluminacao-fluorescente-led/>
- TME. (2024). *Tipos de isolamento de cabos eléctricos*. Retrieved 19/08/2025 from <https://www.tme.eu/pt/news/library-articles/page/60828/tipos-de-isolamento-de-cabos-eletricos/>
- Weiss, A., Diaz, D. H., & Grünewald, T. (2024). Retrieved 09/08/2025 from <https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/electricity-demand-in-europe-growing-or-going?>
- Wireman, T. (2010). *Total Productive Maintenance* (I. P. Inc., Ed.).

ANEXO A



Anexo A. 1 - Modelação do edifício e dos obstáculos envolventes

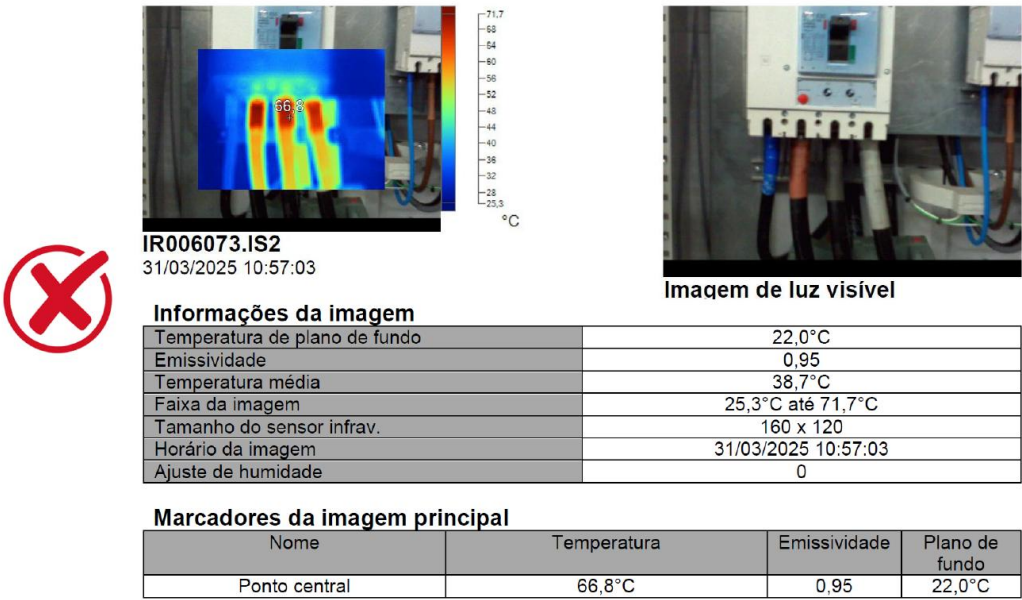


Anexo A. 2 - Modelação do edifício e dos obstáculos envolventes

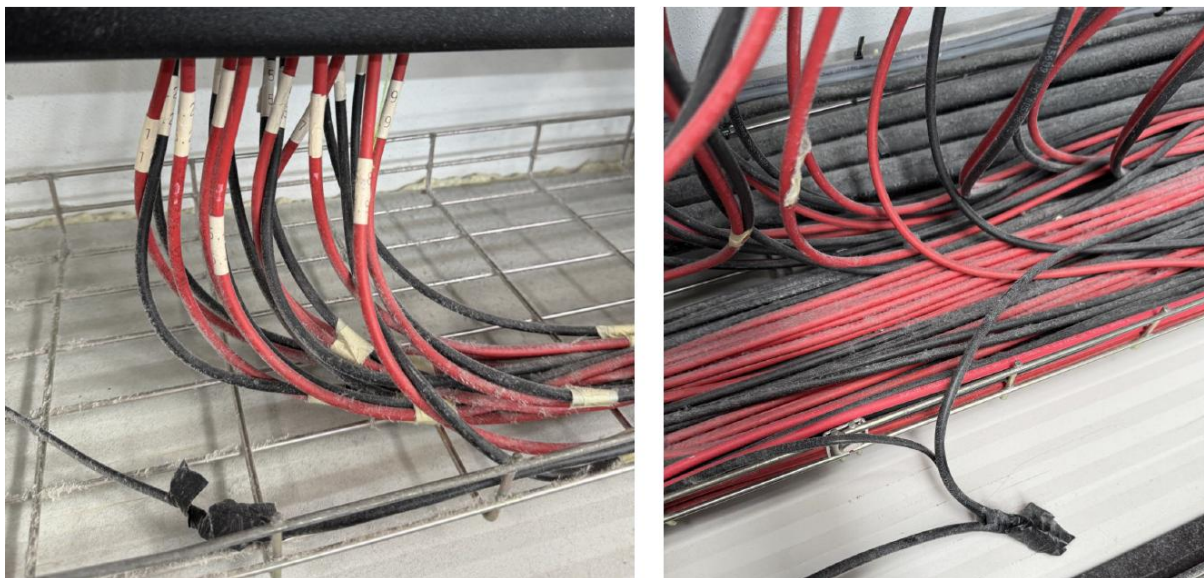


Anexo A. 4 - Exemplo de defeitos encontrados na instalação existente

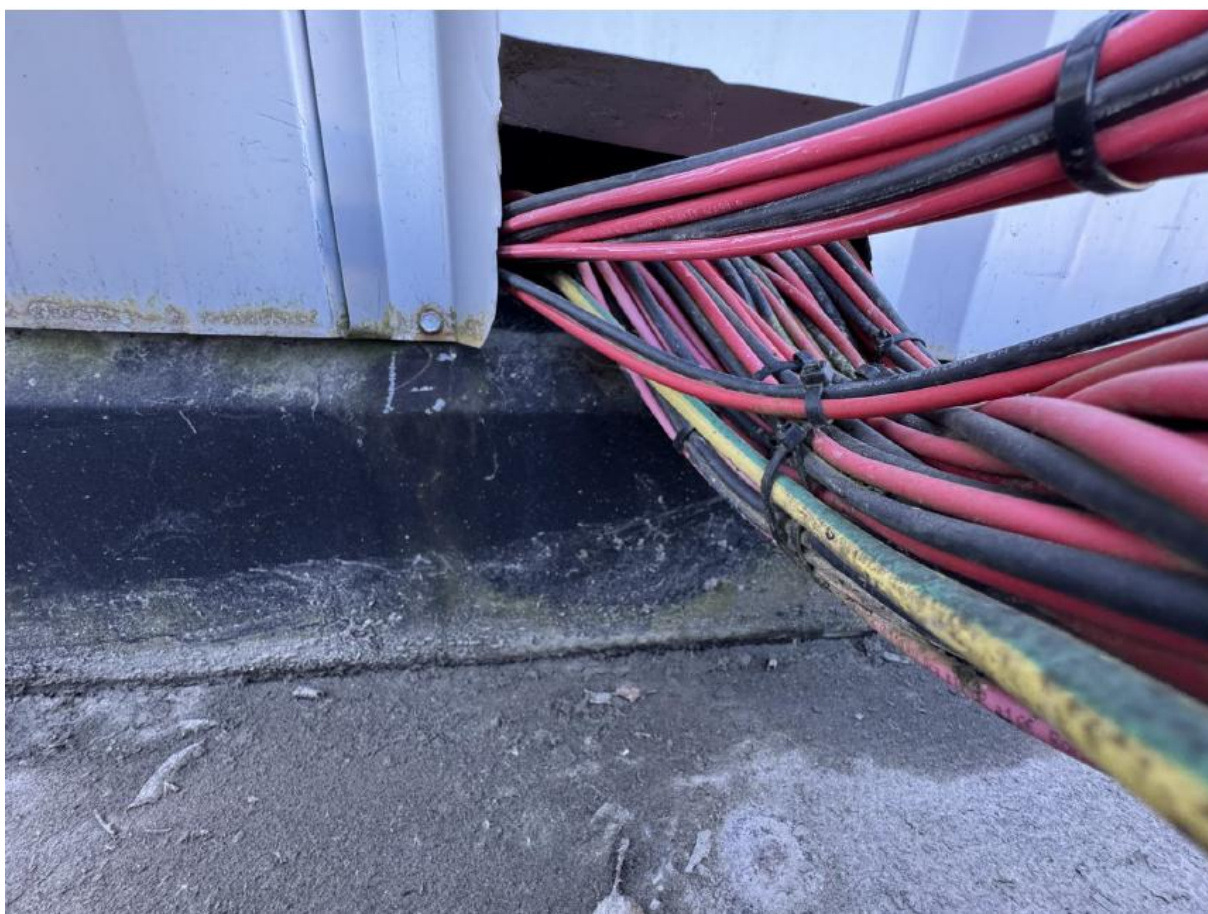
Termografia – Quadro Geral UPAC – Cabos do Disjuntor de Corte Geral



Anexo A. 3 - Exemplo de defeitos encontrados na instalação existente - termografia



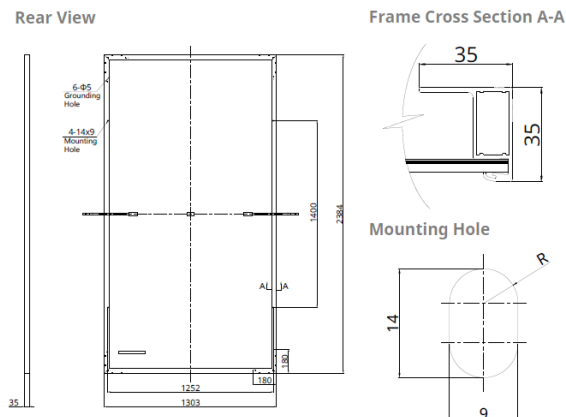
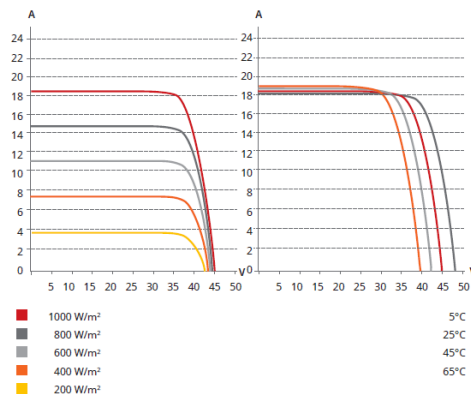
Anexo A. 6 - Exemplo de defeitos encontrados na instalação existente - inversor



Anexo A. 5 - Exemplo de defeitos encontrados na instalação existente - exterior



Anexo A. 7 - Exemplo de defeitos encontrados na instalação existente - cabos desconectados

ENGINEERING DRAWING (mm)**CS7N-650MS / I-V CURVES****ELECTRICAL DATA | STC***

CS7N	645MS	650MS	655MS	660MS	665MS	670MS	675MS
Nominal Max. Power (Pmax)	645 W	650 W	655 W	660 W	665 W	670 W	675 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.7 V	37.9 V	38.1 V	38.3 V	38.5 V	38.7 V	38.9 V
Opt. Operating Current (Imp)	17.11 A	17.16 A	17.20 A	17.24 A	17.28 A	17.32 A	17.36 A
Open Circuit Voltage (Voc)	44.8 V	45.0 V	45.2 V	45.4 V	45.6 V	45.8 V	46.0 V
Short Circuit Current (Isc)	18.35 A	18.39 A	18.43 A	18.47 A	18.51 A	18.55 A	18.59 A
Module Efficiency	20.8%	20.9%	21.1%	21.2%	21.4%	21.6%	21.7%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C						
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)						
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730)						
Max. Series Fuse Rating	30 A						
Protection Class	Class II						
Power Tolerance	0 ~ + 10 W						

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS7N	645MS	650MS	655MS	660MS	665MS	670MS	675MS
Nominal Max. Power (Pmax)	484 W	487 W	491 W	495 W	499 W	502 W	506 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	35.3 V	35.5 V	35.7 V	35.9 V	36.1 V	36.3 V	36.5 V
Opt. Operating Current (Imp)	13.72 A	13.74 A	13.76 A	13.79 A	13.83 A	13.85 A	13.88 A
Open Circuit Voltage (Voc)	42.3 V	42.5 V	42.7 V	42.9 V	43.1 V	43.3 V	43.5 V
Short Circuit Current (Isc)	14.80 A	14.83 A	14.86 A	14.89 A	14.93 A	14.96 A	14.99 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m² spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

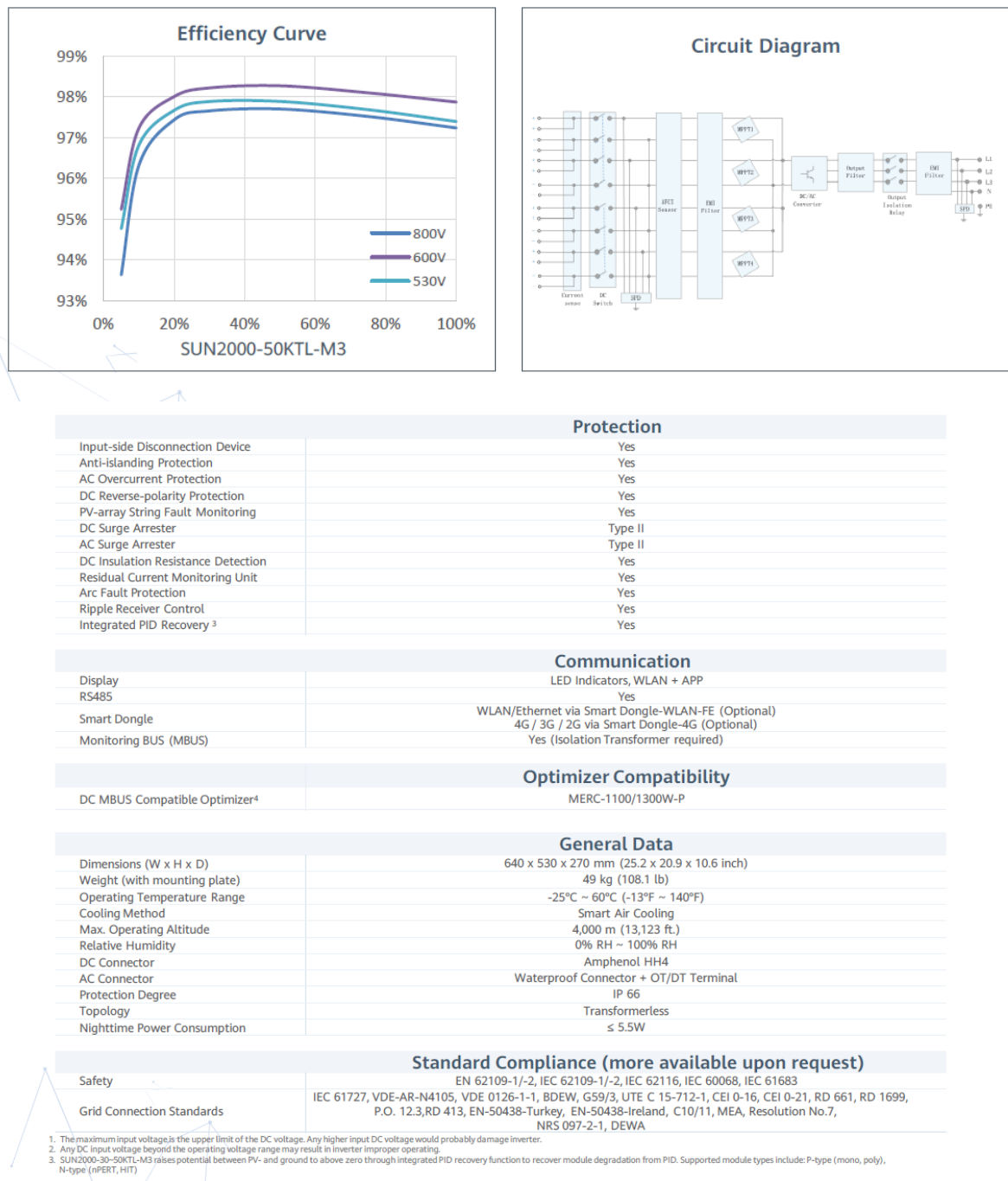
Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	132 [2 x (11 x 6)]
Dimensions	2384 x 1303 x 35 mm (93.9 x 51.3 x 1.38 in)
Weight	33.9 kg (74.7 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass with anti-ref-lective coating
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	360 mm (14.2 in) (+) / 200 mm (7.9 in) (-) or customized length*
Connector	T6 or T4 or MC4-EVO2 or MC4-EVO2A
Per Pallet	31 pieces
Per Container (40' HQ)	558 pieces

* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

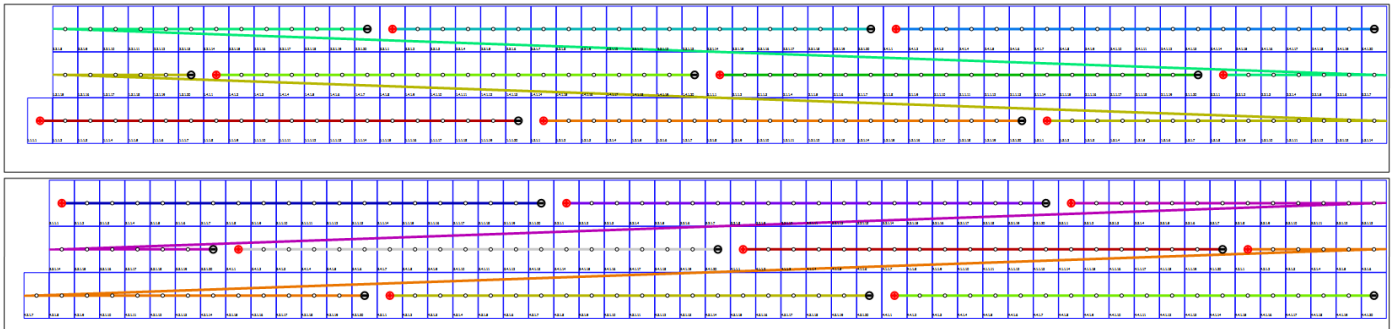
TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.34 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.26 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	41 ± 3°C

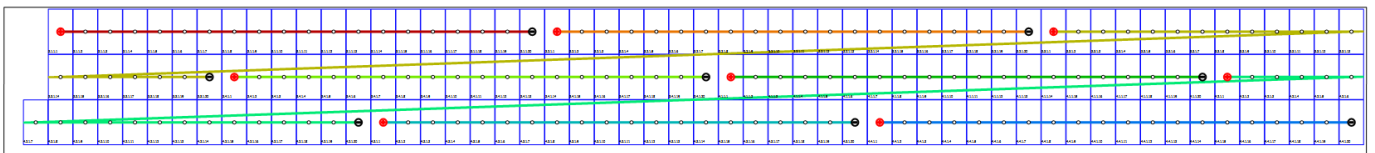
Anexo A. 8 - Características técnicas do painel Canadian Solar HiKu7-CS7N-MS



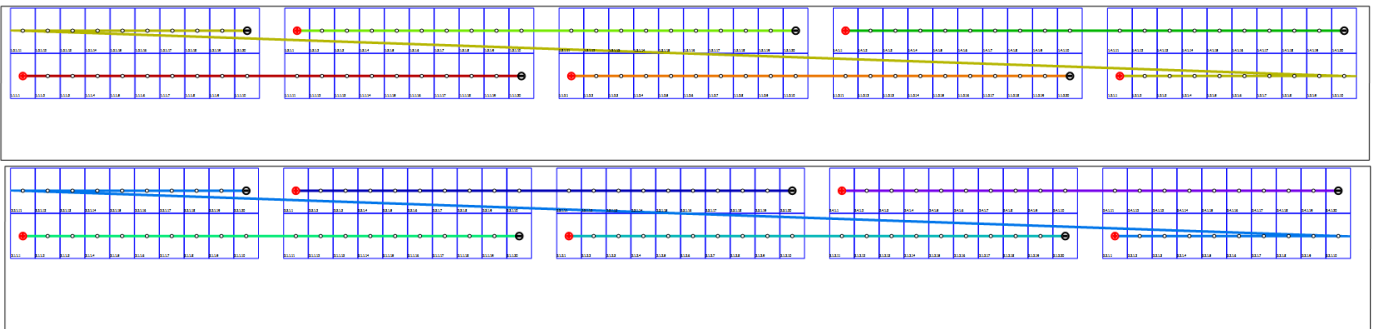
Anexo A. 9 - Características técnicas do inversor Huawei SUN2000-50KTL-M3



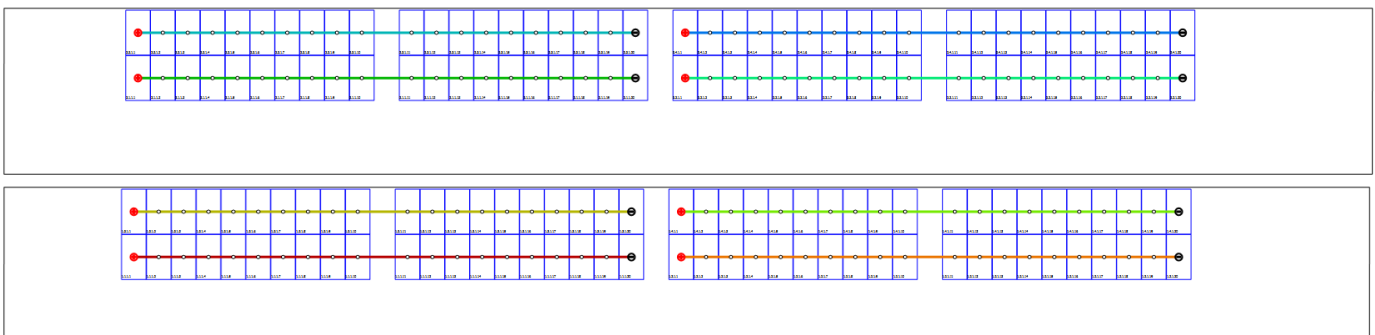
Anexo A. 10 - Ligações das *strings* do cenário 1



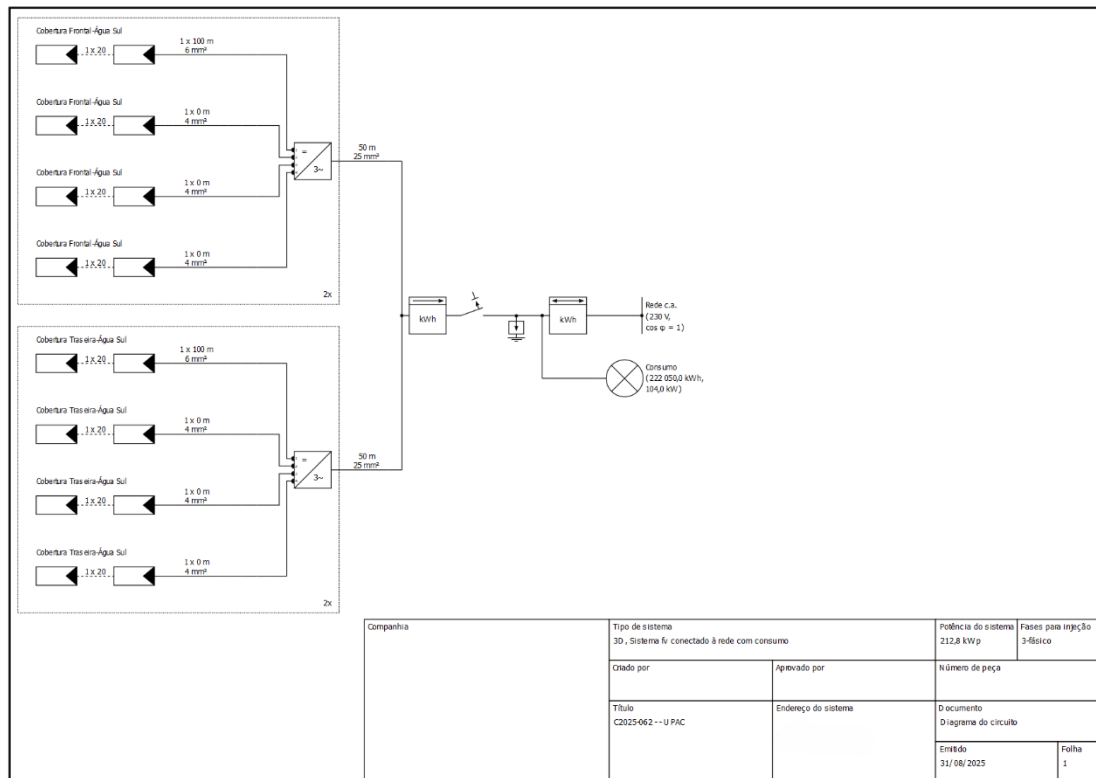
Anexo A. 11 - Ligações das *strings* do cenário 2



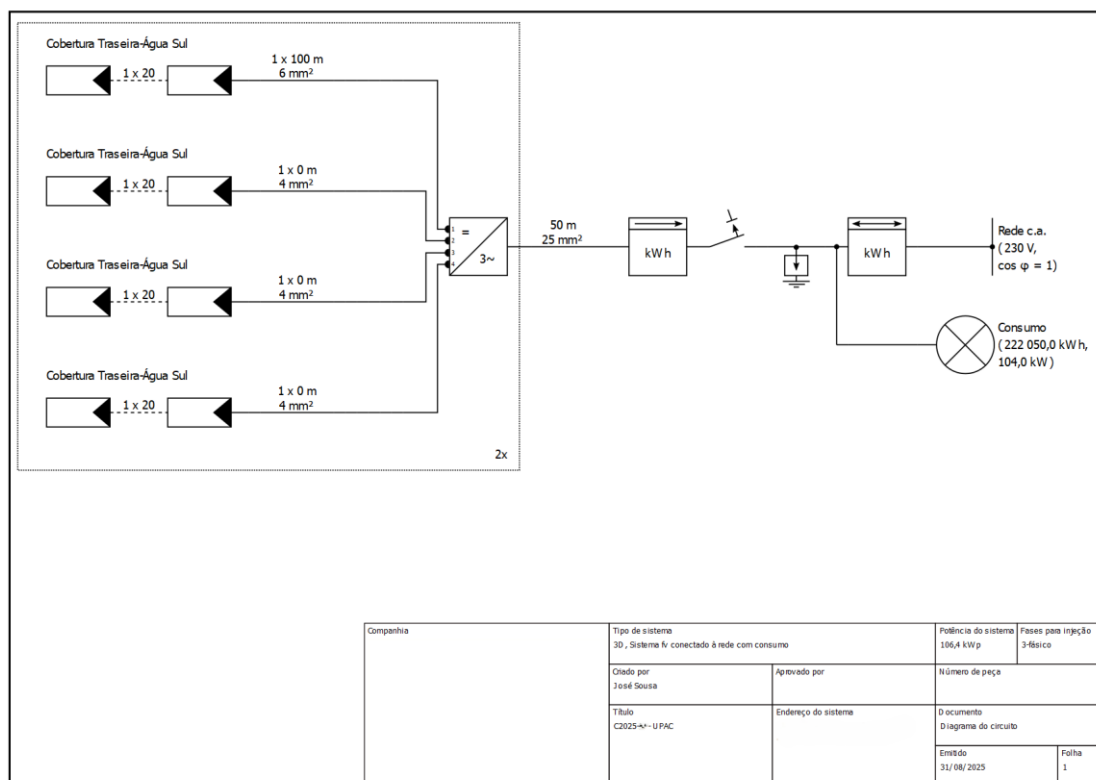
Anexo A. 13 - Ligações das *strings* do cenário 3



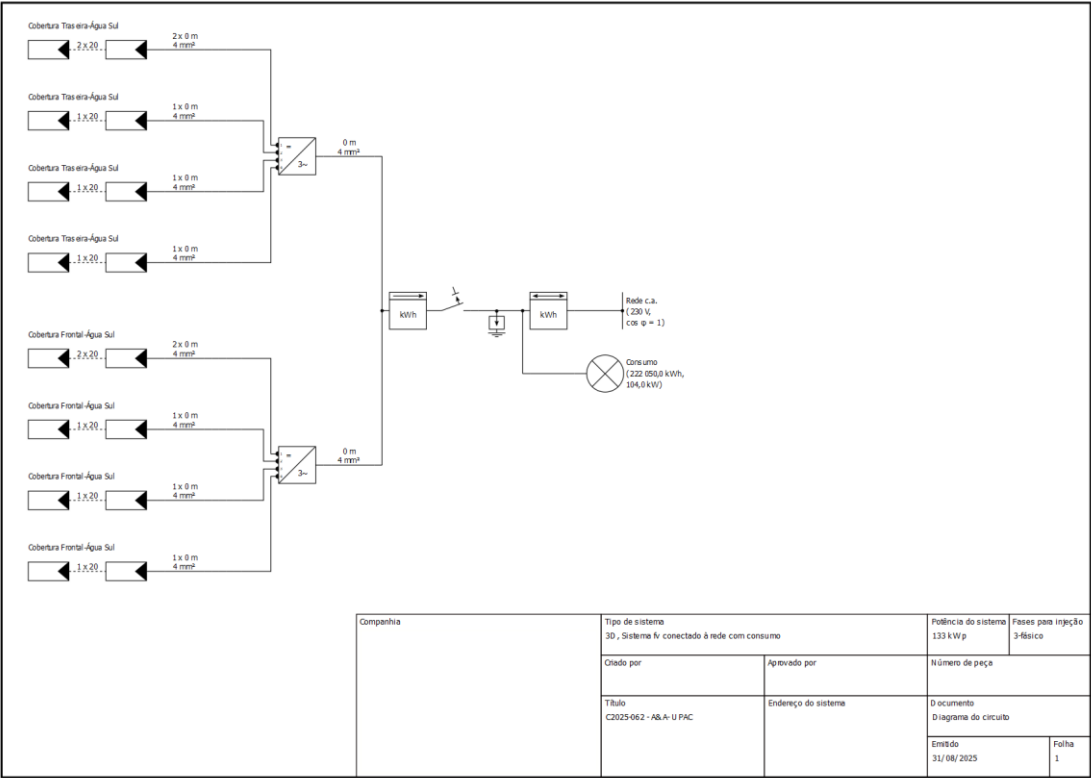
Anexo A. 12 - Ligações das *strings* do cenário 4



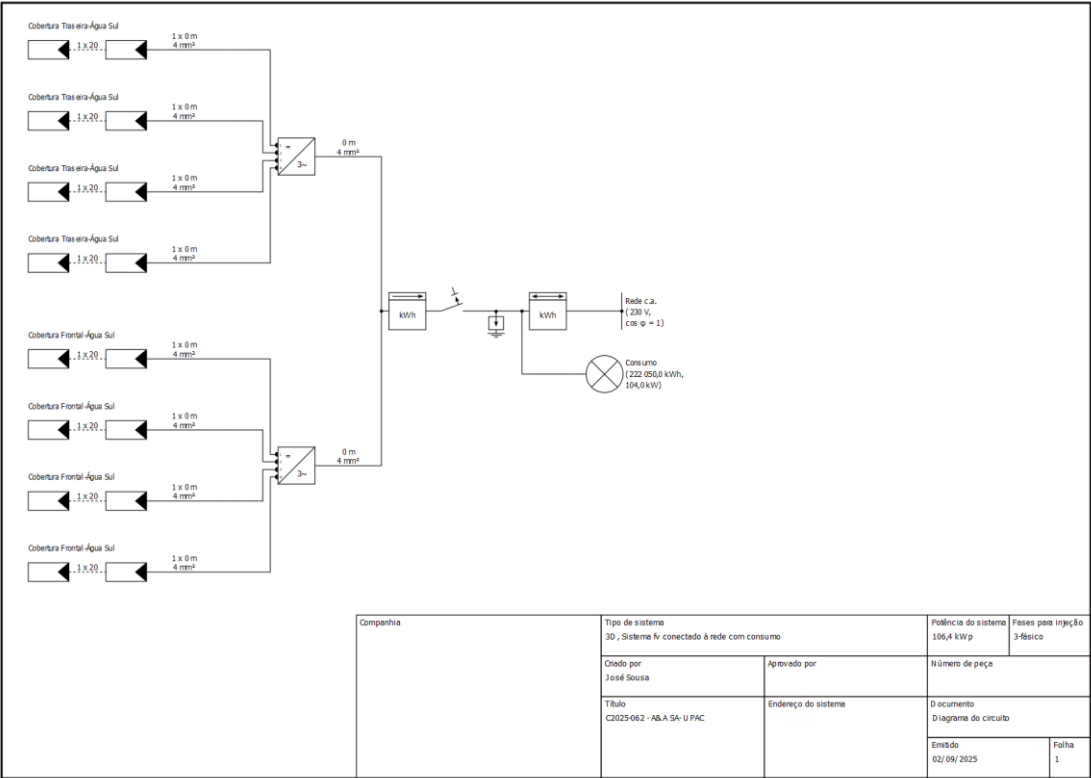
Anexo A. 14 - Diagrama elétrico da instalação do cenário 1



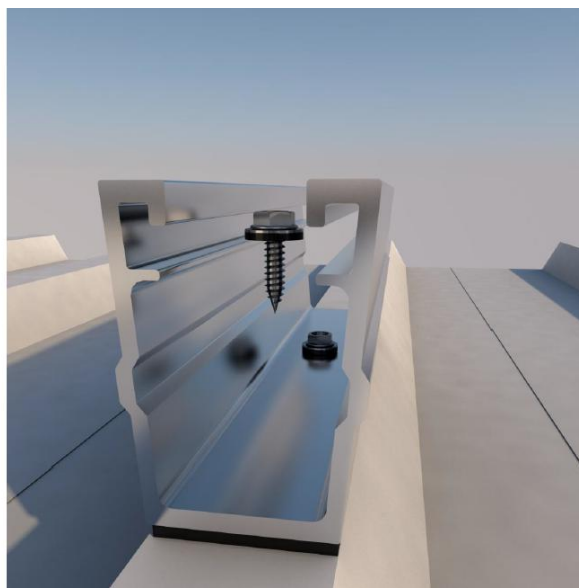
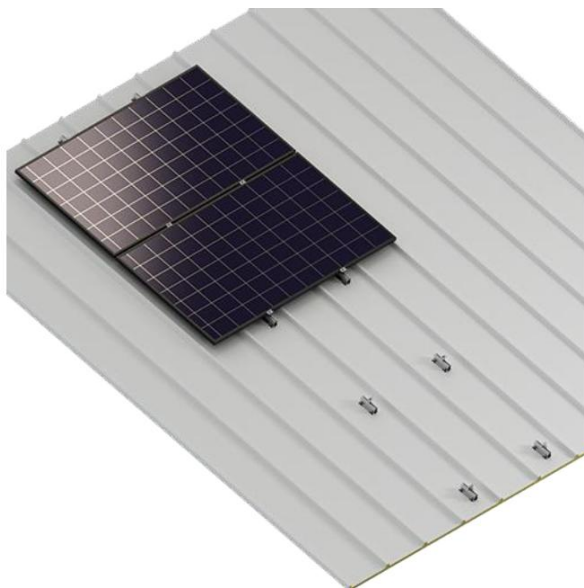
Anexo A. 15 - Diagrama elétrico da instalação do cenário 2



Anexo A. 16 - Diagrama elétrico da instalação do cenário 3



Anexo A. 17 - Diagrama elétrico da instalação do cenário 4



Anexo A. 18 - Exemplo de uma estrutura apresentada pela Energy Top