

Raquel Martins Pinto Miranda

Transição Energética: Gestão da Procura e Flexibilidade na Agricultura

Orientador: Prof. Marta Alexandra dos Reis Lopes

Coimbra, 2025

Raquel Martins Pinto Miranda

Transição Energética: Gestão da Procura e Flexibilidade na Agricultura

Relatório de estágio apresentado à Escola Superior Agrária de Coimbra para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental

Orientador: Prof. Marta Alexandra dos Reis Lopes

Coimbra, 2025

Este relatório de estágio foi desenvolvido com o apoio do Projeto AgriFlex - Flexibilidade do consumo de energia na agricultura para a transição energética (PRR-C05-i03-I-000214) que decorre na Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Coimbra (ESAC-IPC) e do Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores de Coimbra (INESC Coimbra) (10.54499/UIDB/00308/2020).

Agradecimentos

Gostaria de começar por expressar a minha profunda gratidão ao INESC Coimbra, entidade que acolheu este trabalho, e em particular ao Professor Doutor Humberto Jorge, à Professora Doutora Ana Soares e ao Professor Carlos Henggeler Antunes pelo apoio, disponibilidade e orientação ao longo deste percurso.

Agradeço também à Escola Superior Agrária de Coimbra (ESAC), nas pessoas do Professor Rui Amaro, Engenheiro Miguel Valério, Professora Cristina Galhano e Engenheira Helena Coimbra pela ajuda e contributo essencial para a concretização deste trabalho.

No AgroBioTech, um agradecimento muito especial à Engenheira Ana Neri e à Doutora Anabela Ramos por toda esta jornada e motivação que me deram, pelas horas de chá e por todas as perguntas que nunca ficaram sem resposta. O vosso acompanhamento tornou o trabalho e a aprendizagem muito mais fáceis. Muito obrigada por tudo. Ao Alexandre, novo parceiro do projeto AgriFlex, que partilha comigo o gosto pela biologia e que é uma pessoa incansável, obrigada pela companhia nesta jornada.

Um agradecimento muito especial à minha orientadora, Doutora Marta Lopes. Sem a sua orientação, esta dissertação não teria sido possível. Sei que houve momentos desafiantes, mas, em momento algum, deixou de se empenhar para que este projeto se tornasse realidade. Só tenho a agradecer por todos os ensinamentos, paciência, disponibilidade, motivação e pelas incontáveis horas dedicadas. Muito obrigada!

Aos meus colegas de mestrado, que me ensinaram tanto ao longo deste percurso, obrigada pelo companheirismo, pela partilha de conhecimento e pelo apoio constante.

Aos meus amigos, os mais incríveis, por todas as mensagens e chamadas que deixei para trás, prometo voltar a estar mais presente e a participar em todos os eventos. Obrigada por acreditarem em mim e por nunca me deixarem desistir.

Ao Gonçalo, presente que a vida me deu e que se tornou tanto... obrigada por me apoiares incondicionalmente, pelas videochamadas constantes e por nunca duidares de mim, nem por um segundo. Obrigada por tudo.

À minha família, que continua a apoiar-me e a dar-me liberdade para sonhar, mesmo quando isso se torna um desafio. Obrigada por nunca desistirem de mim e por me motivarem todos os dias a ser uma pessoa melhor e a lutar pelos meus ideais. Este trabalho também é vosso.

Aos meus pais, desculpem pelos meses sem ir a casa e pelas chamadas apressadas! Obrigada por tudo! Espero que fiquem sempre orgulhosos!

Resumo

A transição energética está no centro das políticas de descarbonização. A crescente produção energética através de fontes de energia renovável (FER), traz desafios derivados da sua variabilidade temporal. No entanto, a variabilidade da produção renovável coloca desafios à estabilidade da rede elétrica, exigindo maior flexibilidade no consumo, ou seja, a capacidade de ajustar, em tempo real, o consumo de energia elétrica à produção. O setor agrícola apresenta um elevado potencial para a oferta de serviços de flexibilidade, uma vez que utiliza equipamentos com elevado consumo, como motores de rega, sistemas de refrigeração e ventilação, que podem ser orientados de forma a otimizar o consumo sem comprometer a produtividade. Contudo, a adoção de estratégias para potenciar a flexibilidade no setor enfrenta barreiras como a ausência de automação, incentivos financeiros limitados, desafios regulamentares e uma reduzida literacia energética dos agricultores.

Este trabalho insere-se no Projeto AgriFlex, desenvolvido na Escola Superior Agrária de Coimbra do Instituto Politécnico de Coimbra que tem como objetivo avaliar, em condições reais, a capacidade da agricultura para fornecer serviços de flexibilidade através da monitorização e do controlo otimizado do consumo energético. Para tal, foram implementadas soluções agrovoltáicas em instalações piloto de produção de hortícolas e framboesas, combinando a instalação de painéis fotovoltaicos flexíveis em estufas e painéis bifaciais em estruturas rígidas. Além disso, foi realizada uma caracterização detalhada dos equipamentos elétricos da exploração, identificando os seus perfis de utilização, restrições e possibilidades de controlo. A metodologia incluiu também a monitorização contínua do consumo e produção de energia, seguindo uma abordagem *bottom-up* de envolvimento dos vários colaboradores para identificar as condicionantes produtivas, técnicas e operacionais.

Os resultados indicam que os equipamentos de maior consumo como motores e sistemas de rega, sistemas de refrigeração e motores de arejamento do tratamento de efluentes pecuários são os que apresentam maior potencial de flexibilidade, mas também um elevado consumo. A gestão inteligente destes equipamentos, tendo em conta fatores como a produção fotovoltaica, os preços da eletricidade e as necessidades agrícolas, poderá reduzir significativamente os custos operacionais, aumentar a autossuficiência energética das explorações e contribuir para a estabilidade da rede elétrica. Além disso, o projeto demonstrou que soluções tecnológicas e modelos de gestão eficientes podem ser aplicados sem comprometer a produtividade agrícola, tornando a flexibilidade energética uma ferramenta viável para melhorar a competitividade do setor.

Este estudo reforça a importância da inovação e do desenvolvimento tecnológico para a transição energética na agricultura, permitindo que os produtores agrícolas desempenhem um papel ativo na gestão da energia, reduzindo os seus custos e contribuindo para a sustentabilidade. O AgriFlex constitui-se como um laboratório de investigação, desenvolvimento e inovação, à escala real, de tecnologias relevantes para a transição energética na agricultura, proporcionando um espaço de capacitação para estudantes e investigadores, promovendo o desenvolvimento de competências aplicadas ao setor.

Palavras-chave: Transição energética; Flexibilidade; Gestão da resposta à procura; Agricultura

Abstract

The energy transition is a central element of decarbonization policies, and the increasing use of renewable energy sources (RES) introduces challenges due to its temporal variability. However, the variability of renewable production affects the stability of the electricity grid, necessitating greater flexibility in consumption, i.e. the capacity to adjust electricity consumption to production in real-time. The agricultural sector offers considerable potential for the provision of flexibility services, given its utilization of equipment with high consumption, such as irrigation motors, and cooling and ventilation systems. These systems can be configured to optimize consumption without compromising productivity. However, the adoption of strategies to enhance flexibility in the agricultural sector is impeded by several barriers, including the absence of automation, limited financial incentives, regulatory challenges, and inadequate energy literacy among farmers.

This work constitutes a component of the AgriFlex Project, which was developed at the Escola Superior Agrária de Coimbra of Instituto Politécnico de Coimbra. The overarching objective of the AgriFlex Project is to assess the capacity of agriculture to provide flexible services through the monitoring and optimized control of energy consumption. To this end, agrivoltaics solutions were implemented in pilot vegetable and raspberry production facilities, combining the installation of flexible photovoltaic panels in greenhouses and bifacial panels on rigid structures. Furthermore, a comprehensive characterization of the farm's electrical apparatus was conducted, encompassing the identification of its utilization profiles, constraints, and control capabilities. The methodology encompassed continuous monitoring of energy consumption and generation, employing a bottom-up approach that engaged various employees to ascertain production, technical, and operational constraints.

The results indicate that equipment with the highest energy consumption, such as irrigation motors and systems, refrigeration systems, and livestock effluent treatment aeration motors, demonstrate the greatest potential for flexibility, yet concurrently exhibit substantial energy expenditure. The intelligent management of such equipment, considering factors including photovoltaic production, electricity prices, and agricultural requirements, can markedly reduce operating costs, enhance the energy self-sufficiency of farms, and contribute to the electricity grid's stability. Furthermore, the project demonstrated that technological solutions and efficient management models can be applied without compromising agricultural productivity, thus substantiating energy flexibility as a viable tool for enhancing the sector's competitiveness.

This study underscores the crucial role of innovation and technological advancement in facilitating the energy transition within the agricultural sector. It highlights the potential for farmers to assume an active role in energy management, thereby reducing their expenses and contributing to sustainability objectives. AgriFlex, a comprehensive research, development, and innovation laboratory, focuses on technologies pertinent to the energy transition in agriculture. It functions as a training facility for students and researchers, fostering the development of relevant skills in the sector.

Keywords: Energy transition; Flexibility; Demand response management; Agriculture

Índice

Lista de Abreviaturas e Siglas	ix
Lista de Equações	xi
Lista de Figuras.....	xii
Lista de Quadros	xv
Lista de Tabelas.....	xvi
1. Introdução.....	1
1.1 Produção de energia renovável descentralizada	3
1.2 Transição energética e gestão pelo lado da procura	5
1.2.1 Métricas de quantificação da flexibilidade	11
1.2.2 Pilotos de flexibilidade em Portugal	14
1.3 Enquadramento legal.....	16
1.4 Transição energética na agricultura	20
1.4.1 Sistemas agrovoltaicos.....	23
1.4.2 Gestão pelo lado da procura na agricultura	28
1.5 Objetivos e estrutura do Relatório de Estágio	29
2. Caso de Estudo: AgroBioTech - Centro de Inovação e Produção em Agricultura Sustentável da ESAC-IPC e o projeto AgriFlex	31
3. Métodos e Materiais.....	37
3.1 Estudo exploratório.....	37
3.2 Avaliação da flexibilidade em explorações agrícolas	38
4. Resultados e Discussão	43
4.1 Estudo exploratório sobre transição energética na agricultura.....	43
4.2 Gestão integrada de recursos energéticos no centro AgroBioTech.....	47
4.2.1 Caracterização do consumo de energia	48
4.2.2 Recursos energéticos: produção e armazenamento.....	54
4.2.3 Avaliação de recursos disponíveis para flexibilidade	57
4.3 Eficiência energética em PME agrícolas.....	63
4.3.1 Caracterização dos equipamentos e consumo energético	64
4.3.2 Perfil de consumo e diagramas de carga	66

4.3.3 Medidas de melhoria propostas	68
5. Conclusões	70
Apêndices.....	77
A1. Glossário	79
A2. Esquema dos fluxos de energia elétrica e água.....	83
A3. Listagem de equipamentos caracterizadores da exploração AgroBioTech	84
A4. Inquéritos “Estudo exploratório sobre a transição na agricultura em Portugal”	85
A5. Quadro resumo da caracterização da utilização de cargas e possibilidades de controlo	91

Lista de Abreviaturas e Siglas

ACC - Autoconsumo coletivo

AgroBioTech - Centro de Inovação e Produção em Agricultura Sustentável da ESAC

BTE - Baixa Tensão Especial

BTN - Baixa Tensão Normal

CAPEX - *Capital Expenditure*

CE - Comissão Europeia

CER - Comunidades de Energia Renovável

CO₂ - Dióxido de Carbono

CPE – Código de Ponto de Entrega

CPP - *Critical Peak Pricing* / Preço de ponta crítica

DB - *Demand Bidding* / Licitação da procura

DC - Diagramas de Carga

DLC – *Direct load control* / Controlo direto de cargas

DR – *Demand Response* / Resposta à procura

DRA - Agregadores de resposta à procura

DRE - *Dispatchable Renewable Energy* / Fontes de energias renováveis despacháveis

DRPs - *Demand Response Programs* / Programas de resposta à procura

DSF - *Demand Side Flexibility* / Flexibilidade pelo lado da procura

DSM - *Demand Side Management* / Gestão da procura

ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos;

ESAC – Escola Superior Agrária de Coimbra

EU - União Europeia

FER - Fontes de energia renováveis

FF - *Flexibility Factor* / Fator de flexibilidade

GEE - Gases com efeitos de estufa

IES - Instituição de Ensino Superior

IU - Instalações de utilização

OPEX - *Operational Expenditure*

ORD - Operadores de rede de distribuição

PAC - Política Agrícola Comum

PEE - Pacto Ecológico Europeu

PNEC - Plano Nacional de Energia e Clima

PPEC - Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia

RAC - Regulamento do autoconsumo de energia elétrica

RCPSF - Regulamento de concursos para a prestação de serviços de flexibilidade

RTP - *Real-Time Pricing* / Preço em tempo real

SC - *Self-Consumption* / Autoconsumo

SEN - Sistema Elétrico Nacional

SS - *Self-Sufficiency* / Autossuficiência

ToU - *Time-of-use* / Tarifa por período de utilização

UPAC - Unidades de Produção para Autoconsumo

ΔP - Pico da potência

$\Delta P\%$ - Percentagem de pico de potência

Lista de Equações

<i>Equação 1 - Autoconsumo (SC). Avaliação da razão entre o consumo de energia local proveniente da produção de energia local e a produção total local (Asgari et al., 2025).</i>	13
<i>Equação 2 - Autossuficiência (SS). Razão da diferença entre a energia produzida pelo sistema fotovoltaico e a energia enviada para a rede pelo consumo de carga (Asgari et al., 2025).</i>	13
<i>Equação 3 - Autoconsumo (SC). Razão entre a energia produzida localmente que é diretamente consumida e a energia total produzida no local (Li et al., 2021).</i>	13
<i>Equação 4 - Autossuficiência (SS). Razão entre a produção local consumida diretamente e a procura diária (Li et al., 2021).</i>	13
<i>Equação 5 - Métrica Autossuficiência definida para o caso de estudo.</i>	62
<i>Equação 6 - Métrica Autoconsumo definida para o caso de estudo.</i>	62

Lista de Figuras

Figura 1 - Emissões totais de GEE, por país da UE para o ano de 2023 (EDGAR, 2023).	1
Figura 2 - Emissões mundiais de GEE, por setor de atividade, de 1990 a 2021 (Climate watch, 2024).	2
Figura 3 - Emissão de GEE, por setor em Portugal, de 1990 a 2021 (Climate watch, 2024).....	3
Figura 4 - Produção descentralizada em Portugal de 2018 a 2025 (GWh) (DGEG, 2025).	4
Figura 5 – Capacidade instalada em autoconsumo em Portugal de 2018 a 2025 (MW) (DGEG, 2025).	4
Figura 6 - Períodos de flexibilidade: flexibilidade diária (a), flexibilidade semanal (b) e flexibilidade sazonal (c) (adaptado de ACER-EEA,2023).....	6
Figura 7 - Necessidade de flexibilidade diária, semanal e sazonal em 2021 e 2030 no espaço Europeu (adaptado de ACER-EEA,2023).....	6
Figura 8 - Soluções de flexibilidade do sistema energético (adaptado de ACER-EEA, 2023; Degefa et al., 2021; D’Ettorre et al., 2022).....	7
Figura 9 - Categorias de gestão do lado da procura (DSM) (Gellings & Chamberlin, 1993).....	8
Figura 10 - Classificação das características dos recursos de flexibilidade (adaptado Degefa et al., 2021).	8
Figura 11 - Classificação dos recursos de flexibilidade e respetivos facilitadores (adaptado de Sæle et al., 2023).	9
Figura 12 - Classificação de programas de resposta à procura (adaptado de Kanakadhurga & Prabakaran, 2022).....	10
Figura 13 - Desafios da implementação da flexibilidade no sistema elétrico (adaptado de ACER-EEA, 2023; D’Ettorre et al., 2022; Sæle et al., 2023).....	10
Figura 14 - Métricas de flexibilidade: a) métodos de quantificação, (b) resolução temporal e (c) algoritmos de otimização (Li et al., 2021).....	11
Figura 15 – Previsão do impacto da produção descentralizada na rede elétrica nacional (E-REDES, 2024).	14
Figura 16 – Distribuição geográfica das oportunidades de flexibilidade do projeto FIRMe (E-REDES, 2024).	15
Figura 17 - Proporção do consumo direto de energia da agricultura e silvicultura no consumo total, em %, 2022 (Eurostat,2024).....	21
Figura 18 - Proporção do consumo de combustíveis pela agricultura e silvicultura, em %, 2022 (Eurostat, 2024).....	21

Figura 19 - Esquema das categorias e formas de utilização do solo de agrovoltáicos de acordo com a norma alemã (Trommsdorff, M., et al. 2022).....	23
Figura 20 - Classificação de sistemas agrovoltáicos (adaptado de Trommsdorff, M., et al. 2022).	24
Figura 21 - Barreiras à implementação de soluções de flexibilidade no setor agrícola (adaptado de Aghajanzadeh & Therkelsen, 2019).	29
Figura 22 - Centro de Inovação e Produção em Agricultura Sustentável da ESAC-IPC (AgroBioTech).	31
Figura 23 - Calendarização das atividades no AgroBioTech.	32
Figura 24 - Períodos horários do ciclo diário em vigor em Portugal continental (ERSE).	33
Figura 25 – Tecnologias de produção de energia fotovoltaica no AgroBioTech.	34
Figura 26 – Esquema ilustrativo da rede elétrica no AgroBioTech.	34
Figura 27 - Atividades desenvolvidas no âmbito do projeto AgriFlex (https://agriflex.webnode.pt/).	35
Figura 28 - Pilotos agrovoltáicos em estufa e produção de framboesas.	36
Figura 29 – Dimensões da transição energética estudadas nos inquéritos realizados aos produtores agrícolas (Inquérito 1) e entidades representativas da atividade agrícola (Inquérito 2).....	38
Figura 30 - Etapas da auditoria energética (ADENE, 2019).....	39
Figura 31 – Interface da plataforma Solarweb® (Fronius).	40
Figura 32 - Interface da plataforma FoxCloud2.0®	40
Figura 33 – a) Registador de energia trifásico Fluke 1738 (https://www.fluke.com/pt-pt) e b) Medição in loco com registador Fluke 1738.	41
Figura 34 – a) Registador de dados de tensão (EASYLOG EL-USB-5) e b) e) Registador de temperatura (EASYLOG EL-USB-2-LCD).	41
Figura 35 - Inquérito 1: Caracterização socioeconómica dos inquiridos.	43
Figura 36 - Inquérito 1: Peso da eletricidade nas despesas mensais e utilizações intensivas de energia.	44
Figura 37 – Inquérito 1: Motivações e barreiras para a adoção de medidas de transição energética.	44
Figura 38 - Inquérito 2: Caracterização das instituições inquiridas.	45
Figura 39 - Inquérito 2: Consultoria e apoio especializado prestado às explorações agrícolas e principais barreiras identificadas.	46
Figura 40 - Gestão integrada de recursos energéticos no AgroBioTech.	47
Figura 41 - Evolução do consumo anual no AgroBioTech.	48

Figura 42 – Evolução mensal do consumo ao longo dos anos de 2022 a 2024 no AgroBioTech.....	49
Figura 43 – Despesa anual no período de 2022 a 2024 no AgroBioTech.	49
Figura 44 - Evolução do consumo de energia ativa nos diferentes períodos horários no ano de 2022.	50
Figura 45 - Diagrama de carga de 2022.	51
Figura 46 - Diagrama de carga de 2023.	51
Figura 47 - Diagrama de carga de 2024.	52
Figura 48 - Detecção de picos de tensão no AgroBioTech através do Fluke 1738.....	53
Figura 49 - Detecção de picos de potência no AgroBioTech através do Fluke 1738.	53
Figura 50 - Evolução da produção fotovoltaica para autoconsumo anual no AgroBioTech.	54
Figura 51 – Evolução mensal da produção fotovoltaica total para autoconsumo, de 2022 a 2024 no AgroBioTech.	55
Figura 52 - Produção fotovoltaica em autoconsumo para o ano de 2024.....	56
Figura 53 – Consumo e produção de energia fotovoltaica para autoconsumo em 2023 e 2024.....	57
Figura 54 - Produção fotovoltaica para autoconsumo do sistema Fronius, a 31 de maio de 2024.....	57
Figura 55 - Diagrama de carga da eletrobomba das pastagens (15 min).	59
Figura 56 - Diagrama de carga do conjunto do pivot (15 min).	59
Figura 57 - Diagrama de carga da câmara frigorífica (15 min).....	59
Figura 58 - Diagrama de carga da máquina de lavar e secar roupa (15 min).	60
Figura 59 - Diagrama de carga da bomba horta biológica (15 min).....	60
Figura 60 - PME1: Consumo mensal de eletricidade (kWh/mês).	63
Figura 61 - PME2: Consumo mensal de eletricidade (kWh/mês).	64
Figura 62 – PM1: Diagrama de carga no período de pico de produção (1 a 15 de julho) (kW/15min).	66
Figura 63 – PME2: Diagrama de carga no período de pico de produção (1 a 17 de julho) (kW/15min).	66
Figura 64 – PME1: Diagrama de carga interpretado (11-15/07/2024).	67
Figura 65 – PME2: Diagrama de carga interpretado (17-24/07/2024).	67
Figura 66 – PME1: Diagrama de carga do sistema de fertirrigação interpretado (11-15/07/2024). ...	67
Figura 67 – PME2: Diagrama de carga do sistema de fertirrigação interpretado (17-24/07/2024). ...	68

Lista de Quadros

Quadro 1 - Quadro resumo de métricas de flexibilidade (Li et al., 2021).	12
Quadro 2 - Serviços de flexibilidade disponíveis, definidos pelo Regulamento de contrato de serviços de flexibilidade.....	16
Quadro 3 - Principais diplomas legais da legislação portuguesa em matéria de autoconsumo e flexibilidade.....	18
Quadro 4 – Usos de energia e intensidade de procura de energia por tipo de exploração agrícola (adaptado de FAO, 2011; Loureiro et al., 2019).....	22
Quadro 5 - Quadro resumo das definições legais de sistemas agrovoltáticos e os principais requisitos de alguns Estados-Membros da UE (Adaptado de Chatzipanagi et al., 2023).....	25
Quadro 6 - Vantagens e desvantagens de um sistema agrovoltático (Agostini et al., 2021; Hernandez et al., 2019; Hassanien et al., 2016; Proctor et al., 2021; Touil et al., 2021).	27
Quadro 7 - Caracterização do tipo de produção existente no AgroBioTech.....	32
Quadro 8 - Contratualização de energia elétrica do AgroBioTech.....	32
Quadro 9- Caracterização das tecnologias de produção e armazenamento de energia no AgroBioTech.	33
Quadro 10 – Tipologia de dados recolhidos durante as auditorias energéticas.....	42
Quadro 11 - Quadro resumo da avaliação do potencial de flexibilidade das cargas escolhidas.	58
Quadro 12 - Desafios à flexibilidade identificados no centro AgroBioTech.....	61
Quadro 13 - Medidas de melhoria identificadas no centro AgroBioTech.....	62
Quadro 14 – Características do fornecimento de eletricidade nas PME1 e PME2.....	63
Quadro 15 - Quadro resumo das características das principais cargas das PMEs agrícolas.....	65

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Preço unitário da energia ativa nos diferentes períodos horários.....50

Tabela 2 – Estimativa do peso das diferentes cargas no consumo semanal do AgroBioTech.52

1. Introdução

As alterações climáticas representam um dos maiores desafios globais do século XXI, com impactos cada vez mais evidentes na sociedade. O aumento da intensidade e frequência de eventos climáticos têm levado a consequências devastadoras nos ecossistemas, nas condições de vida das populações e até mesmo na economia global (Parlamento Europeu, 2023).

Em 2023, a União Europeia (UE) figura como o quarto maior emissor de gases com efeitos de estufa (GEE) a nível mundial, permanecendo atrás de países como a China, Estados Unidos da América e Índia (Parlamento Europeu, 2024). Na UE os níveis de emissões de GEE variam significativamente entre os Estados-Membros. Na liderança encontra-se a Alemanha com 682 MtCO_{2e}, seguida da França, Itália e Polónia. Por outro lado, países como Malta, com apenas 2 MtCO_{2e}, assim como o Luxemburgo, Chipre e Letónia exibem os níveis mais baixos de emissões de GEE. Estes dados evidenciam a assimetria entre os diversos Estados-Membros, destacando-se a necessidade de um compromisso conjunto, no entanto, proporcional, que permita que cada país contribua de forma equilibrada para a diminuição da emissão dos GEE (EDGAR, 2023) (Figura 1). A nível mundial, a eletricidade e aquecimento são os principais emissores de GEE, sendo responsáveis por 16,3 BtCO_{2e} (Figura 2).

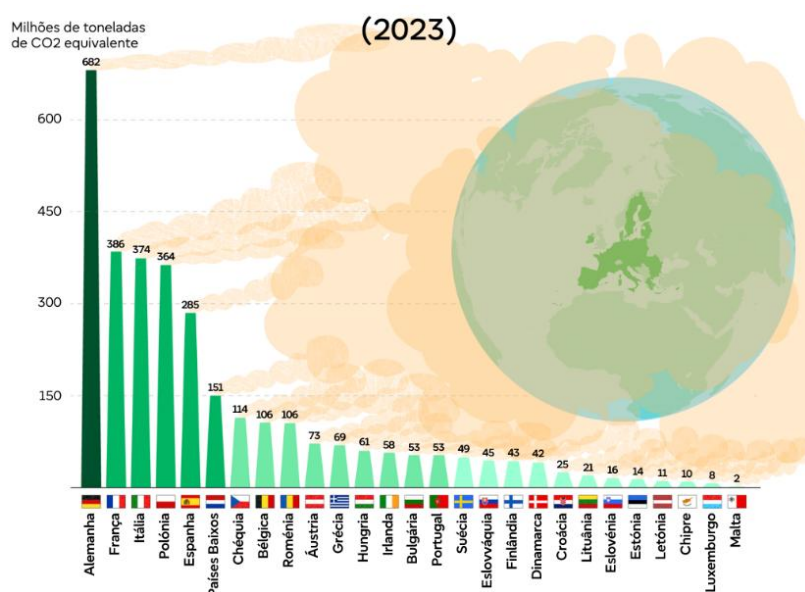


Figura 1 - Emissões totais de GEE, por país da UE para o ano de 2023 (EDGAR, 2023).

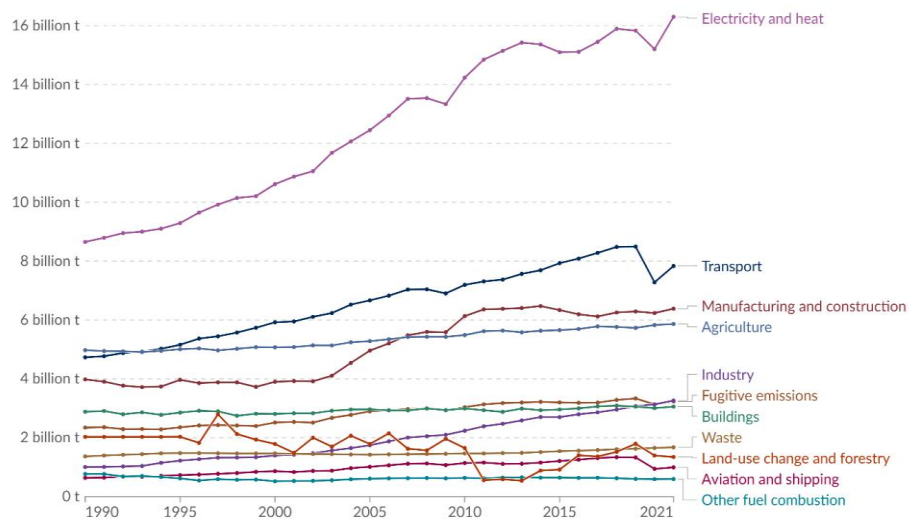


Figura 2 - Emissões mundiais de GEE, por setor de atividade, de 1990 a 2021 (Climate watch, 2024).

Em 2019, no âmbito do Acordo de Paris, a UE comprometeu-se a limitar o aumento da temperatura global a um máximo de +1,5°C em comparação com os níveis pré-industriais até ao final do século, mobilizando esforços globais para combater as alterações climáticas. Todos os países signatários comprometeram-se a apresentar planos de ação para a redução das emissões de GEE (Nações Unidas, 2015). Para alcançar esta meta, a UE lançou o Pacto Ecológico Europeu (PEE), cujo objetivo é alcançar a neutralidade carbónica até 2050, promovendo uma economia mais sustentável e descarbonizada. O PEE estipula, ainda, metas intermédias para atingir até 2030 como a redução de 55% dos GEE em relação aos níveis de 1990 e o aumento da participação de fontes de energia renováveis (FER). O PEE inclui um conjunto de medidas ambiciosas em várias áreas, como a energia, transportes, indústria, agricultura, entre outras (Comissão Europeia, 2019).

Em Portugal, o setor dos transportes representa o maior peso nas emissões de GEE, totalizando 15,84 MtCO_{2e}, seguido da eletricidade e aquecimento, com 10,23 MtCO_{2e}, e do setor agrícola com 6,99 MtCO_{2e} (Climate watch, 2024) (Figura 3).

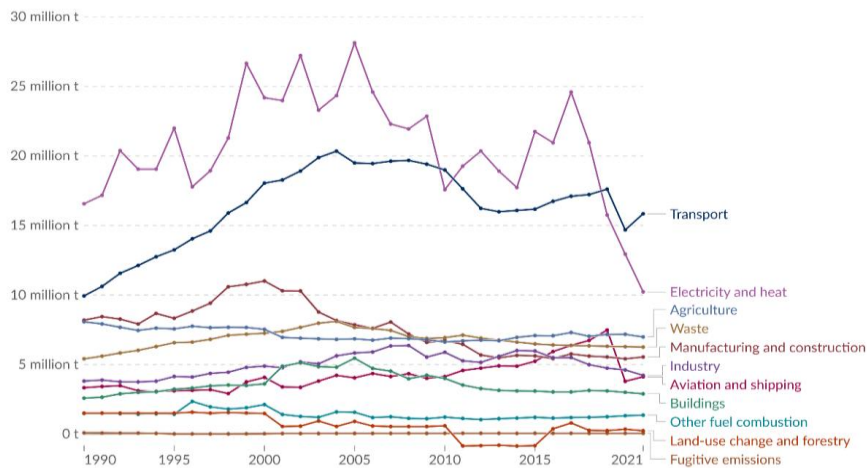


Figura 3 - Emissão de GEE, por setor em Portugal, de 1990 a 2021 (Climate watch, 2024).

A descarbonização do setor energético implica a eliminação progressiva de combustíveis fósseis para uma maior contribuição de FER, assim como a melhoria da eficiência energética, a garantia de fornecimento de energia de forma segura e fiável e a preços acessíveis para os consumidores (Carreiro et al., 2024; Neofytou et al., 2020; Widuto, 2023, 2024).

Em resposta à crise energética e às agitações do mercado mundial de energia originadas pelo conflito na Ucrânia iniciado em 2022, a Comissão Europeia (CE) integrou nos seus eixos estratégicos a necessidade de acelerar a transição energética e diversificar as fontes de abastecimento, como forma de eliminar a importação de combustíveis fósseis provenientes da Rússia, implementando o plano REPowerEU (Comissão Europeia, 2022). No âmbito deste plano, a UE antecipou as metas para o alargamento das FER no consumo energético: até 2030, a quota de energias renováveis foi elevada para 42,5% (Comissão Europeia, 2022). No entanto, para atingir os objetivos da transição climática é necessária a modernização da rede elétrica, tornando-a capaz de integrar a produção de energia a partir de FER. Para enfrentar esta nova realidade, é essencial a existência de soluções de flexibilidade para assegurar a correspondência entre a procura e a oferta de eletricidade em diferentes horizontes temporais, que sejam capazes de estabilizar a rede elétrica e fazer face a uma nova procura (Diretiva (UE) 2024/1711).

1.1 Produção de energia renovável descentralizada

A redução dos custos de instalação de unidades de produção renovável, sobretudo do tipo solar fotovoltaico, veio consolidar-se como uma solução importante no contexto da transição energética e viabilizar a produção de energia elétrica a partir das FER para consumo próprio (autoconsumo) (Apolinário et al., 2019). Esta oportunidade veio reforçar o papel do consumidor como agente ativo no mercado de energia (autoconsumidor) e impulsionado as Comunidades de Energia Renovável (CER) ou outras formas de autoconsumo coletivo (Apolinário et al., 2019).

O autoconsumo de energia em Portugal tem crescido significativamente nos últimos anos, com destaque para as Unidades de Produção para Autoconsumo (UPAC). Em 2018, a produção total de UPAC foi de 436 GWh, atingindo 2 980 GWh em janeiro de 2025 (Figura 4). Esse aumento acentuou-se a partir de 2021, incentivado por políticas públicas e pela redução dos custos de tecnologias como painéis solares fotovoltaicos (Apolinário et al., 2019). A partir de 2022, observa-se um crescimento acentuado desta tecnologia, com a potência instalada descentralizada a aumentar de 1 195 MW para mais de 2 600 MW em janeiro de 2025 (Figura 5). Com este crescimento, torna-se essencial adaptar os padrões de consumo à nova realidade da produção renovável (DGEG, 2025).

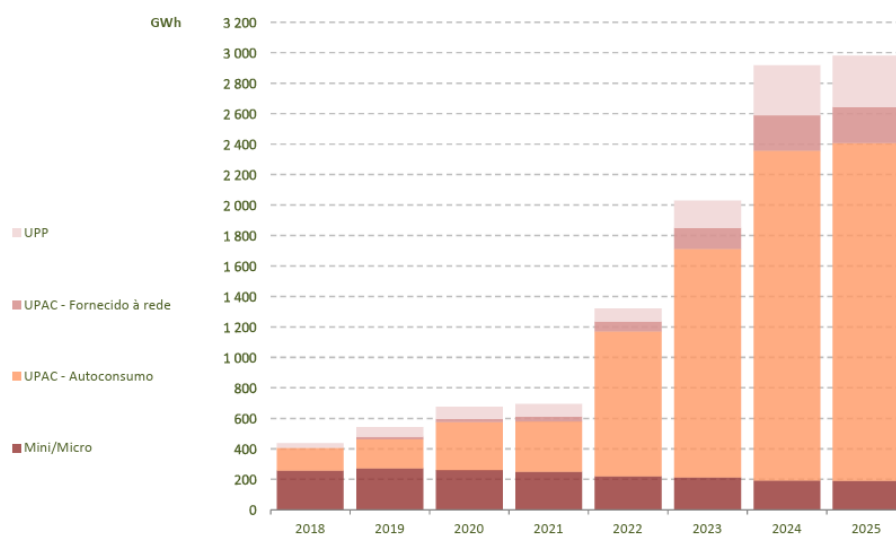


Figura 4 - Produção descentralizada em Portugal de 2018 a 2025 (GWh) (DGEG, 2025).

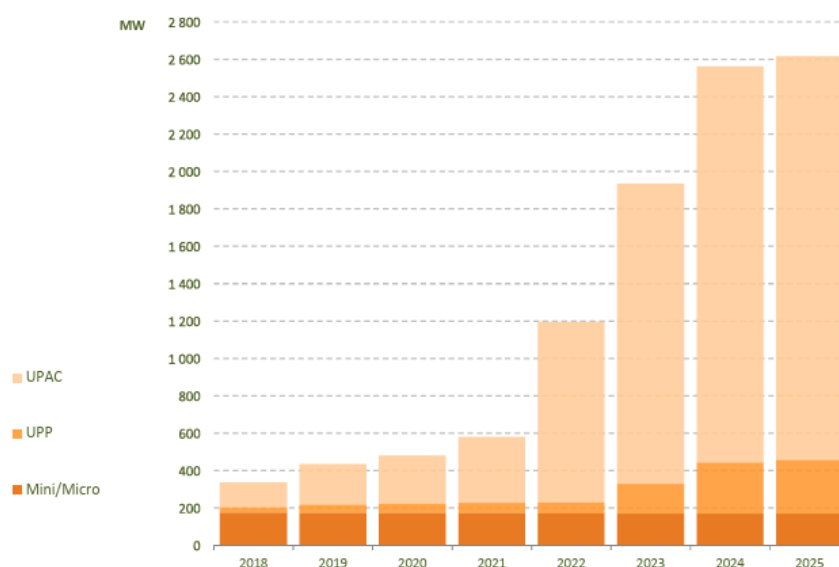


Figura 5 – Capacidade instalada em autoconsumo em Portugal de 2018 a 2025 (MW) (DGEG, 2025).

Entende-se por autoconsumo, o consumo elétrico assegurado por uma ou mais Unidades de Produção para Autoconsumo (UPAC)¹, em que o consumidor final produz a sua própria energia elétrica, nas suas instalações, através de fontes renováveis. O autoconsumidor pode armazenar ou vender a sua energia nos mercados de eletricidade, obtendo desse modo um rendimento adicional (ADENE e DGEG, 2022). Para muitos setores, o autoconsumo pode ser uma grande oportunidade, uma vez que permite produzir energia renovável para consumo próprio, diminuindo a dependência

¹ As instalações que geram eletricidade para autoconsumo são denominadas Unidades de Produção para Autoconsumo (UPAC) (ADENE e DGEG, 2022; Decreto-Lei nº 15/2022).

energética da rede e a fatura energética. A nova modalidade de autoconsumo coletivo (ACC) possibilita a partilha de energia para duas ou mais Instalações de Utilização (IU) (associadas a mais do que um Código do Ponto de Entrega - CPE), quando estas se encontram numa vizinhança próxima da UPAC, o que abre ainda mais possibilidades. As CER e o ACC permitem produzir, consumir, armazenar, comprar e vender energia renovável, partilhar a energia produzida por UPAC entre os seus membros e aceder a todos os mercados de energia, incluindo serviços de sistema, tanto diretamente como através de agregação (ADENE e DGEG, 2022).

Os projetos de autoconsumo, com recurso a energias renováveis, são uma forma eficaz de reduzir os custos de energia, em particular devido aos picos de consumo das explorações em horas de ponta (Apolinário et al., 2019). O controlo dos excedentes injetados na rede é igualmente pertinente, uma vez que os consumidores podem vender a energia que não consomem diretamente, criando-lhes um rendimento adicional.

1.2 Transição energética e gestão pelo lado da procura

À medida que a produção de energia renovável aumenta, a sua integração na rede elétrica torna-se um desafio crítico. A variabilidade da produção e incerteza associadas às FER levanta desafios à gestão da rede. Esta mudança exige a garantia de uma maior flexibilidade do sistema elétrico, ou seja, a capacidade de ajustar o consumo de energia elétrica à produção em tempo real (D’Ettorre et al., 2022; EU, 2023). A necessidade de garantir a disponibilidade de recursos e soluções de flexibilidade para assegurar a correspondência entre a procura e a oferta de eletricidade em diferentes horizontes temporais, torna-se um elemento central na transição para um sistema energético mais sustentável. É necessário considerar diferentes períodos de flexibilidade em que ocorrem estas flutuações:

- a) flexibilidade diária, que permite ajustar a oferta e a procura ao longo do dia, relacionada com os picos de procura da manhã e da noite e com a variação da produção solar;
- b) flexibilidade semanal, que equilibra as variações em períodos mais longos, que inclui as diferenças entre dias úteis e fim de semana, bem como as flutuações do vento;
- c) flexibilidade sazonal, determinada pelos períodos de aquecimento e arrefecimento e pelas variações meteorológicas sazonais (Figura 6) (ACER-EEA, 2023).



Figura 6 - Períodos de flexibilidade: flexibilidade diária (a), flexibilidade semanal (b) e flexibilidade sazonal (c) (adaptado de ACER-EEA,2023).

A necessidade de flexibilidade no sistema elétrico europeu mais do que duplicará até 2030: a procura diária aumentará 2,4 vezes; a semanal 1,8 vezes; e a anual 1,3 vezes face a 2021 (Figura 7) (ACER-EEA, 2023). Para garantir a estabilidade da rede, será essencial investir em recursos de flexibilidade (ACER-EEA, 2023).

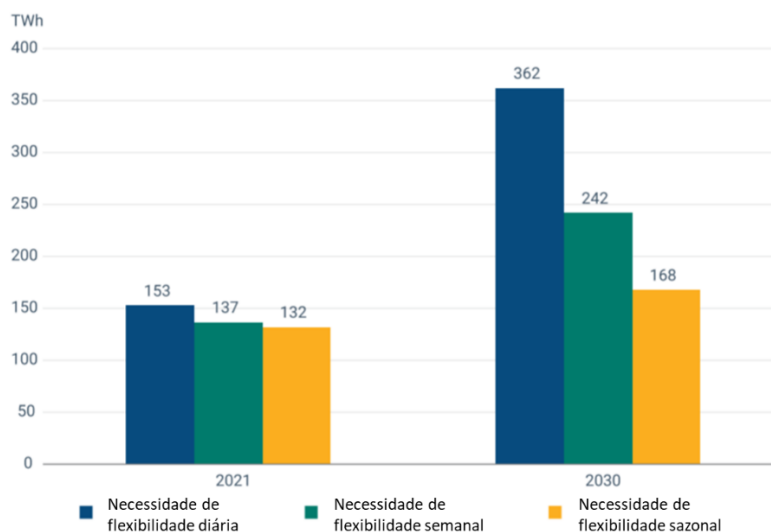


Figura 7 - Necessidade de flexibilidade diária, semanal e sazonal em 2021 e 2030 no espaço Europeu (adaptado de ACER-EEA,2023).

A integração de FER obriga a explorar novas soluções de flexibilidade, tirando o máximo partido da natureza adaptativa de alguns tipos de consumo (ACER-EEA, 2023). Entre as soluções de flexibilidade destacam-se: a gestão do lado da procura (resposta à procura, incluindo a redução de picos ou deslocação da procura), o armazenamento de energia, energias renováveis despacháveis (como a energia hidráulica, geotérmica e biomassa), a partilha transfronteiriça de recursos, a integração de sistemas e mercados de energia e investimentos em redes inteligentes (ACER-EEA, 2023; Degefa et al., 2021; D’Ettorre et al., 2022) (Figura 8).

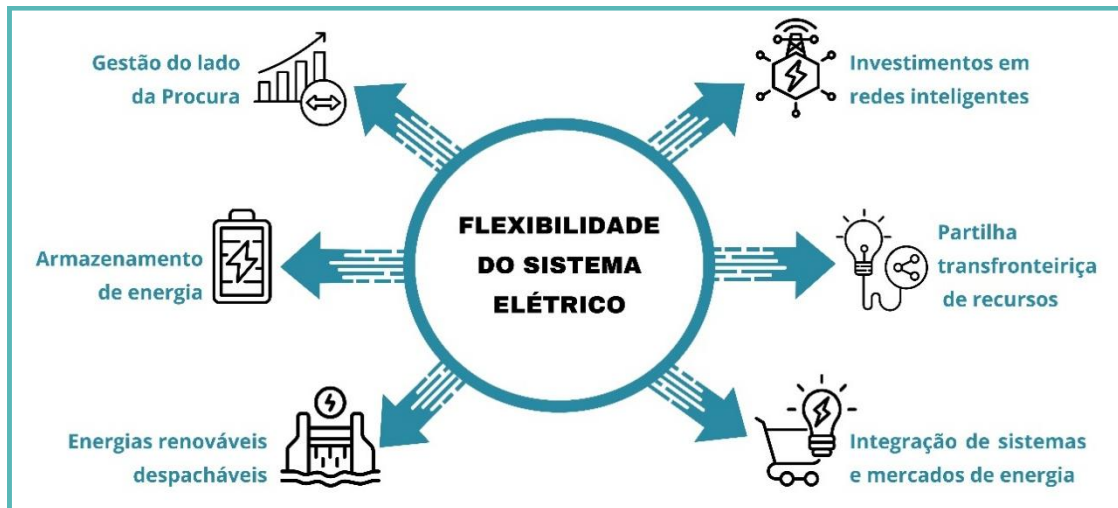


Figura 8 - Soluções de flexibilidade do sistema energético (adaptado de ACER-EEA, 2023; Degefa et al., 2021; D’Ettorre et al., 2022).

O equilíbrio da rede elétrica tem sido até aqui assegurado pelo lado da oferta, através da gestão das reservas de produção de um sistema elétrico (IRENA, 2018; Lund et al., 2015). Embora existam recursos que permitam aumentar a flexibilidade pelo lado da oferta (*Supply-Side Flexibility* - SSF), a flexibilidade pelo lado da procura (*Demand-Side Flexibility* - DSF) tem vindo a ganhar importância, principalmente devido à crescente integração de FER (Impram et al., 2020; IRENA, 2018). A flexibilidade pelo lado da procura consiste em alterar/ajustar/reduzir o consumo de eletricidade em resposta às condições da rede elétrica, sobretudo durante períodos de elevada procura ou de disponibilidade limitada de energia, em resposta a um pedido externo, como por exemplo, o preço da eletricidade, incentivos financeiros e requisitos técnicos (Golmohamadi, 2022; Golmohamadi et al., 2016). Neste novo modelo de funcionamento, com gestão pelo lado da procura (*Demand Side Management* - DSM), o consumo é o elemento central que se deve otimizar, controlar e adaptar à produção, tendo os utilizadores um papel ativo no seu funcionamento (Sæle et al., 2023). A DSM desempenha assim um papel vital na gestão da incerteza da produção de energia renovável (Kanakadhurga & Prabakaran, 2022). A DSM é uma técnica de gestão da energia que integra as necessidades dos utilizadores finais da rede com as da rede elétrica, modificando o padrão de carga² dos consumidores para reduzir os picos de procura, os custos da eletricidade e as emissões, ou seja, aumentar a flexibilidade do sistema de energia de forma a integrar as fontes de energia renovável (Gellings C. W. & Chamberlin J. H., 1993; Impram et al., 2020). A DSM compreende um conjunto de estratégias para influenciar os padrões de consumo e o volume do consumo final de eletricidade. Esta pode ser categorizado para reduzir (como *peak shaving* e conservação), para aumentar (como *valley filling* e crescimento da carga) ou para reprogramar a procura de energia (*deslocação da carga*), conforme ilustrado na Figura 9 (Gellings C. W. & Chamberlin J. H., 1993).

² Uma carga elétrica é um aparelho ou equipamento que consome energia elétrica (Kanakadhurga & Prabakaran, 2022).

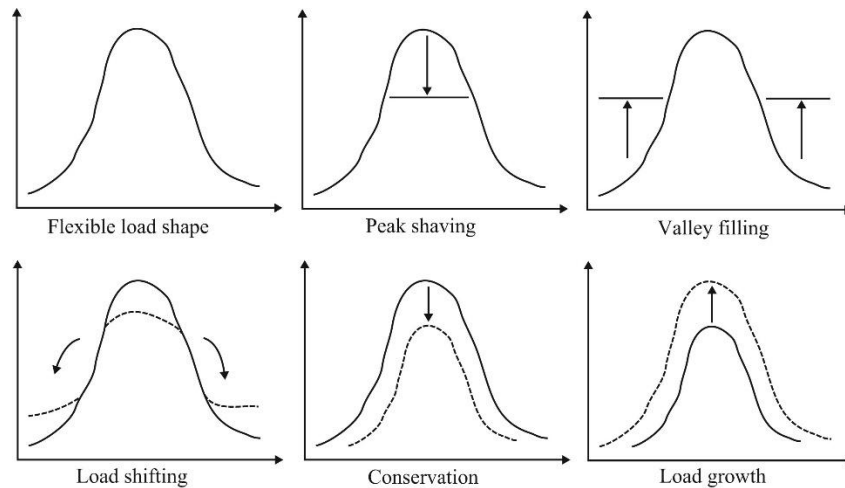


Figura 9 - Categorias de gestão do lado da procura (DSM) (Gellings & Chamberlin, 1993).

Degefa et al. (2021) descrevem os recursos de flexibilidade propondo uma classificação que agrupa as suas principais características em duas categorias: técnicas e económicas. As características técnicas são classificadas como:

- a) quantitativas - quantificam a capacidade dos recursos de flexibilidade, expressando-a numericamente e com unidades definidas;
- b) qualitativas - que avaliam a qualidade dos recursos de flexibilidade, comparando-a;
- c) de controlo - que caracterizam a possibilidade de controlo dos recursos de flexibilidade.

As características económicas podem ser subdivididas em:

- a) de capital (investimento) (CAPEX) – referentes aos custos de investimento necessários para permitir a ativação de flexibilidade;
- b) operacionais (OPEX) – referentes aos relacionados com a ativação da flexibilidade, bem como com a flutuação dos preços e a vontade dos consumidores em adotar flexibilidade (Figura 10).

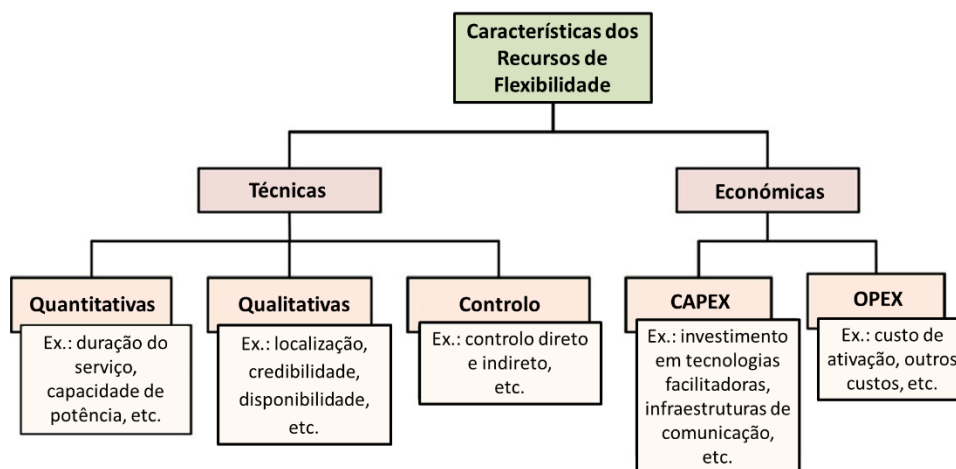


Figura 10 - Classificação das características dos recursos de flexibilidade (adaptado Degefa et al., 2021).

Os recursos flexíveis do lado da procura podem ainda ser classificados consoante as possibilidades de controlo que apresentam em DSM, em adiáveis, antecipáveis ou interruptíveis (Degefa et al., 2021). Fatores como a regulamentação, sistemas de informação e comunicação e oportunidades de mercado servem como facilitadores para a maior acessibilidade a estes recursos (Figura 11) (Degefa et al., 2021).

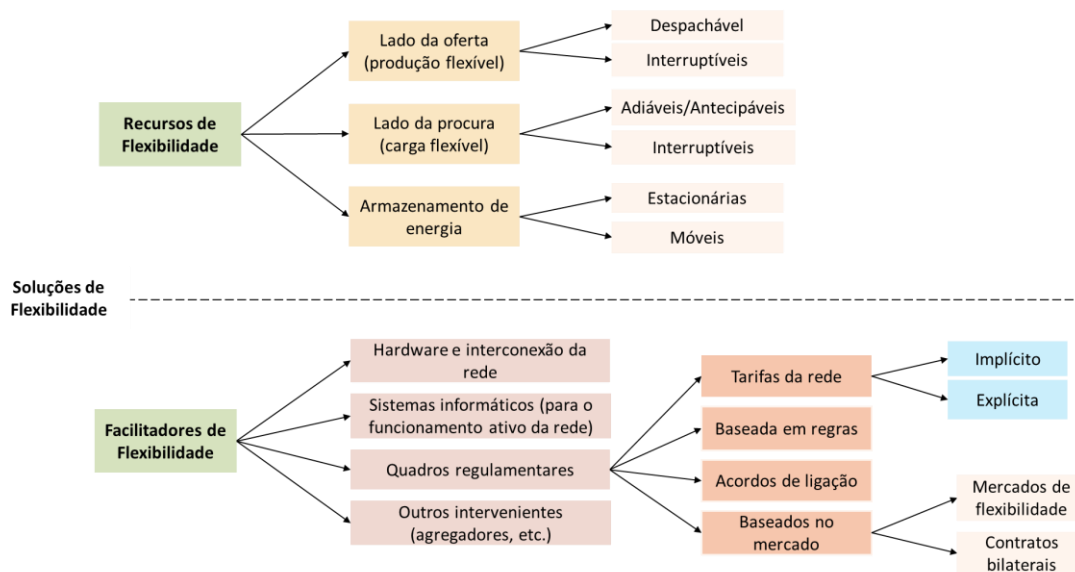


Figura 11 - Classificação dos recursos de flexibilidade e respetivos facilitadores (adaptado de Sæle et al., 2023).

A resposta à procura (*Demand Response - DR*), sendo uma forma mais específica de DSM com base em incentivos monetários ou sinais de preço, refere-se à capacidade de controlar os dispositivos dos utilizadores finais, reprogramando o seu funcionamento de forma a otimizar o consumo de energia (Impram et al., 2020; Pina et al., 2012). A DR é frequentemente classificada de acordo com os Programas de Resposta da Procura (*Demand Response Programs – DRPs*) (Degefa et al., 2021). São usualmente oferecidos programas de dois tipos:

1. programas baseados no preço, em que a flexibilidade é desbloqueada em resposta às variações do preço de eletricidade (McKenna & Keane, 2016);
2. programas baseados em incentivos, em que são oferecidos incentivos financeiros para que os consumidores contribuam para os DRPs (Zheng et al., 2020).

No primeiro caso, para incentivar os consumidores a alterar o seu consumo consoante as flutuações do preço, recorre-se a esquemas de tarifas como tarifas diferenciadas no tempo como a tarifa por período de utilização (*Time-of-use - ToU*), o preço de ponta crítica (*Critical Peak Pricing - CPP*) e o preço em tempo real (*Real-Time Pricing – RTP*) (Golmohamadi, 2022). Já no segundo caso, os consumidores optam por participa em mercados de energia (por exemplo, através de um agregador)

e recebem pagamentos em troca da sua resposta, como é exemplo o controlo direto de cargas (DLC) e a licitação da procura (*Demand Bidding* - DB) (Kanakadhurga & Prabakaran, 2022) (Figura 12). Para atingir este objetivo, surgiram nos últimos anos entidades intermediárias para facilitar a integração de flexibilidade nos sistemas energéticos, designadas por agregadores de resposta à procura (DRA) (Golmohamadi, 2022).

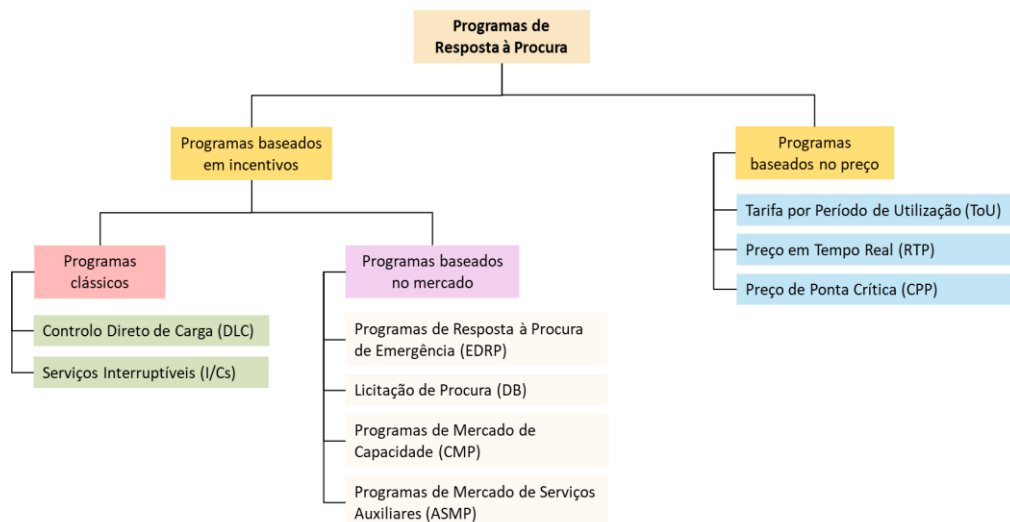


Figura 12 - Classificação de programas de resposta à procura (adaptado de Kanakadhurga & Prabakaran, 2022).

Têm sido identificadas diversas barreiras ao desbloqueio da flexibilidade, destacando-se: o quadro regulamentar fragmentado, incentivos financeiros insuficientes, limitações na infraestrutura da rede elétrica e a carência de informações em tempo real (ACER-EEA, 2023; D’Ettorre et al., 2022; Sæle et al., 2023). Além destas, a ausência de ferramentas e tecnologias padronizadas e comuns de medição e quantificação do potencial de flexibilidade, a baixa cooperação entre os vários intervenientes do sistema elétrico, a falta de produtos de mercado adequados para utilizadores finais de pequena dimensão, a dificuldade de acesso a mercados de energia, a reduzida literacia neste âmbito e reduzida aceitação social são também outras barreiras relevantes (ACER-EEA, 2023; D’Ettorre et al., 2022; Sæle et al., 2023) (Figura 13).



Figura 13 - Desafios da implementação da flexibilidade no sistema elétrico (adaptado de ACER-EEA, 2023; D’Ettorre et al., 2022; Sæle et al., 2023).

1.2.1 Métricas de quantificação da flexibilidade

Avaliar o desempenho das soluções de flexibilidade nos mercados de energia é cada vez mais relevante. A verificação de flexibilidade está relacionada com a capacidade de verificar a resposta e capacidade de adaptação, em tempo real, do consumo à produção de energia elétrica. As abordagens para a quantificação da flexibilidade dependem dos métodos de medição, quantificação ou simulação adotados, da resolução temporal a considerar e dos algoritmos de otimização utilizados (Li et al., 2021) (Figura 14).



Figura 14 - Métricas de flexibilidade: a) métodos de quantificação, b) resolução temporal e c) algoritmos de otimização (Li et al., 2021).

Conforme apresentado por Li et al., 2021, os indicadores abrangem dimensões como a energia, a potência, o custo, a duração, as emissões de CO₂ e o conforto do consumidor. Entre as métricas mais utilizadas encontra-se a redução do pico da potência (ΔP) e sua percentagem ($\Delta P\%$), que fornecem a capacidade de redução da procura de energia em horário de pico; o Fator de Flexibilidade (*Flexibility Factor* - FF), que integra vários aspetos (por exemplo, energia, custo, emissões) permitindo comparar o desempenho entre períodos horários de elevada e reduzida procura, sem depender de um consumo de referência; e os indicadores de autossuficiência (SS) e autoconsumo (SC) que permitem avaliar o grau em que a produção local é suficiente para atender às necessidades energéticas e o grau em que a geração local é consumida diretamente, respetivamente (Quadro 1). A caracterização do perfil de consumo que serve de referência (*baseline*) para deteção dos desvios em operações de gestão da procura, é uma peça essencial neste contexto, sendo a sua determinação um processo bastante complexo dependendo do setor e das características da atividade (Oxby & Capper, 2024).

A quantificação da flexibilidade tem sido mais estudada no setor residencial, embora muitos dos estudos tenham predominância em abordagens baseadas em simulação (Li et al., 2021). No entanto, as métricas e metodologias desenvolvidas para o setor residencial podem servir como uma referência para outros setores de atividade.

Quadro 1 - Quadro resumo de métricas de flexibilidade (Li et al., 2021).

Métrica	Definição	Aspetos de Desempenho	Necessita de Baseline
<p>Redução do pico da potência (ΔP)</p> $\Delta P = P_{peak\ ref} - P_{peak\ flexible}$	Diferença entre a potência de pico no cenário de referência e a potência de pico durante operações de flexibilidade.	Potência	Sim
<p>Porcentagem redução do pico da potência ($\Delta P\%$)</p> $\Delta P\% = 1 - \frac{P_{peak\ flexible}}{P_{peak\ ref}}$	Rácio entre a potência de pico no cenário de referência e a potência de pico durante operações de flexibilidade.	Potência	Sim
<p>Fator de Flexibilidade (FF)</p> $FF = \frac{Quantity_{low\ load} - Quantity_{high\ load}}{Quantity_{low\ load} + Quantity_{high\ load}}$	Indicador que compara a quantidade (energia, custo ou emissões) durante períodos de reduzida e elevada procura, variando de -1 (operações concentradas em períodos de elevada procura) a 1 (operações concentradas em períodos de reduzida procura).	Energia, Custo, Emissões	Não
<p>Autossuficiência (SS)</p> $SS = \frac{daily\ generation\ directly\ consumed}{net\ daily\ load}$	Relação entre a energia produzida localmente que é diretamente consumida e o consumo diário líquido.	Energia	Sim
<p>Autoconsumo (SC)</p> $SC = \frac{daily\ generation\ directly\ consumed}{net\ daily\ generation}$	Relação entre a energia produzida localmente que é diretamente consumida e a energia total produzida localmente.	Energia	Sim

O autoconsumo (*Self-Consumption* - SC) e a autossuficiência (*Self-Sufficiency* - SS) são duas métricas úteis para avaliar o desempenho energético de um sistema de energia. Segundo Asgari et al., 2025, o autoconsumo é a avaliação da razão entre o consumo de energia local proveniente da produção de energia local e a produção total local (*Equação 1*). A autossuficiência é calculada pela razão da diferença entre a energia produzida pelo sistema fotovoltaico e a energia enviada para a rede pelo consumo de carga (*Equação 2*).

Equação 1 - Autoconsumo (SC). Avaliação da razão entre o consumo de energia local proveniente da produção de energia local e a produção total local (Asgari et al., 2025).

$$SC = \frac{E_{pv} - E_{tgrid}}{E_{pv}} \times 100$$

Equação 2 - Autossuficiência (SS). Razão da diferença entre a energia produzida pelo sistema fotovoltaico e a energia enviada para a rede pelo consumo de carga (Asgari et al., 2025).

$$SS = \frac{E_{pv} - E_{tgrid}}{E_{load}} \times 100$$

Já Li et al., 2021 afirma que os indicadores de autossuficiência (SS) e autoconsumo (SC) avaliam o grau em que a produção local é suficiente para atender às necessidades energéticas e o grau em que a geração local é consumida diretamente, respectivamente. Para calcular o autoconsumo (SC) é a razão entre a energia produzida localmente que é diretamente consumida e a energia total produzida no local (*Equação 3*) e a autossuficiência (SS) é a razão entre a produção local consumida diretamente e a procura diária (*Equação 4*).

Equação 3 - Autoconsumo (SC). Razão entre a energia produzida localmente que é diretamente consumida e a energia total produzida no local (Li et al., 2021).

$$SC = \frac{\text{produção diária diretamente consumida}}{\text{produção diária líquida}}$$

Equação 4 - Autossuficiência (SS). Razão entre a produção local consumida diretamente e a procura diária (Li et al., 2021).

$$SS = \frac{\text{produção diária diretamente consumida}}{\text{carga diária líquida}}$$

Estes indicadores são essenciais para avaliar a dependência dos autoconsumidores em relação à rede elétrica e a eficácia das soluções de autoconsumo. No entanto, é importante utilizar simultaneamente os dois indicadores, uma vez que permite uma visão mais precisa sobre a eficiência e a autonomia energética do sistema (Simoiu et al., 2021).

1.2.2 Pilotos de flexibilidade em Portugal

A integração das FER começa a criar pressão nas redes de distribuição em Portugal, sendo também esta a realidade em vários países europeus. Em 2022, a percentagem de energias renováveis na produção de eletricidade em Portugal rondou os 75,5% (Enerdata, 2024). O Plano Nacional de Desenvolvimento da Rede de Distribuição prevê, em 2025, uma assimetria regional notória entre a produção local e o consumo de eletricidade (Figura 15) (E-REDES, 2024). Para acompanhar esta nova realidade, torna-se essencial explorar novas abordagens para o planeamento e a operação da rede, privilegiando soluções de flexibilidade (D’Ettorre et al., 2022).

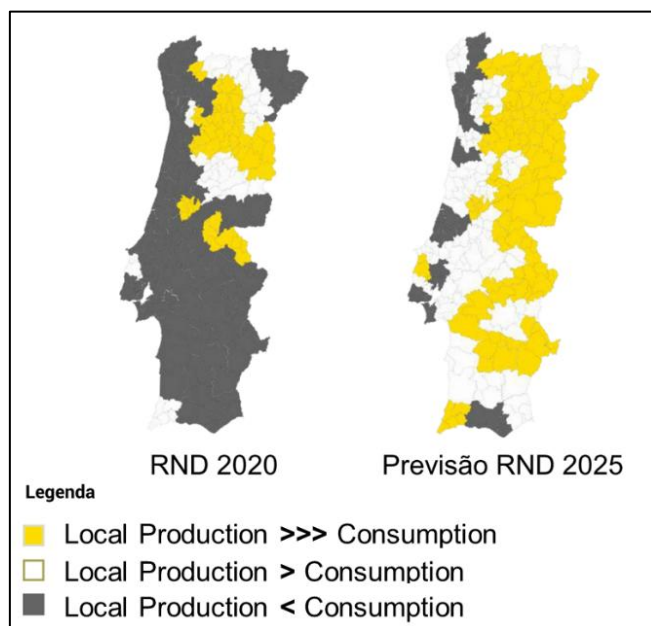


Figura 15 – Previsão do impacto da produção descentralizada na rede elétrica nacional (E-REDES, 2024).

Conforme a legislação portuguesa, o Operador da Rede de Distribuição (ORD) tem a possibilidade de contratar serviços de flexibilidade, especialmente para resolver congestionamentos nas suas áreas de operação, com o objetivo de otimizar a eficiência do funcionamento e o desenvolvimento da rede de distribuição. Estes serviços podem ser contratados a prestadores de produção distribuída, a consumidores ou a sistemas de armazenamento de energia (E-REDES, 2024).

Em Portugal, a participação da procura nos mercados de serviços de sistema teve início com um projeto-piloto, implementado em 2019, que permitiu que grandes consumidores, com capacidade de variação de potência superior a 1 MW, prestassem serviços de sistema em condições equivalentes à oferta (ERSE, 2025). No final de 2022, a E-REDES, o ORD em Portugal, lançou o projeto “FIRMe - Flexibilidade Integrada em Regime de Mercado”, uma iniciativa que teve como objetivo adaptar a E-REDES às exigências de flexibilidade e testar o mercado através da sensibilização dos agentes, nomeadamente, os Prestadores de Serviços de Flexibilidade (FSP), e estimulá-los a participar nestes novos mercados. Como parte deste projeto-piloto, foi criado o Regulamento de Concursos de

Prestação de Serviços de Flexibilidade, que estabelece as diretrizes técnicas e contratuais que regem a atuação dos FSP. Entre os requisitos destacam-se a potência flexível mínima exigida por nível de tensão (2 kW para Baixa Tensão Normal, 15 kW para Baixa Tensão Especial, 50 kW para Média Tensão e 200 kW para Alta Tensão), além da realização de testes de qualificação (E-REDES, 2023). Enquanto projeto-piloto, o FIRMe representa um avanço para o setor elétrico em Portugal. Através da conceção de um mercado de flexibilidade, não só pretende facilitar a integração de FER e reduzir custos operacionais, como também criar novos modelos de negócio. Este projeto envolve as partes interessadas no desenvolvimento de mercados flexíveis, teste de planos de contratação, avaliação do comprometimento dos FSP e ajuste dos mecanismos de remuneração (ERSE, 2025). Após identificar as necessidades e oportunidades da utilização de flexibilidade na rede, bem como os agentes de mercado envolvidos, o projeto FIRMe recebeu um total de 623 propostas de 21 FSPs distintos na 1ª série do concurso, tendo sido aceites as propostas de 15 desses FSPs. Foram identificadas oito oportunidades de flexibilidade, onde foram desenvolvidos três serviços específicos: “Restore”, “Dynamic” e “Secure” (Figura 16) (E-REDES, 2024).



Figura 16 – Distribuição geográfica das oportunidades de flexibilidade do projeto FIRMe (E-REDES, 2024).

Os três serviços distinguem-se pela prestação de diferentes níveis de previsibilidade das necessidades da rede elétrica, aos quais correspondem benefícios distintos:

1. “Restore”, que oferece resposta a eventos de falha na rede;
2. “Dynamic”, que responde a constrangimentos durante a indisponibilidade programada de ativos da rede de distribuição;
3. “Secure”, destinado à gestão de pontas de consumo em regime normal da rede.

No entanto, o Regulamento de contrato de serviços de flexibilidade inclui ainda o “Sustain” que consiste em serviços programados com antecedência para gestão de picos prolongados, garantindo a sustentabilidade da rede (Quadro 2) (E-REDES, 2024).

Quadro 2 - Serviços de flexibilidade disponíveis, definidos pelo Regulamento de contrato de serviços de flexibilidade.

Produto	Descrição	Tempo de Resposta	Métricas de Pagamento	Limites de Energia
Restore	Não existe previsibilidade e correspondem a serviços utilizados para suportar a recuperação da rede face a eventos esporádicos resultantes de falhas da rede.	15 minutos de antecedência	Pagamento por Disponibilidade + Utilização	85% a 115% da energia solicitada
Dynamic	Há maior previsibilidade e correspondem à utilização de flexibilidade em períodos de trabalhos de manutenção da rede. Serviços de resposta rápida para ajustes imediatos na rede.	15 minutos de antecedência	Pagamento por Disponibilidade + Utilização	85% a 115% da energia solicitada
Secure	Previsão feita por estimativa e o serviço utilizado serve para gestão de congestionamentos em determinados pontos da rede. Focado em garantir estabilidade em eventos críticos.	15 minutos de antecedência	Pagamento por Disponibilidade + Utilização	85% a 115% da energia solicitada
Sustain	Serviços programados com antecedência para gestão de picos prolongados.	Até 11h45 minutos de antecedência	Pagamento por Disponibilidade + Utilização	85% a 115% da energia solicitada

Embora as conclusões do FIRMe não tenham ainda sido divulgadas, alguns dos resultados preliminares incluem desafios relacionados com a quantidade da flexibilidade disponibilizada (reduzida face ao necessário ou delimitada na área geográfica), a preferência pelo produto "Dynamic" e a clara perceção que o preço não é o único fator relevante, a complexidade do modelo de negócio, a falta de métricas de controlo e verificação, especialmente na definição da *baseline* para garantir uma remuneração justa pelos serviços prestados (Lopes, 2024).

1.3 Enquadramento legal

Estabelecido no âmbito do “Pacote Energia Limpa para todos os Europeus”, em conformidade com o Regulamento (UE) 2018/1999, os Estados-Membros têm de submeter à Comissão Europeia os seus Planos Nacionais de Energia e Clima (PNEC) a cada 10 anos. Estes instrumentos legais definem os objetivos estratégicos e as metas nacionais a atingir, nomeadamente, a redução de emissões de GEE, quotas de FER no consumo final bruto de energia, percentagem de incorporação de FER em diferentes setores, entre outros.

Em Portugal, a versão revista do PNEC 2030, publicada através da Resolução de Conselho de Ministros n.º 53/2020, de 10 de julho, apresenta metas ambiciosas, antecipando em quatro anos o objetivo de incorporação de fontes de energia renovável na produção de eletricidade. A quota definida de FER é

de 47% até 2030 (RCM, 2020). Além disso, já a partir de 2026, prevê-se que 80% da energia produzida em território nacional seja de origem renovável, contribuindo para que Portugal atinja a neutralidade climática em 2045. Destaca-se igualmente, a ambição na potência instalada renovável para produção de eletricidade, em particular no solar fotovoltaico, cuja meta mais do que triplicou, passando de 9,0 GW para 20,4 GW.

A organização e o funcionamento do Sistema Elétrico Nacional (SEN) em Portugal encontram-se regulados no Decreto-Lei n.º 15/2022, de 14 de janeiro. Este diploma transpõe a Diretiva (UE) 2019/944, relativa a regras comuns para o Mercado Interno da Eletricidade, e a Diretiva (UE) 2018/2001, referente à promoção da utilização de fontes de energia renováveis, sendo atualmente um dos diplomas mais relevantes em matéria de energia. Devido às novas diretivas entretanto aprovadas, será necessário proceder à atualização deste diploma.

A atividade de produção descentralizada de energia elétrica é também regulada pelo Decreto-Lei n.º 15/2022, de 14 de janeiro. Este diploma estabelece o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade em instalações de autoconsumo, com ou sem ligação à rede elétrica pública, utilizando tecnologias de produção renováveis (ADENE e DGEG, 2022; Decreto-Lei n.º 15/2022). A legislação portuguesa tem evoluído para incentivar o autoconsumo e o Decreto-Lei n.º 30-A/2022, apresenta incentivos financeiros e apoios para criação de projetos de autoconsumo e produção descentralizada e o Decreto-Lei n.º 72/2022 ajusta as normas legais do setor elétrico para facilitar a integração do autoconsumo na rede pública (ADENE e DGEG, 2022).

É notório o esforço da UE na regulação da flexibilidade do lado da procura, definindo legalmente este conceito e incentivando os consumidores contribuem ativamente na escolha dos fornecedores e na partilha de fontes de energias. A flexibilidade é, então, definida como a capacidade de uma rede de eletricidade ajustar, em tempo real, a produção e o consumo de energia, e a disponibilidade da rede nos vários períodos de operação do mercado (Regulamento (UE) 2024/1747). Os Operadores de Rede de Distribuição (ORD) europeus têm como desafio a cooperação na operação da rede em tempo real, a troca de informação entre produção e resposta à procura para operacionalização diária da rede e explorar a flexibilidade, de forma a otimizar os investimentos na rede (Regulamento (UE) 2017/1485). A oferta de serviços de flexibilidade à rede elétrica está prevista igualmente no Decreto-Lei n.º 15/2022, embora careça de regulamentação. A adoção de serviços de flexibilidade tem demonstrado que altera o consumo de eletricidade de forma benéfica para o sistema elétrico (Oxby & Capper, 2024) e possibilita a remuneração pelo distribuidor de energia, prática esta, já estudada em vários setores de atividade (Barnes et al., 2022; Golmohamadi, 2022 Sæle et al., 2023).

O Quadro 3 resume os principais diplomas legais da legislação portuguesa nesta matéria.

Quadro 3 - Principais diplomas legais da legislação portuguesa em matéria de autoconsumo e flexibilidade.

Legislação Nacional	Definição/Âmbito	Principais Requisitos
Decreto-Lei nº 15/2022, de 14 de janeiro Organização e funcionamento do Sistema Elétrico Nacional	Estabelece a organização e o funcionamento do SEN. Abrangendo mercados locais de flexibilidade e a definição do enquadramento jurídico para produção descentralizada e autoconsumo.	<ul style="list-style-type: none"> - A utilização de recursos de flexibilidade deve estar em consonância com a gestão flexível das redes definindo, para essa gestão, as normas operacionais e o prazo para implementação, bem como a adequação aos códigos europeus, assegurando a interoperabilidade com a rede, bem como os procedimentos destinados a garantir a concretização e verificação. - Instalação de contadores inteligentes e sua integração nas infraestruturas das redes inteligentes até 2024. - A atribuição da licença de produção é estabelecida através dos critérios gerais do artigo 27º. - UPAC podem operar isoladas ou agregadas à rede e a partilha de energia é permitida (Artigo 81º). - Equipamentos de telecontagem devem cumprir as normas relativas a pontos de medição de instalações de produção - Obrigação de contagem da energia elétrica total produzida por UPAC quando a IU associada à UPAC se encontre ligada à RESP e a potência instalada seja superior a 4 kW.
Decreto-Lei nº 80/2023, de 6 de setembro Ligação à rede de instalações de consumo de energia elétrica em zonas de grande procura	Prioriza conexões em áreas críticas para evitar congestionamentos.	<ul style="list-style-type: none"> - Reconhecida a área territorial de Sines como zona de grande procura. - Aplicável apenas a zonas definidas pela DGEG (ex: Lisboa, Porto).
Decreto-Lei 30-A/2022, de 18 de abril Simplificação dos procedimentos de produção de energia a partir FER	Aprova as medidas excepcionais que visam assegurar a simplificação dos procedimentos de produção de energia a partir de FER.	<ul style="list-style-type: none"> - A licença de exploração ou o certificado de exploração são requeridos no prazo de três anos após a comunicação. - A instalação obedece às regras técnicas aplicáveis como modelação dos terrenos garante a infiltração e escoamento superficial das águas, preservação do recurso solo vivo com o revestimento natural adequado, distanciamento mínimo de 1 km em redor dos aglomerados rurais e do solo urbano, entre outros (artigo 5º).
Decreto-Lei 72/2022, de 19 de outubro Autoconsumo e Comunidades de Energia	Altera as medidas excepcionais para a implementação de projetos e iniciativas de produção e armazenamento de energia de fontes renováveis (procede à alteração ao Decreto-Lei n.º 30-A/2022).	<ul style="list-style-type: none"> - Instalações estão sujeitas a controlo prévio do Regime Jurídico da Urbanização e Edificação (RJUE). - Projetos com potência instalada igual ou inferior a 1 MW estão isentos de controlo prévio de operações urbanísticas.
Portaria nº 176-B/2024/1, de 30 de julho Regulamento do Sistema de Incentivo às Empresas “Flexibilidade da Rede e Armazenamento”	Incentiva projetos de flexibilidade e armazenamento para equilíbrio da rede. Inserido no investimento RP-C21-i08 do Plano de	<ul style="list-style-type: none"> - Investimento de sistemas de armazenamento de energia elétrica baseadas em baterias à escala das redes de transporte e distribuição com potência nominal de pelo menos 1 MVA. - O armazenamento anual deve absorver, pelo menos, 75 % da energia a partir da instalação de produção de FER.

Legislação Nacional	Definição/Âmbito	Principais Requisitos
	Recuperação e Resiliência.	- Taxa máxima de financiamento das operações a aprovar é de 20 %.
Diretiva nº 19/2023, de 26 de dezembro (ERSE) Manual de procedimentos da gestão global do sistema	Padroniza métodos de quantificação e penalizações e clarifica a obtenção do estatuto de agente de mercado que prestam serviços de sistema.	- Instalação de equipamentos de medida em tempo real em a entidades que prestem serviço de sistema. - Requisitos técnicos e operacionais para os diferentes tipos de ligação presentes no SCADA (Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados), incluindo o processo e requisitos de pré-qualificação para a prestação de serviços de flexibilidade. - Auditorias anuais por entidades certificadas (ex: APCER).
Diretiva nº 12/2022, de 19 de maio (ERSE) Condições gerais dos contratos de uso das redes para o autoconsumo através da RESP	Aprova as condições gerais dos contratos de uso das redes para o autoconsumo através da Rede Elétrica de Serviço Público (RESP).	- Os operadores das redes são responsáveis pela qualidade de serviço técnica prestada aos autoconsumidores. - O autoconsumo através da RESP suporta as tarifas de Acesso às Redes a aplicar ao autoconsumo através da RESP.
Regulamento nº 816/2023, de 27 de julho Regulamento de Operação das Redes do Setor Elétrico	Define padrões técnicos para operação segura da rede e as condições que permitem a gestão dos fluxos de eletricidade nas redes, incluindo a contratação e utilização de recursos de flexibilidade.	- Instalações de produção e sistemas de armazenamento autónomos com potência instalada superior a 1 MW e de UPAC com injeção de energia excedentária superior a 1 MVA, necessitam de incluir mecanismos de observabilidade e controlo para acesso do Gestor Global do SEN. - A participação da procura nos serviços de balanço e de flexibilidade deve aplicar coeficientes de ajustamento para perdas nas redes. - Utilizadores de rede significativos devem fornecer dados de caracterização da sua instalação e qualquer alteração planeada ou perturbação operacional que possa influenciar a rede
Regulamento Concursos Prestação Serviços (E-REDES) (02/08/2023) Regulamento dos Concursos para a Prestação de Serviços de Flexibilidade	Regulamenta concursos para serviços de flexibilidade e detalha as regras do Concurso para a Prestação de Serviços de Flexibilidade, bem como as principais regras a que deve obedecer.	- Potência mínima: 2 kW (BTN), 15 kW (BTE), 50 kW (MT), 200 kW (AT). - Os potenciais PSF não poderão propor alterações aos produtos (Dynamic, Secure, Sustain, Restore) e respetivas características durante a fase de duração do concurso. - O PSF deve garantir que o módulo da potência reativa esteja abaixo de 115% do valor registado nos 15 minutos anteriores ao início do período de ativação e que não inverte o seu sentido.
Regulamento nº 2/2023 (ERSE) Regulamento do Autoconsumo do setor elétrico	Regula autoconsumo do setor elétrico. Revoga o Regulamento n.º 373/2021, de 5 de maio	- Medição obrigatória de energia elétrica no ponto de ligação da IC à rede interna, ponto de ligação da IPR à rede interna, ponto de ligação da UPAC à IC (se superior a 4kW) e ponto de ligação da IA à rede interna. - Os equipamentos de medição instalados devem obrigatoriamente ser parametrizados para registo bidirecional e os operadores das redes ou os titulares das instalações devem adotar os procedimentos de verificação periódica aplicáveis aos equipamentos instalados. - Partilha de dados com relatórios à ERSE. - Podem ser implementados projetos-pilotos que visem testar a viabilidade técnica e económica e a aplicabilidade

Legislação Nacional	Definição/Âmbito	Principais Requisitos
		de práticas e tecnologias inovadoras, desde que não sejam superiores a 2 anos.
Despacho nº 4/2020, de 3 de fevereiro (DGEG) Regulamento de Inspeção e Certificação Técnica e Qualidade	Estabelece normas para certificação de instalações	- Inspeções periódicas programadas a realizar no ano seguinte até 31 de dezembro de cada ano, com foco em sistemas de controlo e segurança. - O conjunto de esquemas de ligação permitidos para interligar as UPAC são os decorrentes da aplicação do Regulamento Técnico e de Qualidade (RTQ) no ponto 3. - Os equipamentos têm de ser certificados de acordo com a norma IEC 62109-1, relativa à segurança de conversores de energia para uso em sistemas de energia fotovoltaica.

1.4 Transição energética na agricultura

A energia utilizada no setor agrícola pode ser classificada como consumo direto e consumo indireto. O consumo direto refere-se à energia consumida com a utilização de combustível e eletricidade necessários para executar as diferentes atividades agrícolas, particularmente operação de máquinas agrícolas, em equipamentos de irrigação, secagem, aquecimento e refrigeração, iluminação, ventilação, entre outros. O consumo de energia indireto refere-se à energia utilizada para produção de fatores de produção agrícola, como fertilizantes ou pesticidas (Loureiro et al., 2019; Woods et al., 2010).

Um dos grandes desafios da agricultura é conciliar as crescentes necessidades energéticas da atividade com as metas de descarbonização acordadas no pacto ecológico europeu (PEE), o que implica medidas de melhoria ao nível da eficiência energética e produção de energia a partir de fontes renováveis (Pacto Ecológico Europeu, 2019; Plano RePowerEU, 2022).

Em 2022, os setores agrícola e florestal foram responsáveis, em média, por 3,0% do consumo total de energia na União Europeia, tendo o consumo direto nestes setores diminuído 6,3% em relação a 2021 (Eurostat, 2024). Entre os Estados-Membros, os Países Baixos apresentam a maior proporção do consumo direto total de energia (7,5%) na agricultura e florestas, devido à produção de frutas, legumes e hortícolas em estufa (Figura 17) (Eurostat, 2024).

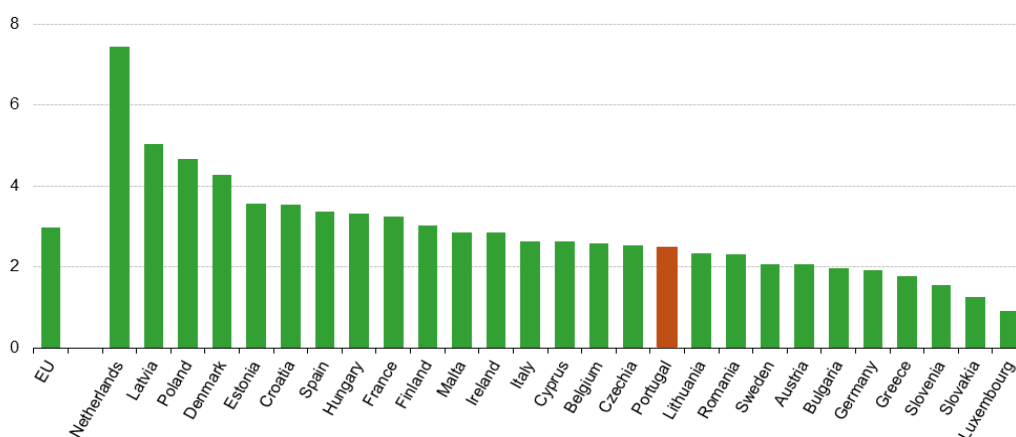


Figura 17 - Proporção do consumo direto de energia da agricultura e silvicultura no consumo total, em %, 2022 (Eurostat, 2024).

Os setores agrícola e florestal ainda dependem significativamente de combustíveis fósseis, com 58,4% do consumo direto total de energia proveniente de petróleo e derivados, no ano 2022 (Eurostat, 2024). O principal tipo de combustível usado pela agricultura na UE continua a ser o petróleo e os seus derivados (Figura 18) (Eurostat, 2024). Em Portugal, nos setores agrícola e pescas, o gásóleo representa a maior percentagem do consumo de direto de energia, correspondendo a 79,1%, seguido da eletricidade com 17,8% (Eurostat, 2024).

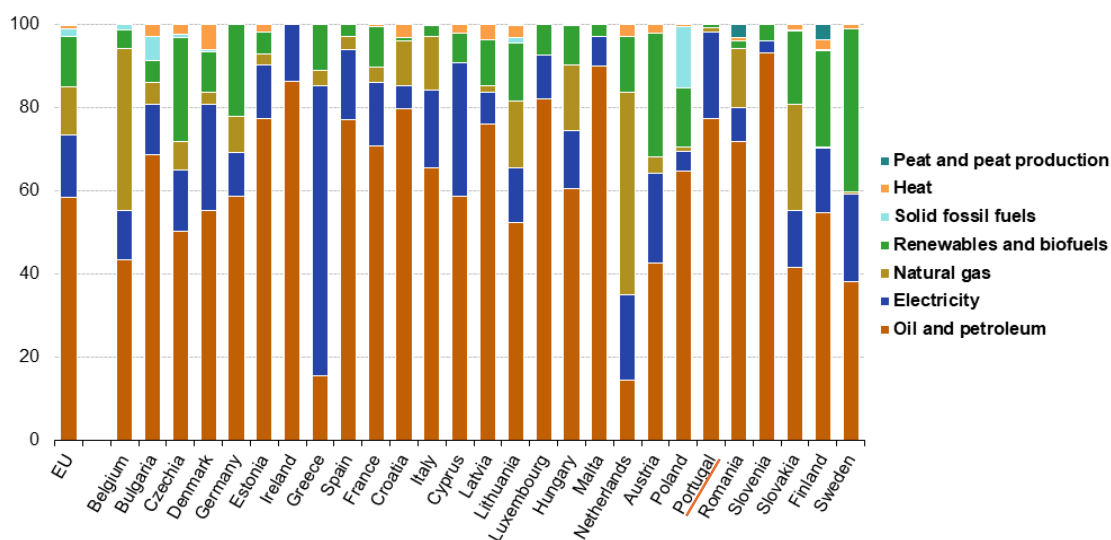


Figura 18 - Proporção do consumo de combustíveis pela agricultura e silvicultura, em %, 2022 (Eurostat, 2024).

No entanto, entre 2012 e 2022, verificou-se uma diminuição de 7% no consumo direto energia na agricultura (Observatório da Energia, 2024). Dependendo do tipo de exploração e do seu grau de mecanização, o peso das diferentes formas de energia utilizadas varia, como indicado (Quadro 4) (FAO, 2011; Loureiro et al., 2019). Além disso, a intensidade da procura de energia varia significativamente consoante a dimensão da exploração e o tipo de produção.

Quadro 4 – Usos de energia e intensidade de procura de energia por tipo de exploração agrícola (adaptado de FAO, 2011; Loureiro et al., 2019).

Tipo de exploração	Consumo direto de energia	Intensidade de procura de energia
Culturas arvenses (ex. trigo, milho, arroz)	<ul style="list-style-type: none"> - Combustível para tratores - Eletricidade para irrigação, armazenamento e transporte - Calor para secagem 	<ul style="list-style-type: none"> - Elevada procura por combustíveis (máquinas e irrigação) - Procura sazonal de calor
Hortícolas – grandes explorações (ex. batata, cebola, cenoura)	<ul style="list-style-type: none"> - Combustível para tratores - Eletricidade para irrigação, classificação, transporte, refrigeração, ventilação e armazenamento 	<ul style="list-style-type: none"> - Elevada procura por combustíveis e eletricidade
Hortícolas – pequenas explorações	<ul style="list-style-type: none"> - Combustível para pequenos tratores - Eletricidade para lavagem e classificação 	<ul style="list-style-type: none"> - Procura moderada por combustível e refrigeração - Baixa procura para pós-colheita
Culturas em estufa	<ul style="list-style-type: none"> - Consumo similar às pequenas explorações de hortícolas com aumento de aquecimento, iluminação e irrigação 	<ul style="list-style-type: none"> - Baixa procura para máquinas - Elevada procura de calor no inverno
Frutícolas (ex. pomóideas, azeitonas)	<ul style="list-style-type: none"> - Combustível para tratores - Eletricidade para irrigação gota-a-gota, classificação e refrigeração 	<ul style="list-style-type: none"> - Procura moderada por combustível e eletricidade, se irrigadas e armazenadas pós-colheita no local
Laticínios (explorações com mais de 50 vacas)	<ul style="list-style-type: none"> - Combustível para tratores - Eletricidade para ordenha, bombeamento, refrigeração, irrigação e iluminação - Aquecimento para água e pasteurização 	<ul style="list-style-type: none"> - Elevada procura para eletricidade - Procura moderada por combustível - Baixa para aquecimento
Pecuária extensiva (ex. ovinos, bovinos, caprinos)	<ul style="list-style-type: none"> - Combustíveis para máquinas - Eletricidade para tosquia, refrigeração 	<ul style="list-style-type: none"> - Procura moderada (quando há conservação de pastagens)
Pecuária intensiva (ex. suínos, aves de capoeira)	<ul style="list-style-type: none"> - Eletricidade para iluminação, ventilação e bombagem de água - Combustível para tratores 	<ul style="list-style-type: none"> - Elevada procura se os animais estão em estabulados ou moderada se parte dos animais está ao ar livre - Elevada procura se a ração for cultivada ou baixa se a ração for comprada

A nível nacional, as explorações de produção hortícola intensiva e produção frutícola são as que apresentam maiores encargos médios com a eletricidade, enquanto no setor de produção animal, a avicultura é a maior consumidora de energia elétrica (Loureiro et al., 2019). O consumo de energia elétrica na agricultura está associado ao funcionamento de sistemas de bombagem e rega e à utilização de equipamentos fixos de refrigeração, aquecimento ou secagem, estufas, sistemas de ventilação e iluminação (Golmohamadi, 2020; Loureiro et al., 2019).

De forma a reduzir os custos associados às operações produtivas, algumas explorações têm instalado sistemas de produção descentralizada de energia para autoconsumo. No setor agrícola, a adoção de soluções de produção descentralizada, permite que explorações agrícolas se associem para investir em UPAC, seja como modo de constituição em autoconsumo coletivo ou como parte de uma

Comunidade de Energia Renovável, aproveitando os benefícios desta estratégia (Apolinário et al., 2019).

As explorações agrícolas possuem características que as tornam ideais para o aproveitamento de soluções de produção descentralizada, pois têm espaço disponível, exibem consumos sazonais, e são isoladas (Apolinário et al., 2019). Contudo, a adoção destas soluções será benéfica se os sistemas forem complementados com a digitalização dos sistemas de gestão de consumo, o uso de equipamentos mais eficientes, com controlo de equipamentos elétricos e a capacitação dos agricultores na gestão de consumos de energia (Costa et al., 2019). Para possibilitar a integração eficaz das soluções descentralizadas, o setor agrícola deverá otimizar a gestão do consumo de eletricidade (Costa et al., 2019).

1.4.1 Sistemas agrovoltaicos

Com o crescimento da produção de energia renovável descentralizada, tem-se verificado um aumento da competição pelo uso do solo entre a atividade agrícola e a produção fotovoltaica, preocupação já sentida em vários países europeus e que começa a ser muito efetiva em Portugal (Miranda et al., 2024). A alternativa tecnológica para responder a este desafio é designada por “agrovoltaico”, que consiste na conjugação de dois usos na mesma área/parcela de terreno, integrando painéis fotovoltaicos em estruturas que não impeçam a utilização do solo e a mecanização das operações culturais, aumentando-se, assim, a eficiência do uso do solo ao permitir a produção agrícola e, simultaneamente, a produção de energia elétrica (Agostini et al., 2021; Chatzipanagi et al., 2023; Touil et al., 2021) (Figura 19).

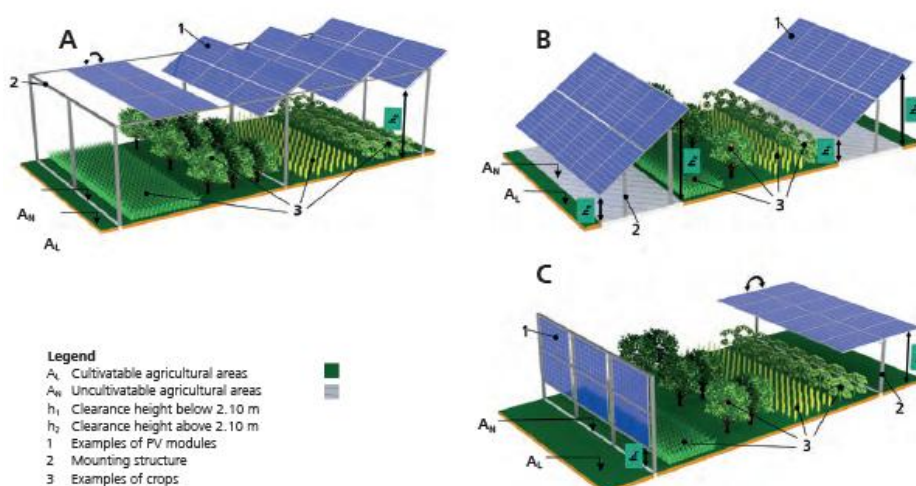


Figura 19 - Esquema das categorias e formas de utilização do solo de agrovoltaicos de acordo com a norma alemã (Trommsdorff, M., et al. 2022).

Esta tecnologia contribui para os objetivos do Pacto Ecológico Europeu (PEE) que prevê uma capacidade adicional de 450 GWp até 2030 (Pacto Ecológico Europeu, 2019). Estima-se que se apenas 1% dos terrenos agrícola forem utilizados por sistemas agrovoltaicos será possível instalar cerca de 1 TW de capacidade fotovoltaica, ultrapassando as metas estabelecidas e reforçando a importância do setor (Chatzipanagi et al., 2023).

Os sistemas agrovoltaicos são usualmente classificados de acordo com o tipo de sistema (fechado ou aberto), o tipo de estrutura que suporta os painéis fotovoltaicos (entre espaços, suspensos ou integrados em estufas), a possibilidade de inclinação dos módulos (fixos, de um eixo ou de dois eixos) e o contexto de produção agrícola em que é instalado (pastagens, culturas arvenses, horticultura e aquacultura) (Figura 20) (Trommsdorff et al. 2022). Os sistemas fechados englobam estufas com painéis fotovoltaicos, enquanto os sistemas abertos possuem painéis suspensos em situações como, por exemplo, pastagens, culturas arvenses, horticultura, aquacultura. Alguns autores classificam estes sistemas apenas em função do tipo de produção vegetal, animal ou de promoção dos serviços de ecossistema (Walston et al., 2022).

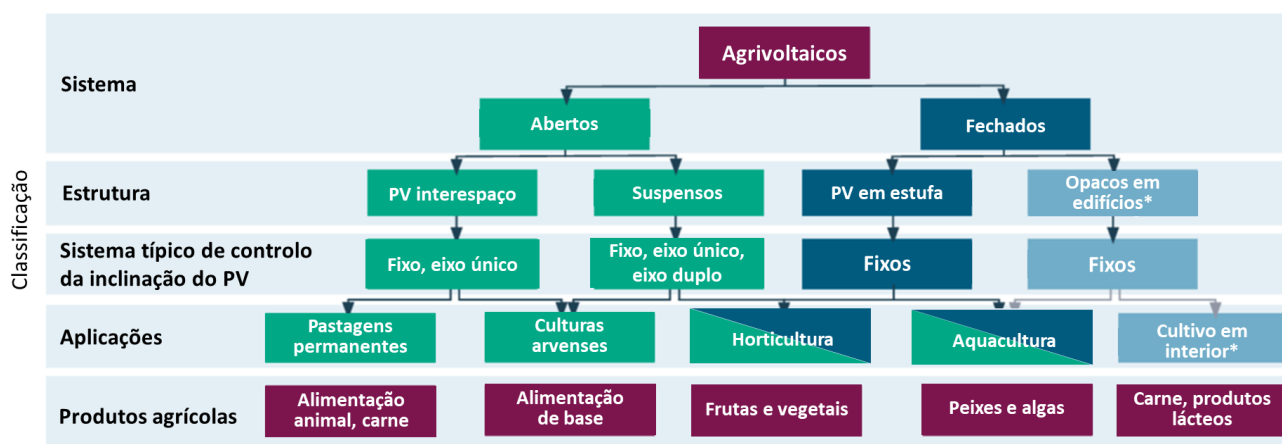


Figura 20 - Classificação de sistemas agrovoltaicos (adaptado de Trommsdorff et al. 2022).

*Não na aplicação agrovoltaica.

Embora não haja uma definição consolidada para os sistemas agrovoltaicos a nível europeu, alguns Estados-Membros, como a Alemanha, Itália e França já estabeleceram diretrizes claras sobre a sua utilização, enquanto outros, como a Espanha, Países Baixos e Polónia estão em fase de definição e desenvolvimento de quadros regulatórios e de mecanismos de apoio à implementação (Chatzipanagi et al., 2023). A Alemanha procedeu à criação de uma norma técnica que estabelece requisitos para a continuidade da atividade agrícola e limita a perda de produtividade agrícola em um terço do rendimento original (DIN SPEC 91434:2021-05), enquanto a França regulamentou o regime agrovoltaico, exigindo que as instalações contribuam para a adaptação às alterações climáticas e ao bem-estar animal (Chatzipanagi et al., 2023). A Itália Introduziu diretrizes pormenorizadas sobre a tipologia dos agrovoltaicos e os critérios de elegibilidade para subsídios (Chatzipanagi et al., 2023). Em Portugal, embora não exista ainda uma definição consensual nem publicação na legislação, a sua inclusão foi contemplada no PNEC 2030, prevendo-se a criação de guias técnicos para orientar a adoção do sistema agrovoltaico, a promoção do autoconsumo e das comunidades de energia renovável e incentivando a modernização de infraestruturas agrícolas para integrar a produção de energia localmente (Quadro 5).

Quadro 5 - Quadro resumo das definições legais de sistemas agrovoltaicos e os principais requisitos de alguns Estados-Membros da UE (Adaptado de Chatzipanagi et al., 2023).

País	Definição de agrovoltaico	Normas/ Legislação	Principais requisitos
Alemanha	Uso combinado do mesmo terreno para a produção agrícola (uso principal) e a produção fotovoltaica (uso secundário).	DIN SPEC 91434:2021-05	<ul style="list-style-type: none"> - A produção não deve reduzir o rendimento agrícola em mais de 33% e deve evitar erosão e danos permanentes para o terreno. - Categoria I: cobertura com altura vertical > 2,1 m e menos de 10 % de perda de terreno. - Categoria II: espaço intermédio com distância vertical < 2,1 m e menos de 15 % de perda de terreno.
Itália	Definição baseada em diretrizes do Ministério do Ambiente e da Segurança Energética (MITE) que estabelece critérios para caracterizar sistemas agrovoltaicos, de acordo com a sua tipologia.	Guidelines do MITE e CEI-PAS 82-93 (Comité Eletrotécnico Italiano)	<ul style="list-style-type: none"> - Requisito A: área agrícola efetiva <70% e cobertura de PV < 40%. - Requisito B: continuidade da atividade agrícola, com produção de energia > 60% com PV convencional. - Requisitos C: para projetos inovadores com PV sobre elevados. - Requisitos D e E: sistemas de monitorização (poupança de água, fertilidade do solo, microclima, etc.).

País	Definição de agrovoltaiço	Normas/ Legislação	Principais requisitos
França	O sistema é considerado agrovoltaiço se os painéis fotovoltaicos estiverem na mesma parcela que a produção agrícola e fornecerem serviços diretos (ex.: proteção, bem-estar animal) sem diminuir expressivamente a produção.	Guidelines da Agência para a Transição Ecológica e Associação Francesa de Normalização (AFNOR) propõe um rótulo.	<ul style="list-style-type: none"> - As instalações devem preservar a atividade agrícola, garantindo que a produção e o rendimento do agricultor não sejam prejudicados. - Devem ter reversibilidade. - Garantir a contribuição direta para serviços agronómicos.
Espanha	Definição a ser elaborada Agência Espanhola da Energia (IDAE).	Em elaboração pela Agência Espanhola da Energia (IDAE).	Necessidade de processo de licenciamento célere e definição de quotas para ligação à rede.
Polónia	Definição a ser elaborada pela Associação Fotovoltaica Polaca. Contudo, painéis fotovoltaicos (PV) convencionais podem ser aplicados à agricultura.	Legislação aplicada a PV convencionais.	Preservação da caracterização do terreno para evitar alterações na tributação.
Países Baixos	Uso de painéis em terrenos agrícolas é permitido, desde que não interfira com as atividades	Normas da PAC e Regulamentos Ambientais.	Instalação deve manter a função agrícola, alterações podem excluir benefícios.
Portugal	Definição a ser realizada no âmbito do Plano Nacional Energia e Clima (PNEC 2030).	Em elaboração no âmbito do PNEC 2030.	Necessidade de compatibilidade com os diferentes modelos de atividade, cumprimento das normas ambientais e de uso do solo e licenciamento da instalação.

Apesar da falta de um conceito consolidado nos países da UE, esta tecnologia tem demonstrado inúmeros benefícios pelo sombreamento que proporciona às culturas, protegendo-as de escaldões, minimizando a evaporação e a evapotranspiração nos períodos mais quentes o que reduz as necessidades de rega, e minimizando perdas de produção, tornando assim a produção agrícola mais resiliente a fenómenos extremos causados pelas alterações climáticas (Agostini et al., 2021; Touil et al., 2021). Contribui ainda para atenuar a erosão do solo mantendo a sua fertilidade (Hernandez et al., 2019), potenciar serviços de ecossistema (Proctor et al., 2021) e, de uma forma global, promover a maior rentabilidade das explorações agrícolas pela redução da fatura energética (Hassanien et al., 2016) (Quadro 6).

Quadro 6 - Vantagens e desvantagens de um sistema agrovoltáico (Agostini et al., 2021; Hernandez et al., 2019; Hassanien et al., 2016; Proctor et al., 2021; Touil et al., 2021).

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> - Uso eficiente do solo - Proteção contra agentes climáticos - Redução de necessidades de água - Produção agrícola mais resiliente - Atenuação da erosão - Potenciação de serviços de ecossistema - Promoção da rentabilidade agrícola 	<ul style="list-style-type: none"> - Soluções à medida de cada sistema produtivo ainda estão em desenvolvimento - Elevado custo inicial de investimento - Indefinição do quadro legal

Esta tecnologia tem sido testada na produção de fruta (ex. maçã, pera, uva, kiwi, pequenos frutos), hortícolas, cereais e pastagens, com resultados promissores, mas que carecem de mais investigação para definição de soluções adaptadas a cada sistema que não comprometam a produtividade agrícola (Gorjian et al., 2022; Magarelli et al., 2024; Mamun et al., 2022; Sirnik et al., 2024).

As aplicações desta tecnologia em Portugal são ainda escassas. Contudo, foram aprovados cinco projetos no âmbito da transição agro-energética que já englobam estas tecnologias inovadoras (Agroglobal, 2023): projeto

- *AgriFlex – Flexibilidade do consumo de energia na agricultura para a transição energética*, liderado pela Escola Superior Agrária de Coimbra – Instituto Politécnico de Coimbra (ESAC-IPC);
- *Fruit PV – Green&Smart Energy Orchards*, liderado pelo Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, I.P. (INIAV IP);
- *Tools4AgriEnergy – Ferramentas para a operacionalização de CER/ACC no agroalimentar*, liderado pelo Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência (INESC TEC);
- *RE-FEED – Renewable energy production at Farm level for Energy Efficiency and Defossilization*, liderado pelo Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa (ISA-ULisboa);
- *CASEUS – Combined use of renewable energy sources to improve energy efficiency in cheese industry*, liderado pelo Instituto Politécnico de Beja (IPBeja).

Embora esta solução inovadora possa constituir uma oportunidade para o setor agrícola com vários benefícios para a produção e a redução da fatura energética sem perda de solo útil, ainda enfrenta desafios técnicos e económicos que podem dificultar a sua ampliação. Para que esta tecnologia se evolua eficazmente, tem de existir uma compatibilidade entre a produção agrícola e a produção de eletricidade, investigação e desenvolvimento na área, a simplificação dos processos de licenciamento e a inclusão dos agrovoltáicos nos planos estratégicos da PAC, assegurando incentivos financeiros

para os agricultores que adotem esta abordagem inovadora (Agostini et al., 2021; Chatzipanagi et al., 2023).

1.4.2 Gestão pelo lado da procura na agricultura

A interação entre os sistemas agrícolas e energéticos tem um impacto relevante na transição energética (Usman & Makhdum, 2021). Vários têm sido os trabalhos que analisam o potencial de flexibilidade oferecido pela gestão do consumo de eletricidade, nomeadamente em setores como a indústria, os serviços e o residencial, entre outros (Anjo et al., 2018). No entanto, o setor agrícola tem sido negligenciado, apesar de possuir alguns equipamentos que possuem potencial de flexibilidade e que podem melhorar a estabilidade da rede (Aghajanzadeh et al., 2019).

Por exemplo, nas explorações agrícolas ao ar livre, os sistemas de irrigação representam a maior percentagem do consumo energético, uma vez que, na sua maioria, as bombas de rega extraem a água de poços subterrâneos e/ou de recursos hídricos superficiais. Contudo, como a maioria do pico de produção solar coincide com a maior evapotranspiração das culturas, é necessária uma gestão pelo lado da procura e a otimização da água de forma a suprir as necessidades produtivas (Golmohamadi, 2022). Nas explorações em estufas, os sistemas de arrefecimento e aquecimento são os que apresentam maior potencial de flexibilidade, podendo as bombas de calor ser utilizadas para aumentar a eficiência energética destes sistemas (Golmohamadi, 2022). Na produção animal, as explorações avícolas, suinícolas e leiteiras são as mais importantes para fornecer flexibilidade, uma vez que são capazes de deslocar o consumo de energia para fora das horas de ponta em que os preços são mais elevados (Golmohamadi, 2022). Assim, quer se trate de explorações agrícolas ao ar livre, em estufa ou pecuárias, os equipamentos de maior consumo apresentam oportunidades significativas para implementar medidas de flexibilidade, contribuindo para a eficiência energética das explorações e para a estabilidade da rede elétrica (Golmohamadi, 2022).

De forma a otimizar a flexibilidade energética nas explorações agrícolas, é essencial caracterizar o potencial de resposta à procura, tendo em conta o nível de automatização, uma vez que este fator influencia o consumo e a controlabilidade da eletricidade (Aghajanzadeh et al., 2019). A gestão das cargas é essencial para melhorar a eficiência energética das explorações e reduzir os custos e terá de ter em conta os períodos de produção, os preços de aquisição de energia e as condições edafoclimáticas (Golmohamadi, 2020). Desta forma, respeitando as limitações existentes e otimizando a utilização dos fatores de produção, as ações podem incluir a interrupção, o adiamento ou a antecipação do funcionamento de equipamentos para horários com preços mais económicos da energia e/ou para períodos de maior produção fotovoltaica, bem como o ajuste da temperatura em sistemas de aquecimento, arrefecimento ou refrigeração (Golmohamadi, 2022).

As tentativas de implementação de programas de gestão do lado da procura na agricultura não têm sido bem-sucedidas e o trabalho já desenvolvido a nível internacional permite antever algumas dificuldades na execução de serviços de flexibilidade (Aghajanzadeh & Therkelsen, 2019). As restrições

operacionais na agricultura, associadas a processos agrícolas convencionais e a ausência de automação e tecnologias no terreno, bem como os incentivos insuficientes, a baixa remuneração dos agricultores e a motivação dos mesmos, são ainda desafios a serem superados. Estas limitações impedem os produtores agrícolas de tirar partido de benefícios através de soluções de flexibilidade e são igualmente obstáculos à própria estabilidade da rede elétrica (Aghajanzadeh & Therkelsen, 2019) (Figura 21).



Figura 21 - Barreiras à implementação de soluções de flexibilidade no setor agrícola (adaptado de Aghajanzadeh & Therkelsen, 2019).

Investir no conhecimento do setor no domínio da energia permitirá ampliar a competitividade e reduzir custos, diminuindo a dependência de combustíveis fósseis. A transição energética apresenta-se como uma oportunidade para estimular a aposta na economia circular, na eficiência energética e nas fontes de energias renováveis, de forma a implementar uma gestão do consumo de energia mais eficaz e sustentável.

1.5 Objetivos e estrutura do Relatório de Estágio

O presente relatório foi realizado no âmbito do Estágio Profissionalizante do Mestrado em Gestão Ambiental da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Coimbra (ESAC-IPC). O estágio foi desenvolvido no Centro de Inovação e Produção em Agricultura Sustentável da ESAC-IPC (AgroBioTech) e integrado no projeto "AgriFlex – Flexibilidade do consumo de energia na agricultura para a transição energética" (PRR-C05-i03-I-000214). Como entidade de acolhimento, o estágio contou com o Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores de Coimbra (INESC Coimbra). Os principais objetivos do AgriFlex consistem em contribuir para a transição energética na agricultura, promovendo uma atividade agrícola mais competitiva, resiliente e sustentável através da promoção de energias renováveis, do incremento da eficiência energética, da redução dos custos com energia e da oferta de serviços de flexibilidade à rede elétrica. Neste contexto, este trabalho de estágio analisa

as oportunidades para uma melhor gestão da rede elétrica através da oferta de serviços de flexibilidade pelo setor agrícola, com foco na aplicação de tecnologias agrovoltáicas.

A estrutura do relatório organiza-se em cinco capítulos que abordam o contexto e motivação, a caracterização do caso de estudo, a metodologia, os resultados e a discussão, bem como as conclusões e implicações deste estudo para a inovação e sustentabilidade do setor agrícola. Deste modo, apresenta-se a estrutura sequencial dos capítulos:

- No primeiro capítulo, é feita a introdução ao tema do relatório, destacando a importância da transição energética e os desafios associados à gestão do consumo de energia. São ainda discutidos conceitos como flexibilidade energética, autoconsumo, autossuficiência e o enquadramento legal relevante neste âmbito. Além disso, são abordados pilotos de flexibilidade em Portugal e o impacto da transição energética no setor agrícola, incluindo a implementação de FER através de soluções inovadoras, nomeadamente os sistemas agrovoltáicos essenciais para as metas de descarbonização.
- O segundo capítulo descreve e caracteriza o caso de estudo, o Centro AgroBioTech e o projeto AgriFlex, justificando-se a sua relevância no âmbito da transição energética e na descarbonização do setor.
- O terceiro capítulo são apresentados os métodos e materiais utilizados. Inicialmente, é descrito o estudo exploratório sobre a transição energética na agricultura. Em seguida, são detalhados os procedimentos da auditoria energética e a abordagem adotada para a avaliação da flexibilidade.
- No quarto capítulo discutem-se os resultados, nomeadamente os principais resultados de um estudo exploratório de âmbito nacional realizado a entidades do setor agrícola. Caracterizam-se as atividades agrícolas e cargas do estudo de caso, bem como se estabelecem os perfis de consumo de energia elétrica. Apresenta-se, igualmente, a gestão integrada de recursos energéticos, destacando os desafios técnicos, organizacionais e comportamentais identificados. Por fim, apresenta-se os resultados de um breve diagnóstico energético realizado a duas pequenas-médias empresas (PME) agrícolas.
- No capítulo final, apresentam-se as conclusões do estudo, as limitações encontradas, os contributos e as perspetivas para trabalhos futuros.

2. Caso de Estudo: AgroBioTech - Centro de Inovação e Produção em Agricultura Sustentável da ESAC-IPC e o projeto AgriFlex

A Escola Superior Agrária de Coimbra é uma instituição com uma história centenária, iniciada no século XIX, na área do ensino e prestação de serviços à comunidade (<https://www.esac.pt/>). Atualmente, está integrada no Instituto Politécnico de Coimbra, sendo uma das unidades orgânicas que está na sua génese. Encontra-se localizada no espaço periurbano da cidade de Coimbra, implantada num campus com 140 hectares com características rurais, onde a ocupação do solo é maioritariamente agrícola, seguida por usos agropecuário, florestal, social, agroflorestal e inculto. A principal atividade da ESAC é o ensino superior, especializando-se em setores na área da agricultura como produção biológica, biotecnologia, agroalimentar, gastronomia, agroflorestal, enfermagem veterinária, ecoturismo e ambiente. Além do ensino, o campus da ESAC é utilizado como laboratório vivo (*Living Lab*) para o desenvolvimento de outras atividades, como investigação avançada apoiada por financiamentos europeus e nacionais, serviços à comunidade, produção agrícola e pecuária, transformação agroalimentar e conservação de áreas florestais. O AgroBioTech localiza-se no antigo ovil da ESAC com 12 hectares em modo de agricultura biológica certificada (Figura 22).



Figura 22 - Centro de Inovação e Produção em Agricultura Sustentável da ESAC-IPC (AgroBioTech).

O AgroBioTech possui um conjunto diversificado de atividades, onde se desenvolvem atividades de ensino, investigação e produtivas, nomeadamente produção agrícola e animal (Quadro 7). No centro, a utilização de cargas nas atividades agrícolas ocorre de forma sazonal, com um aumento significativo no uso de equipamentos durante o período de verão devido às necessidades de rega (Figura 23).

Quadro 7 - Caracterização do tipo de produção existente no AgroBioTech.

Atividades de Ensino, Investigação e Produtivas	
Produção Agrícola	Pastagens, forragens, horticultura, pomar de medronheiros
Produção Animal	Ovinos, coelhos, galinhas, porcos

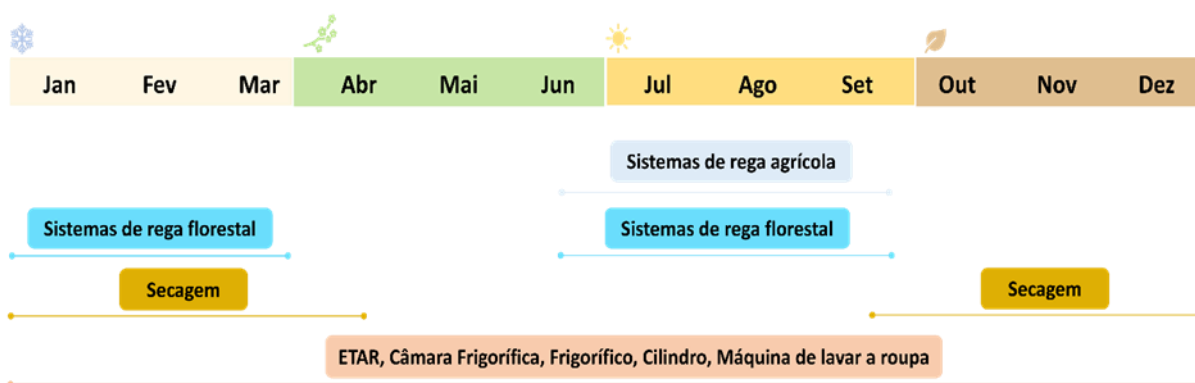


Figura 23 - Calendarização das atividades no AgroBioTech.

O centro tem uma potência contratada instalada de 41,41 kVA, em baixa tensão especial (BTE) (Quadro 8) com um regime tarifário tetra-horário, ciclo diário, que inclui quatro tarifas consoante o período do dia em que a energia é consumida (ToU): ponta (P) - corresponde ao período em que o preço da energia é mais elevado; cheias (C); vazio normal (VN) e super vazio (SV) - corresponde ao período em que o preço da energia é mais reduzido (Regulamento n.º 828/2023). Os períodos horários são iguais em todos os dias do ano, exceto quando há alteração da hora legal refletindo-se para cada ciclo um horário de verão e de inverno (Figura 24).

Quadro 8 - Contratualização de energia elétrica do AgroBioTech.

AGROBIOTECH – ESAC-IPC			
CPE	Potência contratada	Nível de tensão	Tarifa
Consumo: PT0002000111325483ZN	41,41 kVA	Baixa Tensão especial (BTE)	Tetra-horária, ciclo diário

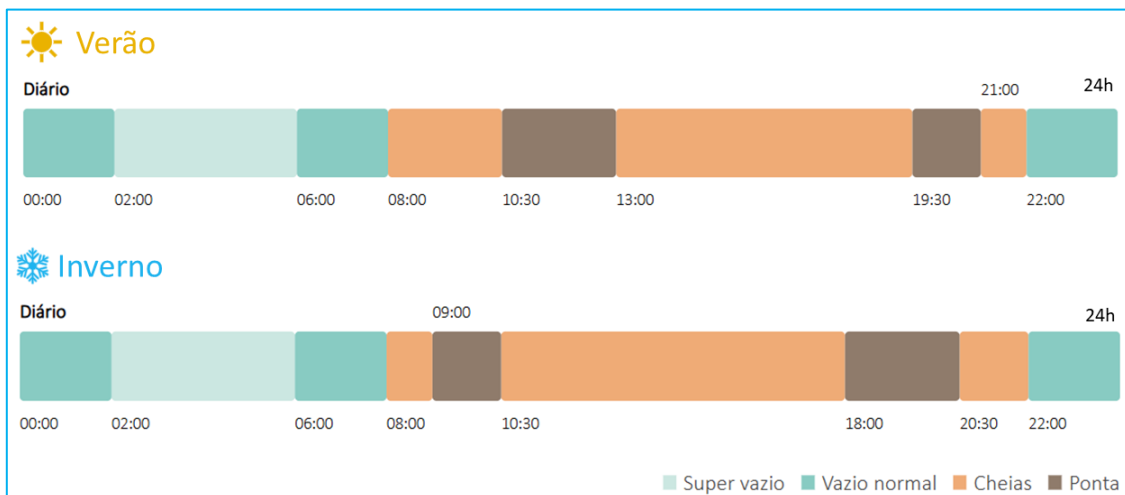


Figura 24 - Períodos horários do ciclo diário em vigor em Portugal continental (ERSE).

Com o objetivo de descarbonizar e reduzir a dependência da rede elétrica, bem como diminuir os custos associados ao consumo de energia, foram instalados painéis fotovoltaicos para autoconsumo, incluindo 24,48 kWp em painéis fotovoltaicos rígidos, 6,8 kWp em painéis agrovoltáticos bifaciais e 9,92 kWp em painéis agrovoltáticos flexíveis e para venda à rede 20 kWp em regime de minigeração (Quadro 9). Foi instalado um sistema de armazenamento de baterias com capacidade de 22,08 kWh, permitindo acumular a energia elétrica produzida durante os períodos de maior radiação solar e utilizá-la em momentos de menor produção ou quando os preços da eletricidade são mais elevados (Figura 25).

Quadro 9- Caracterização das tecnologias de produção e armazenamento de energia no AgroBioTech.

Tipologia de produção	Tecnologia fotovoltaica		Características
Autoconsumo	Painéis rígidos no telhado	Sistema Fronius	24,48 kWp (48 x 510W)
	Agrovoltáticos flexíveis em estufa	Sistema AgriFlex	9,92 kWp (32 x 310W)
	Agrovoltáticos rígidos bifaciais	(FoxESS)	6,8 kWp (20 X 340W)
Minigeração	Painéis solares rotativos	N.A.	2 x 10 kWp
Tecnologia de Armazenamento			
	Baterias	Sistema Fronius	22,08 kWh



Figura 25 – Tecnologias de produção de energia fotovoltaica no AgroBioTech.

A rede elétrica do AgroBioTech proporciona energia elétrica para os vários usos que ali acontecem tendo vindo a ser gradualmente melhorada e atualizada. A Figura 26 apresenta um esquema representativo dos circuitos existentes à data de realização do presente trabalho.

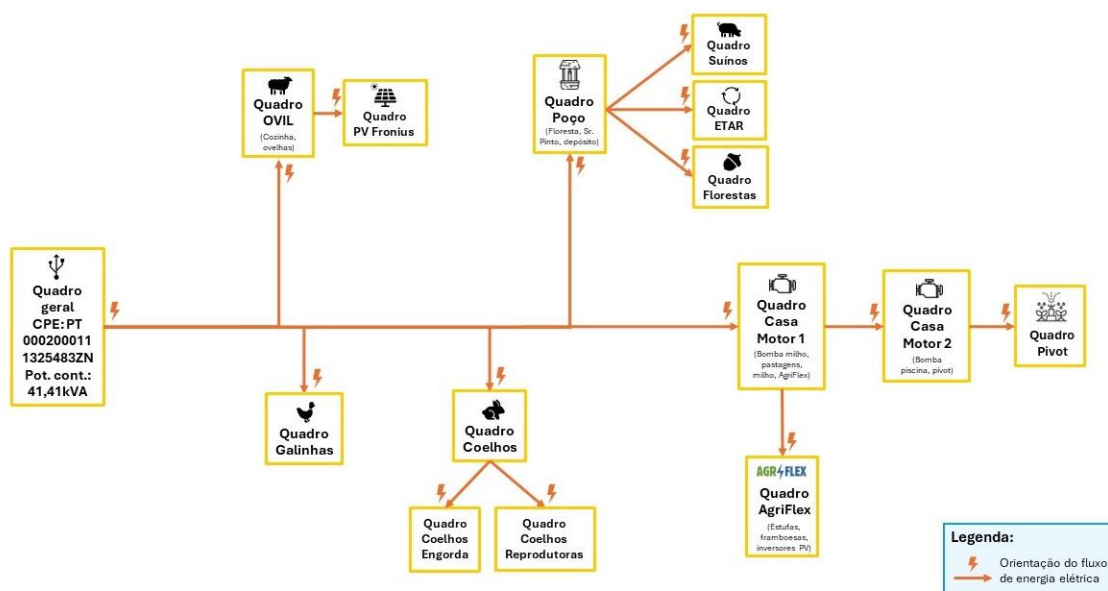


Figura 26 – Esquema ilustrativo da rede elétrica no AgroBioTech.

O projeto AgriFlex tem como principal objetivo contribuir para a transição energética na agricultura, promovendo a sua competitividade, resiliência e sustentabilidade através da promoção de energias renováveis, aumentando a eficiência energética, reduzindo os custos com eletricidade e oferecendo serviços de flexibilidade à rede elétrica (<https://agriflex.webnode.pt/>). Em particular, este visa: promover as energias renováveis, a produção descentralizada de eletricidade e a descarbonização, utilizando soluções agrovoltáicas; incrementar a eficiência energética e reduzir custos com energia, recorrendo às melhores tecnologias e estratégias de gestão e controlo de equipamentos elétricos, de forma a alinhar o consumo de eletricidade com períodos mais baratos do tarifário ou de maior produção de energia renovável descentralizada; e contribuir para uma melhor gestão da rede elétrica através de serviços de flexibilidade oferecidos pelo setor agrícola, aumentando a rentabilidade das

explorações agrícolas (Figura 27 **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**). Para alcançar este objetivo, o AgriFlex <https://agriflex.webnode.pt/> prevê:

- Desenvolvimento e instalação de soluções agrovoltáicas para produção de hortícolas em estufa e pomares de pequenos frutos, com a instalação de duas áreas piloto, uma na ESAC-IPC e outra no Polo de Inovação de Viseu (CCDRC);
- Instalação de soluções de gestão e controlo de equipamentos elétricos que minimizem a fatura energética das explorações agrícolas;
- Avaliação do potencial de serviços de flexibilidade prestados pela atividade agrícola ao setor elétrico;
- Realização de ações de capacitação técnica e sensibilização dos agentes do setor agrícola nesta temática.

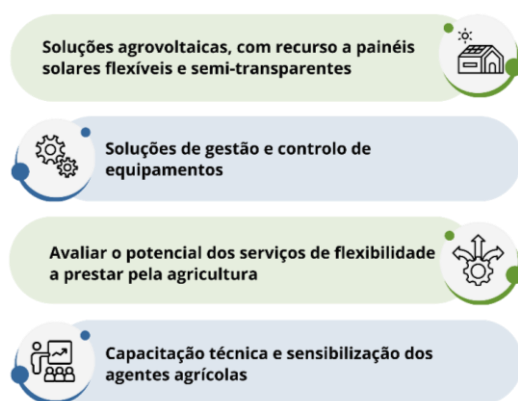


Figura 27 - Atividades desenvolvidas no âmbito do projeto AgriFlex (<https://agriflex.webnode.pt/>).

O projeto iniciou-se em junho de 2023 e decorre até setembro de 2025, contando com um investimento total de cerca de 694 k€ e a parceria de outras instituições de ensino superior, unidades de investigação e desenvolvimento tecnológico, uma entidade governamental e cinco pequenas e médias empresas do setor agrícola, dedicadas à produção de pequenos frutos e de hortícolas. Colaboram com a Agrária de Coimbra neste projeto: AGIM - Associação para os Pequenos Frutos e Inovação Empresarial; Alendão - Floricultura e Apicultura, Lda.; Boca do Lobo, Lda.; COTECOSOL - Soluções Tecnológicas e Energias Renováveis; COTHN - Centro Operacional e Tecnológico Hortofrutícola Nacional (Centro Competências); CCDRC - Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro, I.P.; Detalhe Campestre, Unipessoal, Lda.; INIAV - Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária; Nutrix, Lda.; Prilux, Lda.; Quinta do Celão, Unipessoal, Lda. e Universidade de Coimbra (UC).

No âmbito do AgriFlex foram instaladas no AgroBioTech dois pilotos com soluções agrovoltáicas com recurso a painéis flexíveis e rígidos integrados em estufas e em estruturas sobrelevadas fixas, desenhadas à medida dos processos produtivos de culturas hortícolas e de pequenos frutos

(framboesas) em condições reais de produção. Estes pilotos são suportados por ensaios de produtividade agrícola que estudam o sombreamento gerado por estas soluções e a viabilidade económica da solução, integrando as duas componentes, agrícola e energética (Figura 28).



Figura 28 - Pilotos agrovoltaicos em estufa e produção de framboesas.

3. Métodos e Materiais

A metodologia adotada neste estudo teve como principal objetivo a análise da flexibilidade do consumo de energia na agricultura, considerando os principais desafios para o setor. É composta por duas componentes principais: um estudo exploratório a agentes do setor agrícola e um estudo de caso a explorações agrícolas reais recorrendo a uma abordagem multidisciplinar.

3.1 Estudo exploratório

Numa fase inicial, foram conduzidos inquéritos a produtores agrícolas nacionais e entidades representativas do setor para identificar desafios e barreiras à eficiência energética, ao autoconsumo, e à adoção de serviços de flexibilidade. Os inquéritos abrangeram cinco dimensões da transição energética: I) adoção de medidas de eficiência energética, II) formas de energia renovável descentralizada, III) práticas de flexibilidade, IV) participação em mercados de energia e de V) carbono.

Foram realizados dois inquéritos no período de outubro a dezembro de 2023: um a produtores agrícolas (Inquérito 1) e outro a entidades que os representam (Inquérito 2) (A4, em anexo). Os inquéritos foram operacionalizados através de formulário do Google®, tendo a mensagem de pedido de divulgação do estudo sido remetida a entidades nacionais representantes da atividade, solicitando o reenvio do inquérito aos seus associados. Foi obtido o consentimento explícito dos participantes conforme exigido pelo Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (RGPD), tendo sido assegurado o anonimato dos respondentes. Os dados foram alvo de tratamento com recurso a ferramentas de estatística descritiva simples utilizando o software Microsoft Excel®.

O Inquérito 1 focou-se na perspetiva do agricultor e nas características da atividade, bem como na identificação de medidas já adotadas, de motivações e eventuais barreiras. O Inquérito 2 focou-se nas entidades relacionadas e representativas da atividade agrícola, identificando o tipo de apoio prestado em matéria de transição energética, assim como os principais desafios que enfrentam (Figura 29).

Os resultados deste estudo exploratório foram publicados na edição n.º 50 da revista *AGROTEC*, dedicada ao tema “Eficiência e Transição Energética”, no artigo intitulado “[Desbloquear a Flexibilidade: O papel da agricultura na transição energética](#)”. Além disso, os principais resultados foram apresentados no seminário “*Transição Energética na Agricultura*”, realizado a 14 de dezembro de 2023 na ESAC, como parte da ação de disseminação do Projeto AgriFlex.



Figura 29 – Dimensões da transição energética estudas nos inquéritos realizados aos produtores agrícolas (Inquérito 1) e entidades representativas da atividade agrícola (Inquérito 2).

3.2 Avaliação da flexibilidade em explorações agrícolas

Na avaliação da flexibilidade em explorações agrícolas recorreu-se a uma abordagem *bottom-up* e multidisciplinar, combinando métodos de auditoria energética com entrevistas semiestruturadas e o envolvimento dos colaboradores. A metodologia foi estruturada em várias etapas sequenciais, permitindo uma abordagem sistemática à análise da flexibilidade energética na agricultura. Utilizou-se o AgroBioTech como o principal caso de estudo, tendo sido este sido complementado por diagnósticos simples realizados a duas pequenas e médias empresas (PME) agrícolas de produção de pequenos frutos, parceiras do AgriFlex.

Inicialmente, foram realizadas auditorias energéticas com base na metodologia proposta por Almeida et al. (2007) e ADENE (2019), com o objetivo de conhecer os usos e consumos de energia, avaliar a eficiência energética dos equipamentos e identificar possíveis oportunidades de melhoria. Considerando as características da instalação e o propósito das auditorias, optou-se pela realização de uma auditoria energética simples, que consiste na avaliação da situação energética da instalação, complementada por entrevistas e observação visual para identificar medidas de melhoria, recorrendo à recolha e análise de dados documentais, com medições em determinadas áreas da instalação (ADENE, 2019). A auditoria simples realizada seguiu as etapas seguintes (Figura 30):

- (1) Planeamento e recolha de dados documentais:
 - a. Definição do plano de auditoria;
 - b. Recolha de informação, nomeadamente faturas de eletricidade, dados de produção e caracterização do processo produtivo e dos equipamentos;
- (2) Levantamento e medições de consumo de energia:

- a. Identificação dos principais equipamentos, incluindo características técnicas, regime de funcionamento e possibilidades de controlo;
 - b. Realização de medições de consumo de energia aos principais equipamentos;
 - c. Elaboração de esquemas de fluxo de energia e água da exploração (A2, em anexo);
- (3) Tratamento e análise da informação:
- a. Elaboração de diagramas de carga (DC) e dos perfis de produção e consumo da instalação;
 - b. Identificação e implementação de oportunidades de melhoria.



Figura 30 - Etapas da auditoria energética (ADENE, 2019).

A auditoria simples apresenta diversas vantagens, tais como a ausência da necessidade de um planeamento detalhado, a rápida e simples execução num curto período e o baixo custo de implementação. No entanto, possui algumas desvantagens, incluindo a dificuldade de garantir a fiabilidade dos dados recolhidos, a limitação na avaliação da eficiência dos processos e a dificuldade de estimar poupanças e definir ações de melhoria (ADENE, 2019). A recolha de dados documentais, nomeadamente faturas de eletricidade, abrangeu os anos de 2022, 2023 e 2024, permitindo um primeiro levantamento do perfil de consumo energético da exploração e a identificação de variações ao longo desses períodos.

No centro AgroBioTech, a produção de energia é monitorizada através de dois sistemas distintos: a plataforma Solarweb[®], da Fronius, e plataforma FoxCloud 2.0[®], da FoxESS. A partir da Solarweb[®] é possível monitorizar em tempo real a produção de energia pelos painéis solares fotovoltaicos instalados no telhado, armazenamento e consumo total do CPE (Figura 31). Os sistemas agrovoltaicos, que incluem os painéis flexíveis e rígidos bifaciais, são monitorizados através da FoxCloud2.0[®] (Figura 32). Ambas as plataformas permitem visualizar em tempo real e exportar dados diários de produção e consumo de energia, possibilitando a visualização da quantificação do autoconsumo e da autossuficiência e do rendimento do sistema. Para além destas plataformas, foram extraídos os dados de consumo do CPE a partir da plataforma das E-REDES.

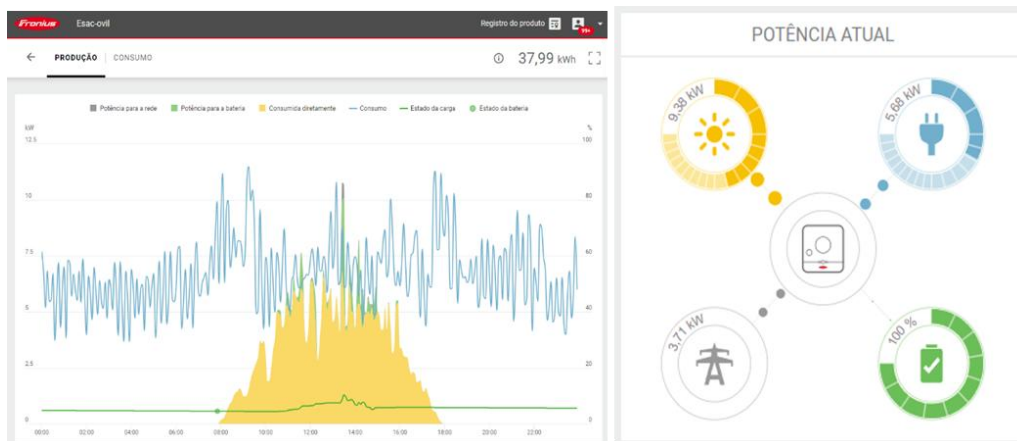


Figura 31 – Interface da plataforma Solarweb® (Fronius).



Figura 32 - Interface da plataforma FoxCloud2.0®.

A monitorização dos equipamentos foi realizada entre julho de 2023 a dezembro de 2024. Para a medição dos equipamentos trifásicos utilizou-se um analisador de qualidade de energia trifásico Fluke 1738, adequado para monitorizar a qualidade de energia, carga e potência (Figura 33a). Este dispositivo permite obter dados dos equipamentos elétricos, facilitando a análise em tempo real da qualidade da potência e energia (Figura 33b). A medição das cargas trifásicas foi realizada, em média, durante sete dias, em intervalos de minuto em minuto, sendo os dados extraídos com o software Fluke Energy Analyzer® e os dados transformados no Microsoft Excel® de forma a produzir os diagramas de carga.

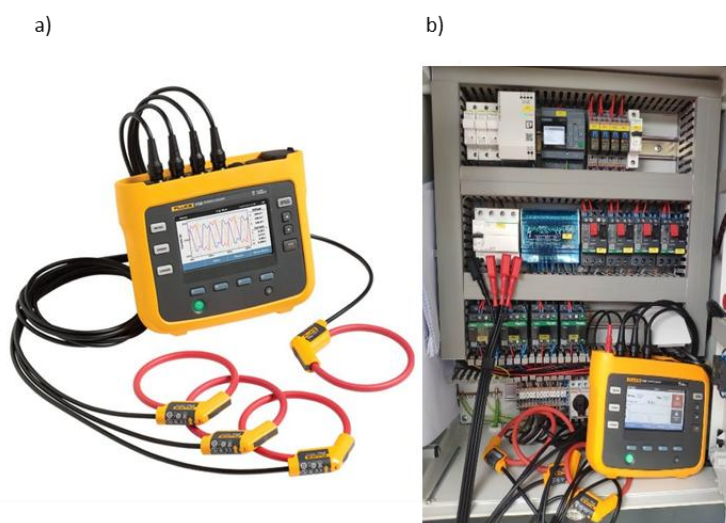


Figura 33 – a) Registador de energia trifásico Fluke 1738 (<https://www.fluke.com/pt-pt>) e b) Medição in loco com registador Fluke 1738.

Adicionalmente, foram utilizados dois registadores de tensão e temperatura (EasyLog USB-datalogger) (Figura 34). O registador de tensão (EasyLog EL-USB-5) foi utilizado para registar a contagem de eventos e as mudanças de estado de tensão das diferentes cargas (Figura 34a). O registador de temperatura (Easylog EL-USB-2-LCD) fornece dados de temperatura de equipamentos de frio, permitindo monitorizar as gamas de temperaturas necessárias para a qualidade de eficiência na conservação dos produtos agrícolas e medicação veterinária. Este dispositivo possui uma faixa de medição entre os -35 C e $+80^{\circ}\text{C}$ e regista, igualmente, a humidade relativa e ponto de orvalho (Figura 34b). A medição destas cargas foi realizada, em média, durante 2 a 3 dias, entre novembro e dezembro de 2023, com os dois Easyloggers em simultâneo ou, no caso das cargas não termostáticas, apenas com o registador de tensão. Os dados foram extraídos usando o software EasyLogUSB® e, posteriormente, tratados no Microsoft Excel®.

O Quadro 10 ilustra a tipologia de dados recolhidos através das plataformas Solarweb®, FoxCloud2.0® e E-REDES e dos equipamentos Fluke 1738 e EasylogUSB.

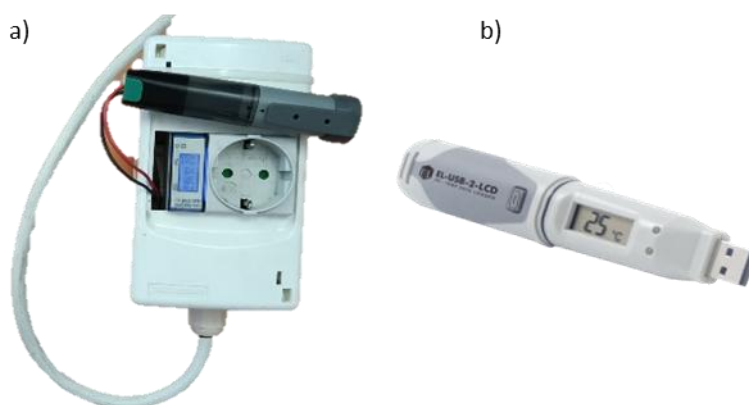


Figura 34 – a) Registador de dados de tensão (EASYLOG EL-USB-5) e b) e) Registador de temperatura (EASYLOG EL-USB-2-LCD).

Quadro 10 – Tipologia de dados recolhidos durante as auditorias energéticas.

Dados	Unidades	Resolução	Fonte	CPE	Inversor SN	Modelo Inversor	Data de instalação	Formato ficheiro
Potência Ativa CPE	kW	15 min	E-REDES	PT000200011 1325483ZN	-	-	-	xlsx
Produção PV telhado	Wh	5 min	Fronius	PT000297011 1325483LT	-	Symo GEN24 10.0 Plus	07/2023	xlsx
Produção PV AgriFlex estufa	kW	4 min	FoxESS	-	603T10302 92H088	T10-G3	05/24	csv
Produção PV AgriFlex framboesas	kW	4 min	FoxESS	-	603T50202 9FC049	T5-G3	06/24	csv
Potência ativa cargas	kW	1 min	Fluke 1738	-	-	-	-	xlsx

A caracterização das cargas da exploração identificou 26 equipamentos caracterizadores do centro, os quais foram classificados conforme o tipo de produção e agrupados de acordo com os serviços de energia prestados, como ilustrado em A3, em anexo.

No setor agrícola, a maior parte dos equipamentos são utilizados durante os meses de verão, e no centro não é diferente. Para compreender as necessidades e os desafios energéticos da exploração, é essencial conhecer os perfis de utilização de cada equipamento. Considerando que a exploração possui dois tipos principais de produção (agrícola e animal) foi necessário entender o funcionamento e as restrições associadas a cada um destes sistemas, incluindo características técnicas, regime de funcionamento e possibilidades de controlo (A5, em anexo).

Após a conclusão da auditoria energética, iniciou-se a avaliação da flexibilidade energética que englobou as seguintes etapas:

- (1) Caracterização das cargas e das possibilidades de controlo;
- (2) Avaliação de condicionantes, tendo em conta as especificidades produtivas, técnicas, organizacionais associadas aos processos produtivos, e comportamentais dos trabalhadores;
- (3) Quantificação da flexibilidade, com a determinação de métricas reconhecidas internacionalmente e aplicáveis ao caso de estudo. Embora estas tenham sido identificadas, a sua quantificação deverá constituir uma oportunidade de desenvolvimento futuro.

4. Resultados e Discussão

4.1 Estudo exploratório sobre transição energética na agricultura

No inquérito (1) realizado aos produtores agrícolas foram recolhidas 158 respostas, correspondendo a cerca de 0,6% do universo de produtores agrícolas recenseados pelo Instituto Nacional de Estatística (INE). Os inquiridos são maioritariamente do sexo masculino, com cerca de 50 anos (84%) e formação académica superior (69%). A generalidade era composta por empresários ou detentores de microempresas (84%) nas atividades de fruticultura ao ar livre (24%) e viticultura (20%), estando localizados maioritariamente na região Centro (81%) (Figura 35).

Segundo o recenseamento agrícola realizado em 2019, o perfil do produtor agrícola desde 2009 tem mantido a representatividade de género, embora seja identificado um agravamento do envelhecimento, com mais de metade dos produtores a possuir mais de 64 anos. No entanto, o INE aponta uma melhoria do nível de instrução, confirmando o crescimento do número de produtores com formação superior nas áreas de agricultura e floresta (INE, 2019). Estes dados do recenseamento agrícola corroboram os perfis socioeconómicos das dos produtores inquiridos.

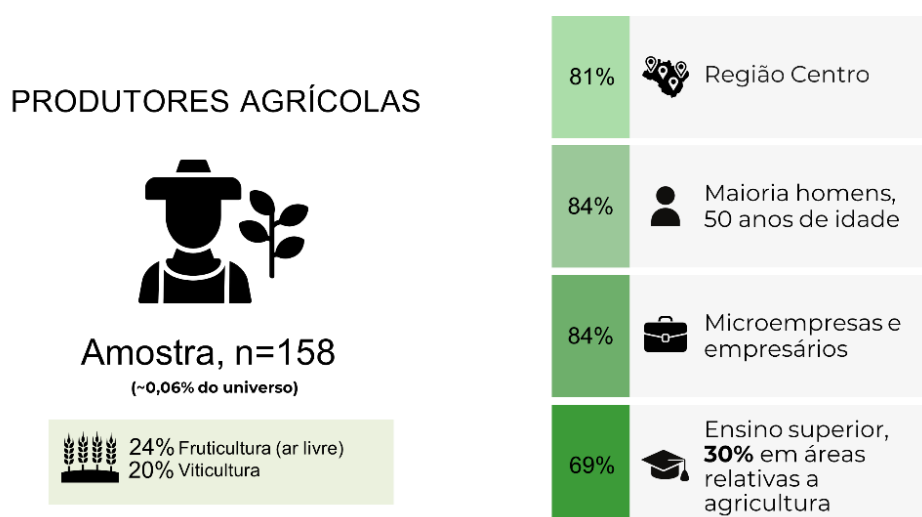


Figura 35 - Inquérito 1: Caracterização socioeconómica dos inquiridos.

Relativamente ao consumo energético, os inquiridos indicaram contratar a tarifa simples (52,5%). A maioria do consumo de eletricidade é reportada como sendo utilizada na bombagem de água (73%)³, iluminação (44%), aquecimento (21%), refrigeração (20%) e ventilação (15%). A maioria dos respondentes indicou que as despesas com eletricidade têm um peso inferior a 5% no volume das despesas totais da exploração (Figura 36).

³ Os valores indicam a percentagem de inquiridos que assinalaram este uso de energia como sendo significativo na sua exploração, podendo escolher vários de entre uma lista.

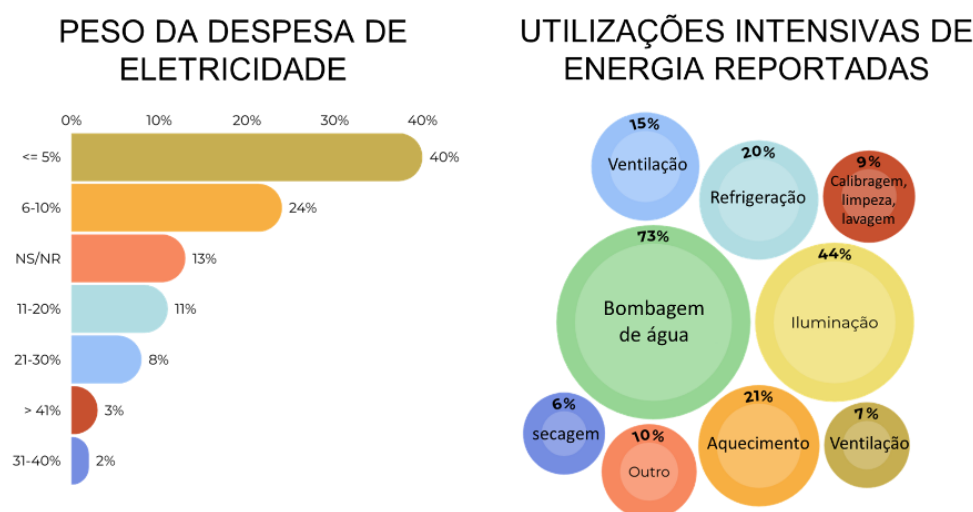


Figura 36 - Inquérito 1: Peso da eletricidade nas despesas mensais e utilizações intensivas de energia.

No que diz respeito à adoção de medidas de eficiência energética, 29% dos produtores agrícolas afirmou já ter instalado painéis fotovoltaicos para autoconsumo, 22% instalou iluminação com tecnologia LED e 18% mudou de fornecedor de eletricidade para procurar preços mais vantajosos. As motivações incluíram a redução da fatura energética (71%) e do consumo de energia (47%), o aumento da competitividade da exploração (39%) e a proteção do ambiente (32%). Os agricultores indicaram ainda, como barreiras, os elevados custos de investimento (47%), a falta de incentivos (27%), a burocracia (24%), a legislação complexa e desadequada à atividade (22%), a falta de informação (17%) e a desadequação das políticas agrícolas (13%) (Figura 37).

MOTIVAÇÕES



BARREIRAS



Figura 37 – Inquérito 1: Motivações e barreiras para a adoção de medidas de transição energética.

Em relação às práticas de flexibilidade adotadas, 38% dos produtores agrícolas indicou já ligar equipamentos nos períodos mais baratos do tarifário e 60% estaria disponível para o fazer se a remuneração fosse vantajosa (38%) ou se tal não afetasse a produção (27%).

No segundo inquérito (2) foram recolhidas 45 respostas de cooperativas (27%), associações (52%), federações de âmbito local ou nacional (5%) e organismos públicos (7%), localizados maioritariamente na região Centro (70%) (Figura 38). A maioria dos respondentes é do sexo masculino, com uma média de 48 anos de idade e escolaridade superior.

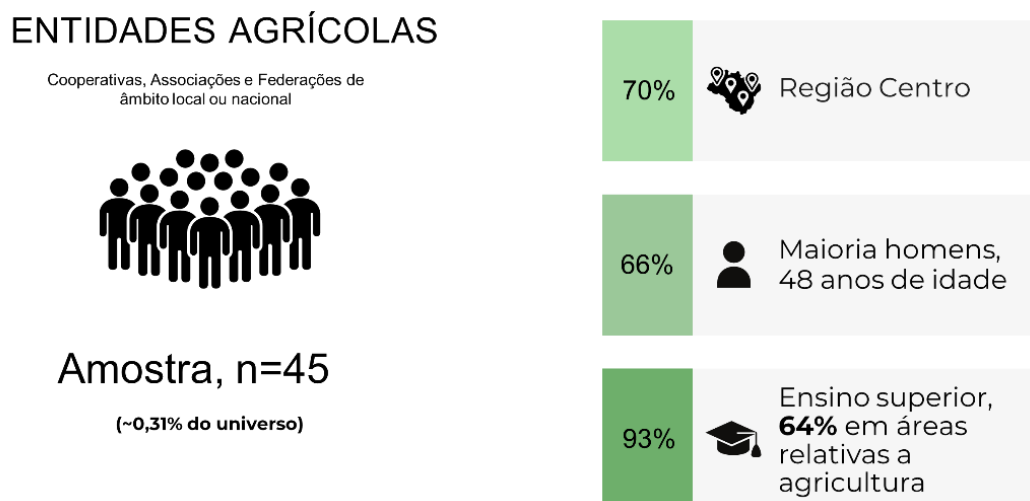
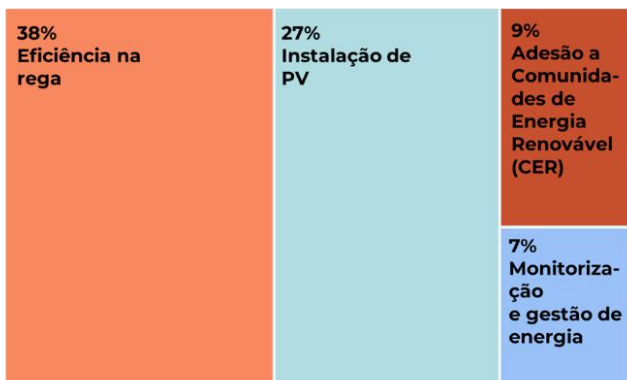


Figura 38 - Inquérito 2: Caracterização das instituições inquiridas.

Sobre a transição energética, as entidades indicaram prestar apoio na adoção de medidas de eficiência energética na rega (38%), na instalação de painéis fotovoltaicos (27%), na adesão a comunidades de energia renovável (9%) e monitorização e gestão de energia (7%). No entanto, também indicaram como principais obstáculos à transição energética na atividade agrícola o desinteresse dos produtores pelo tema (40%), a complexidade e morosidade dos procedimentos administrativos (38%), a falta de know-how especializado na própria organização (24%) e a desconfiança dos agricultores relativamente ao apoio prestado (22%) (Figura 39).

CONSULTORIA/ APOIO PRESTADO



PRINCIPAIS BARREIRAS

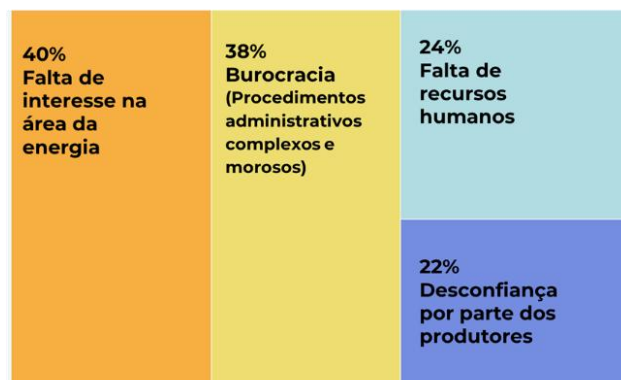


Figura 39 - Inquérito 2: Consultoria e apoio especializado prestado às explorações agrícolas e principais barreiras identificadas.

Em síntese, os resultados dos inquéritos mostram que os agricultores têm adotado várias medidas necessárias à transição energética, como a produção de energia renovável descentralizada, tendo como principal motivação fatores económicos e de rentabilidade da exploração. As várias barreiras identificadas pelos agricultores aquando da implementação de ações, confirmaram as tendências identificadas nos estudos já realizados (Aghajanzadeh & Therkelsen, 2019). A revisão bibliográfica permitiu igualmente compreender que o maior consumo de energia elétrica na agricultura, advém particularmente de equipamentos associados ao funcionamento de sistemas de rega e à utilização de sistemas de aquecimento ou secagem, à semelhança do que os agricultores constataam quando questionados sobre as utilizações intensivas de energia (Golmohamadi, 2022; Loureiro et al., 2019). A sua disponibilidade para adotar ações de promoção da flexibilidade dependerá dos incentivos económicos que forem adotados, sendo que as barreiras identificadas, alinhadas com as tendências internacionais, apontam para a necessidade de dar continuidade a apoios para a transição energética e, ainda, para a simplificação dos processos burocráticos (Aghajanzadeh & Therkelsen, 2019; D’Ettorre et al., 2022a; Sæle et al., 2023). Por sua vez, as entidades que prestam apoio à atividade agrícola referem que o tema da transição energética é ainda recente para o setor, pelo que carece de sensibilização, aumento de competências técnicas e de simplificação administrativa.

Embora este estudo seja relevante para entender os desafios e motivações dos agricultores portugueses na implementação de ações que contribuam para a transição energética, algumas limitações foram notadas, nomeadamente, no baixo número de respostas pouco representativo do universo agrícola, que segundo dados do Instituto Nacional de Estatística, 274 248 são produtores agrícolas singulares (INE, 2019). Além disso, a maior parte dos inquiridos é da região centro do país, o que restringe o tipo de atividade agrícola, podendo provavelmente ser esse o motivo do peso das despesas de eletricidade ser inferior ao que era esperado. No entanto, este estudo constitui uma primeira abordagem para melhor compreensão das questões relacionadas com as motivações e barreiras à utilização de serviços de flexibilidade no setor agrícola.

4.2 Gestão integrada de recursos energéticos no centro AgroBioTech

A gestão integrada de recursos energéticos no AgroBioTech é, em síntese, um problema multiobjetivo, visando maximizar a autossuficiência, o autoconsumo e diminuir os custos da fatura de eletricidade do sistema, sem comprometer a qualidade de serviço nas diversas operações que ali decorrem. Este trabalho, não visando desenvolver um modelo de otimização multiobjetivo, serve de base para o seu desenvolvimento futuro, que poderá ser integrado num modelo *digital twin* de modo a servir como ferramenta de apoio à decisão na gestão integrada dos recursos energéticos do AgroBioTech.

Como apresentado anteriormente, o AgroBioTech combina várias tecnologias fotovoltaicas (painéis fotovoltaicos instalados no telhado, painéis flexíveis em estufas e bifaciais em dois sistemas agrovoltaicos distintos) que fornecem energia elétrica para autoconsumo a todo o sistema, assegurando assim a utilização das diversas cargas. Para complementar a produção de energia e dotar o sistema de maior flexibilidade, existe um conjunto de baterias permitindo que a energia produzida seja armazenada e utilizada durante períodos de maior procura ou quando a produção de energia é insuficiente, favorecendo a autossuficiência e o autoconsumo. O armazenamento de energia é uma das principais ferramentas neste sistema, pois permite o equilíbrio entre a oferta e a procura, tornando o sistema mais flexível e eficiente. A Figura 40 representa, de forma esquemática, os fluxos de energia elétrica existentes no sistema. O sistema é ainda complementado por diversas tecnologias de sensorização e de controlo (sensores de pressão, humidade do solo, temperatura, entre outros), que permitem a automatização de determinadas cargas, facilitando a adaptação do consumo em função da disponibilidade da produção renovável e do armazenamento. Embora já estejam instaladas algumas destas tecnologias, que, nomeadamente, permitem a monitorização em tempo real da produção fotovoltaica e armazenamento, e o controlo de algumas cargas, este é ainda um processo em curso, e para assegurar a gestão integrada dos recursos energéticos, será ainda necessário proceder à instalação de dispositivos adicionais de comunicação e controlo, bem como garantir a interoperabilidade entre os sistemas instalados.

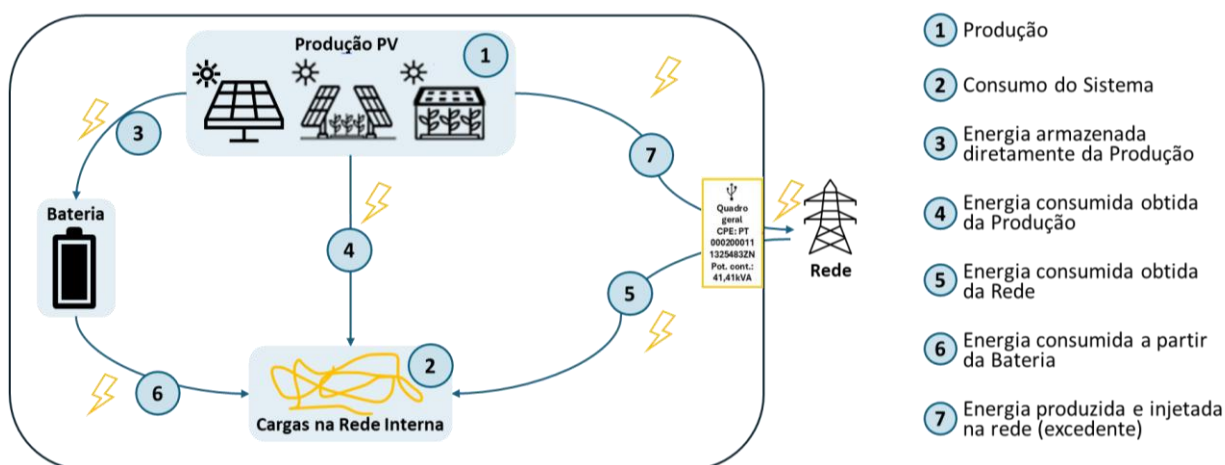


Figura 40 - Gestão integrada de recursos energéticos no AgroBioTech.

4.2.1 Caracterização do consumo de energia

A análise dos valores de telecontagem entre 2022 e 2024 revela uma redução significativa de cerca de 46% do consumo de eletricidade, tendo o consumo sido cerca de 33 MWh/ano em 2024 (Figura 41). Esta diminuição deve-se principalmente à instalação de sistemas de produção descentralizada para autoconsumo e ao uso de sistemas de armazenamento de energia.

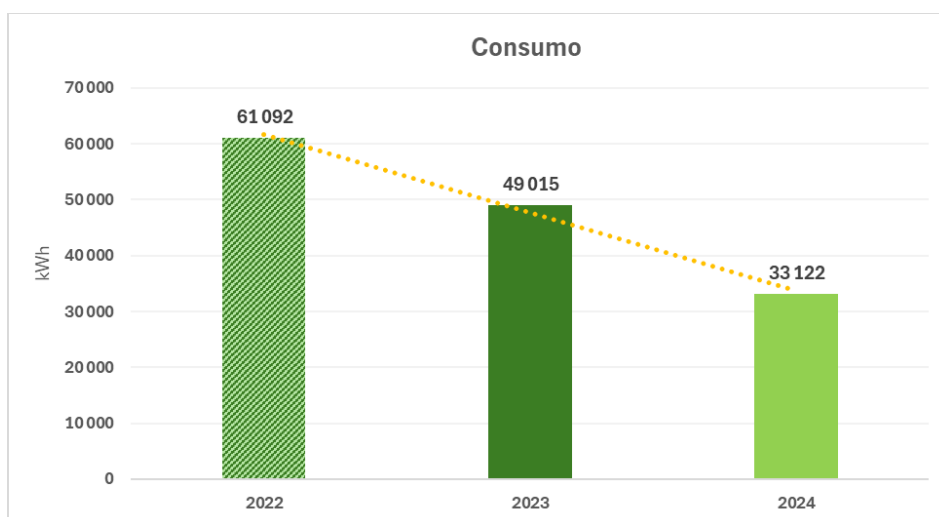


Figura 41 - Evolução do consumo anual no AgroBioTech.

Na variação mensal ao longo dos anos de 2022 a 2024, observa-se uma variação sazonal típica de sistemas agrícolas (Figura 42). Em 2022, o consumo atingiu picos de cerca de 10 MWh nos meses de julho e agosto, períodos em que ocorre o aumento de produção agrícola, o que exige maior uso de equipamentos elétricos agrícolas. Além disso, as temperaturas mais elevadas características do verão também intensificam a necessidade de rega. Em 2024, os valores máximos não ultrapassaram cerca de 6 MWh, refletindo a eficácia das tecnologias de produção descentralizada e armazenamento, além da deslocação de algumas cargas de maior consumo para horários de maior produção solar, especialmente durante os meses de maior procura. Em 2022, os valores de consumo representaram uma despesa de cerca de 19 000 €/ano, tendo-se verificado uma redução da despesa de 40% até 2024 (Figura 43).

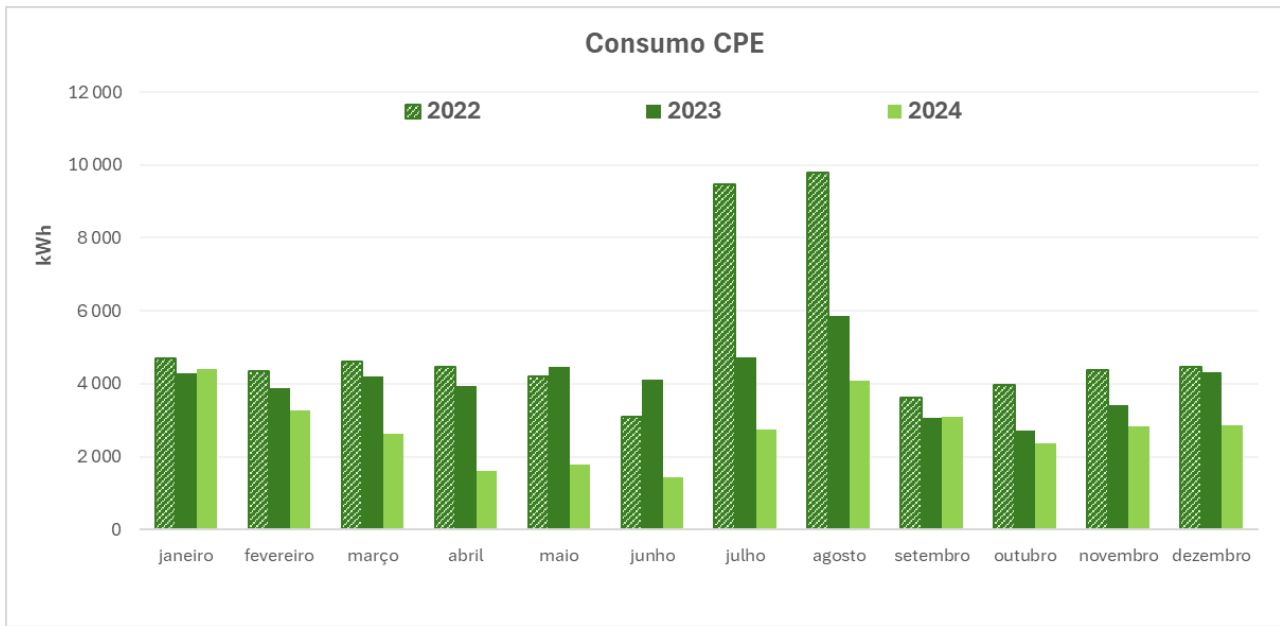


Figura 42 – Evolução mensal do consumo ao longo dos anos de 2022 a 2024 no AgroBioTech.

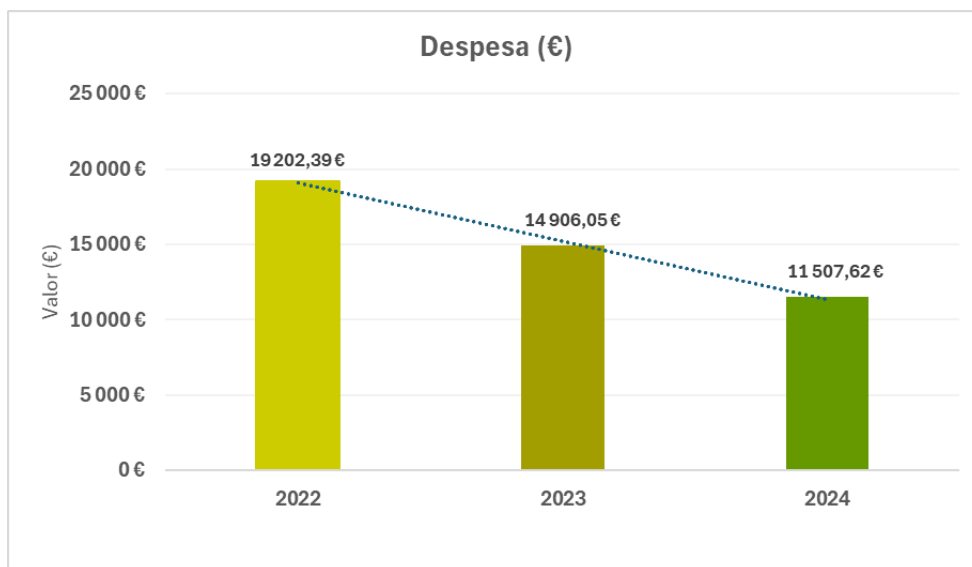


Figura 43 – Despesa anual no período de 2022 a 2024 no AgroBioTech.

Quando se analisa a energia ativa desagregada pelos vários períodos horários, tendo como referência o ano de 2022⁴, constata-se que a maioria dos consumos ocorre no período de cheias, representando 45% do total, coincidindo diretamente com o horário de funcionamento dos colaboradores e da maioria das atividades produtivas da exploração. O consumo no período de ponta corresponde a 11 637 kWh/ano, representando 18% do total, enquanto no período de vazio normal atinge 14 850 kWh/ano, o que

⁴ Considerou-se como caso de referência o ano de 2022 por não haver qualquer tipo de produção instalada.

equivale a 23% do consumo. No período de super vazio, o consumo registado é de 9 273 kWh/ano, representando 14% do total (Figura 44).

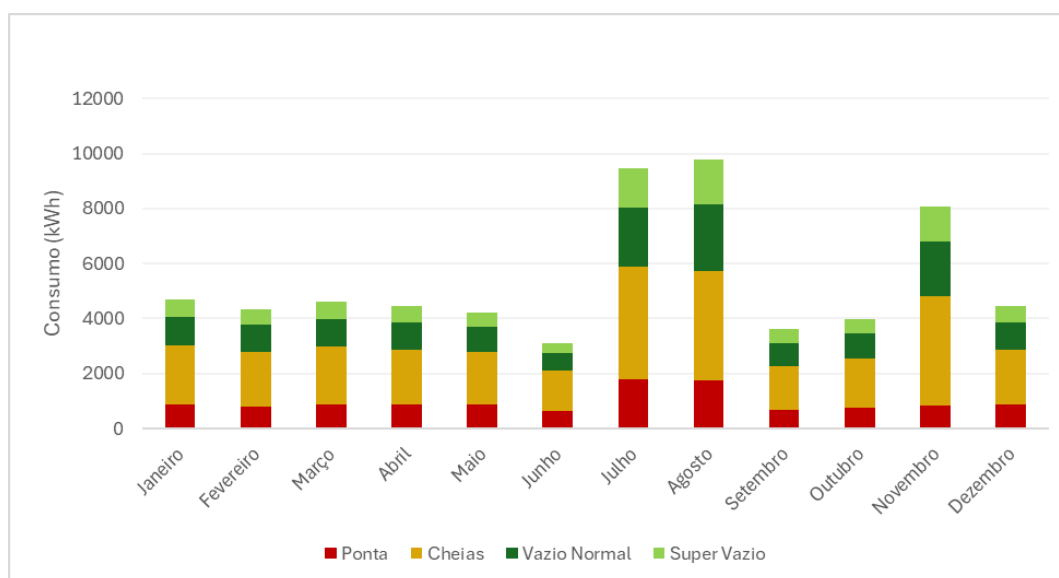


Figura 44 - Evolução do consumo de energia ativa nos diferentes períodos horários no ano de 2022.

A análise dos preços unitários da energia ativa por período tarifário entre 2022 e 2024 revela uma variação significativa ao longo dos últimos anos (Tabela 1). Em 2022, os preços eram bastante dispare entre os diferentes períodos tarifários. No entanto, em 2023, houve um aumento generalizado nos preços, atingindo os níveis mais altos devido à invasão da Rússia à Ucrânia. A partir de setembro de 2023, com o apoio do governo de Portugal para mitigar o impacto da escalada dos preços da energia, houve uma redução nos valores. No ano de 2024, os preços sofreram uma estabilização, refletindo uma tendência de equilíbrio entre os diferentes períodos horários.

Tabela 1 - Preço unitário da energia ativa nos diferentes períodos horários.

Ano	Ponta	Cheias	Vazio Normal	Super Vazio
2022	0,25	0,25	0,21	0,19
2023	0,29	0,28	0,27	0,26
2024	0,19	0,19	0,18	0,17
Varição entre 2022 e 2024	-24%	-25%	-15%	-6%

A análise dos dados de telecontagem revela que o consumo de eletricidade é sazonal, sendo mais elevado nos meses de junho, julho e agosto, devido às necessidades energéticas da produção agrícola (Figura 45, Figura 46 e Figura 47). No ano de 2022, os valores de consumo foram relativamente superiores aos de 2023 e 2024. Tal como já referido, esta redução está associada à instalação de painéis rígidos no telhado em julho de 2023 e à implementação dos sistemas agrovoltáticos em junho de 2024.

Observa-se um consumo de base elevado ao longo de todo o ano, em torno de mais de 5kW, indicando o permanente funcionamento de equipamentos, como é exemplo a câmara frigorífica. No entanto, em 2024, nota-se uma redução no consumo de base nos meses de abril, maio e junho, refletindo o impacto do autoconsumo. De referir que o consumo em janeiro, fevereiro e março de 2024 corresponderam aos meses em que existiu a construção das estufas e dos sistemas agrovoltáticos no âmbito do projeto AgriFlex, o que também se observa no diagrama de carga (Figura 47).

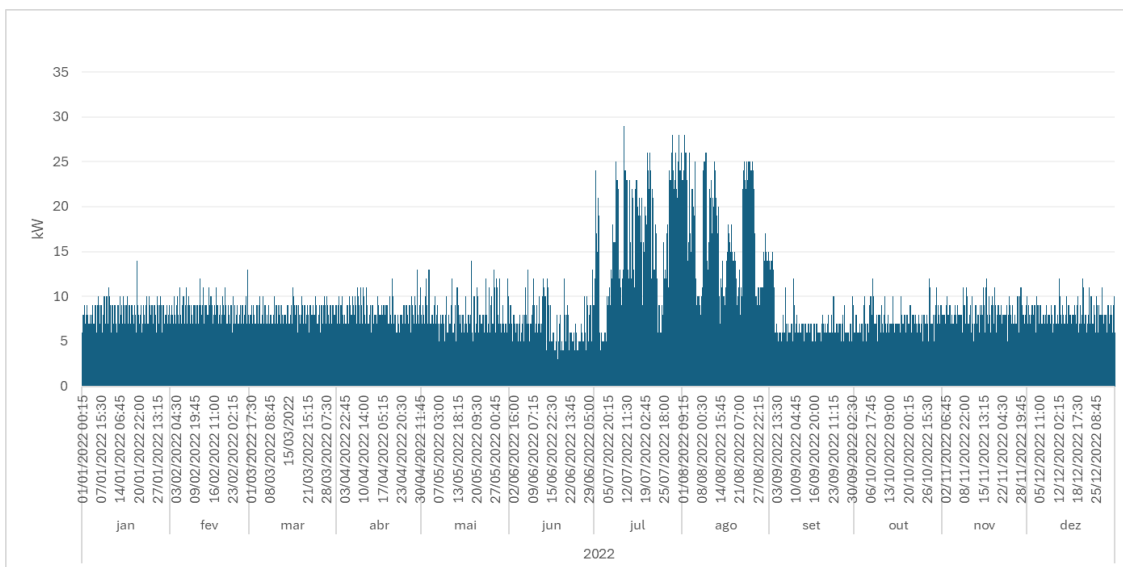


Figura 45 - Diagrama de carga de 2022.

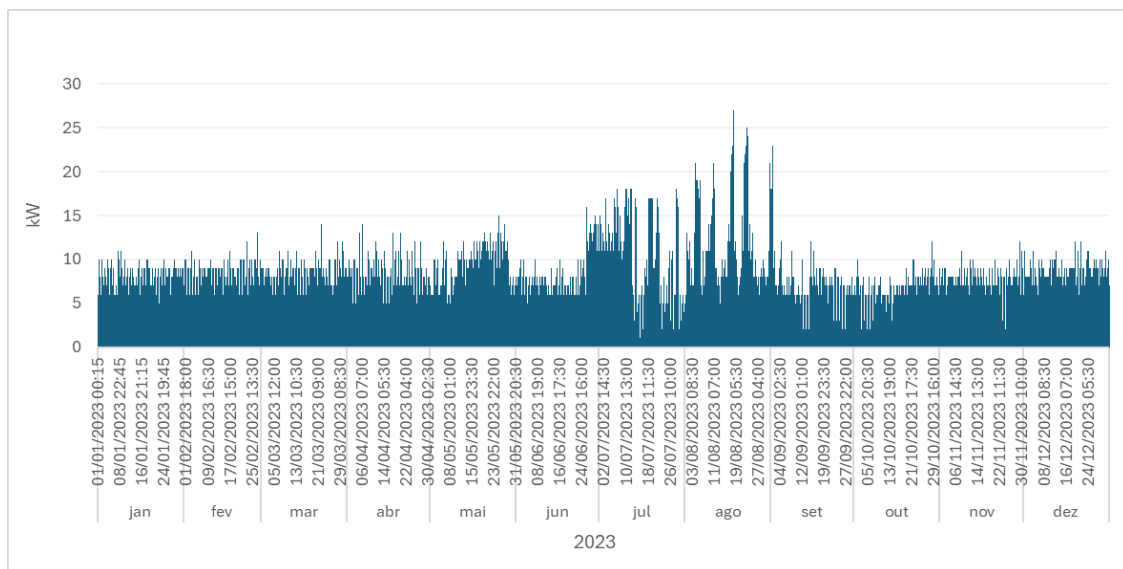


Figura 46 - Diagrama de carga de 2023.

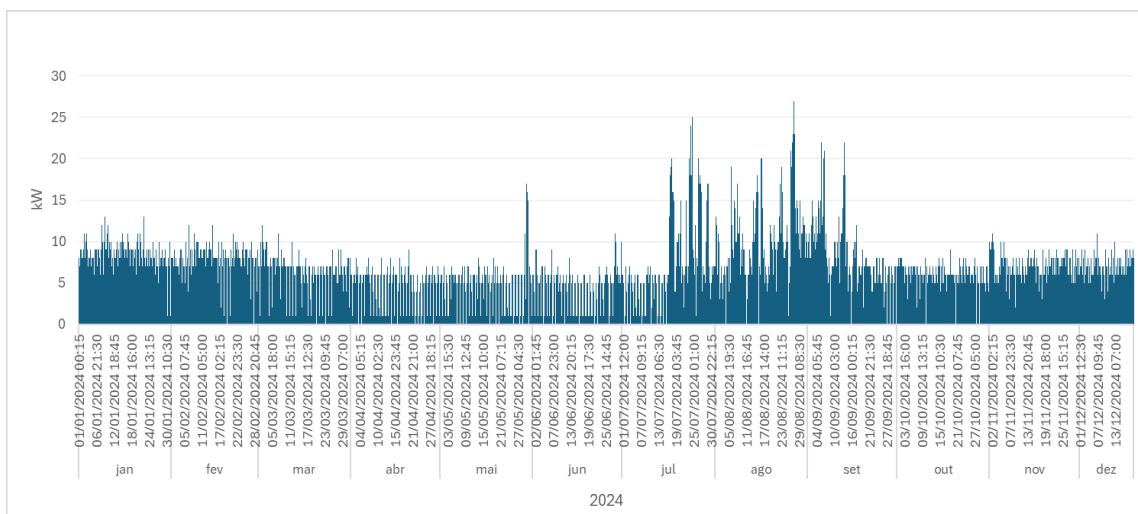


Figura 47 - Diagrama de carga de 2024.

No centro, a rega é habitualmente realizada no início da manhã, pelas 09h00, e segue até ao final do dia, dependendo da área a ser irrigada. A estufa de secagem de sementes é utilizada durante cerca de 8 meses por ano, sendo dependente do tempo necessário para a secagem das amostras de sementes. A ETAR, a câmara frigorífica, a arca de conservação de sementes e o frigorífico veterinário funcionam de forma contínua, diariamente. A máquina de lavar e secar roupa é usada de 4 a 5 vezes por mês para a lavagem dos fatos dos trabalhadores, com cada ciclo de lavagem durando cerca de 49 minutos e o ciclo de secagem 2 horas e 9 minutos, a uma temperatura de 40°C e centrifugação de 1000 rpm. Para além disso, são realizados entre 30 e 35 banhos por mês, dependendo do número de trabalhadores presentes e após as aulas realizadas na exploração, por questões de biossegurança.

Durante a análise, foi observado que 5 dos equipamentos identificados no centro são responsáveis por 89% do consumo energético total. Destacam-se, entre estes, a câmara frigorífica, o conjunto de pivot, os motores de irrigação e de abastecimento de depósito e a ETAR (estação de tratamento de águas residuais). No entanto, é importante notar que o período semanal apresentado não reflete a o real funcionamento desses equipamentos, uma vez que eles não estão todos em operação ao mesmo tempo. A utilização desses equipamentos ocorre em horários e períodos diferentes, dependendo das necessidades operacionais e das condições de cada atividade agrícola (Tabela 2).

Tabela 2 – Estimativa do peso das diferentes cargas no consumo semanal do AgroBioTech.

Cargas	Estimativa de consumo (kWh/semana)	Peso (%)
Instalação suínos:	15,07	1,5%
Máquina de lavar roupa suínos (por ciclo de lavagem)	1,23	0,1%
Cilindro suínos	11,02	1,1%
Frigorífico veterinário	0,92	0,1%
Arca conservação de sementes	1,03	0,1%
Motor-bomba de lavagem	2,42	0,2%
Motor-bomba pomar de medronheiros	19,72	2,0%
Motor-bomba horta biológica	38,58	3,9%
Motor-bomba pastagens	65,35	6,6%

Cargas	Estimativa de consumo (kWh/semana)	Peso (%)
Câmara Frigorífica de conservação de sementes	330,01	33,2%
Estufa de conservação de sementes	15,71	1,6%
ETAR (2 arejadores + bomba de extração de efluente)	141,56	14,3%
Motor de abastecimento do depósito	171,89	17,3%
Conjunto do pivot	178,15	17,9%
Total	992,66	100,0%

Durante a realização deste trabalho, foram constatados picos de tensão acima dos valores máximo permitidos (Figura 48) e picos de potência num dos sistemas de rega que fazia disparar os sistemas de proteção nos respetivos quadros elétricos (Figura 49). Estas questões exigiram a intervenção de técnicos com formação especializada, bem como a apresentação de uma reclamação à E-REDES.

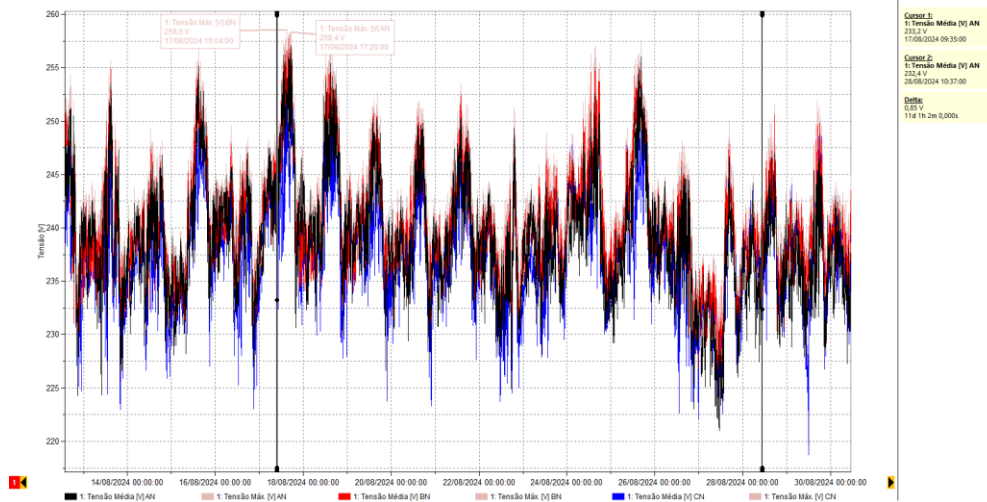


Figura 48 - Detecção de picos de tensão no AgroBioTech através do Fluke 1738.

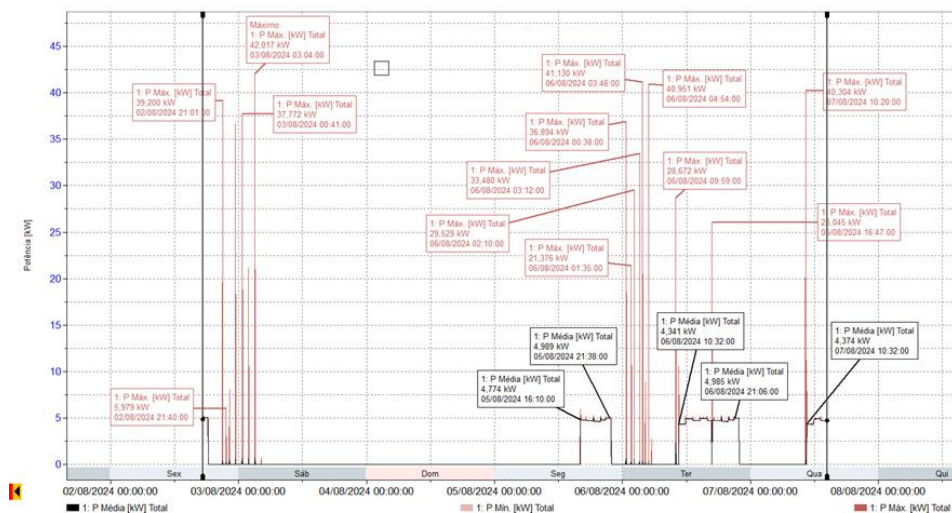


Figura 49 - Detecção de picos de potência no AgroBioTech através do Fluke 1738.

4.2.2 Recursos energéticos: produção e armazenamento

Tal como referido anteriormente, os painéis rígidos do telhado foram instalados em julho de 2023 e os agrovoltaicos flexíveis em estufa no fim de maio de 2024 e os agrovoltaicos rígidos bifaciais em meados de junho de 2024. Os dados apresentados neste relatório refletem assim este processo de instalação.

A variação na produção de 2022 para 2024 mais do que triplicou (236%) (Figura 50), tendo a produção para autoconsumo representado no último ano cerca de 36 MWh.

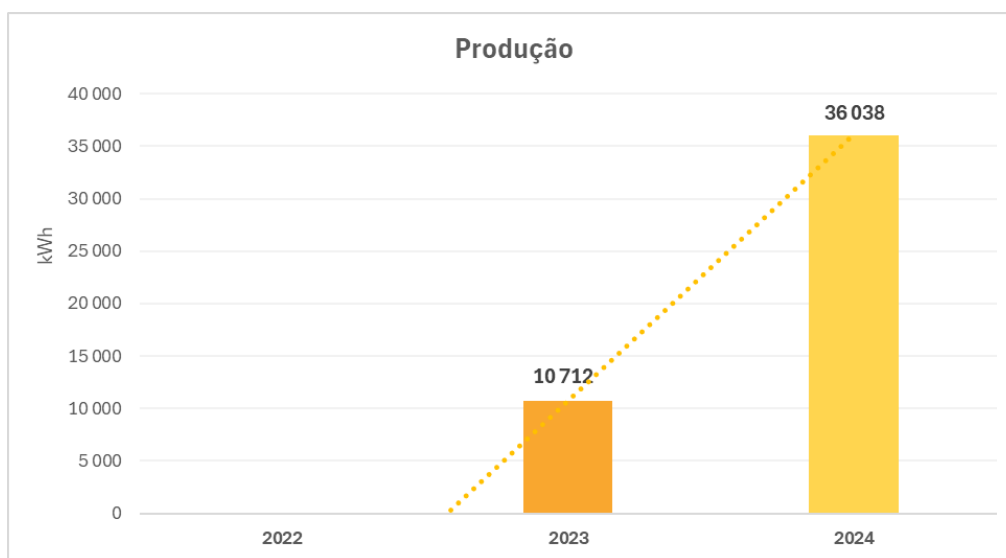


Figura 50 - Evolução da produção fotovoltaica para autoconsumo anual no AgroBioTech.

Observa-se uma existe maior produção nos meses de verão, tal como esperado, uma vez que nesta altura existem condições climatéricas ótimas (Figura 51). Em 2023, o mês de julho registou a maior produção correspondendo a 2 550 kWh, já em 2024 o mês de agosto registou o maior valor correspondendo a 5 335 kWh, ano em que já estão instaladas as três tecnologias de produção fotovoltaica.

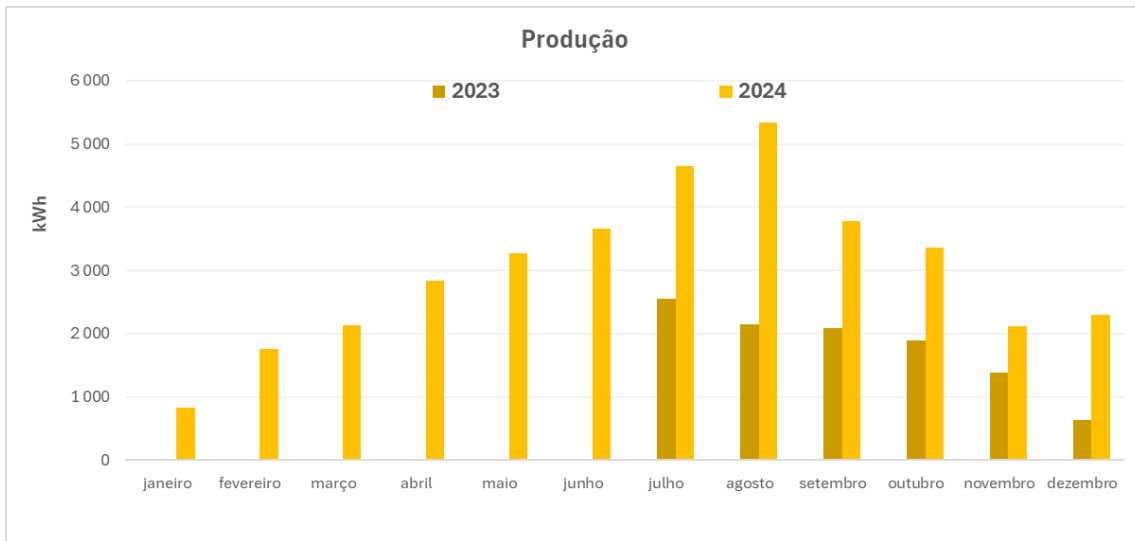


Figura 51 – Evolução mensal da produção fotovoltaica total para autoconsumo, de 2022 a 2024 no AgroBioTech.

Em 2024, desagregando os sistemas de produção, observa-se uma tendência sazonal clara, com maior produção nos meses de verão. Contudo, na produção da Fronius, verifica-se existiu uma anomalia no sistema de medição durante os meses de junho e julho, resultando em valores inferiores aos esperáveis. Assim, é provável que a produção real nesses meses tenha sido mais elevada.

Ao analisar a produção anual por metro quadrado, observa-se que o sistema da Fronius apresenta o maior rendimento, atingindo 237,8 kWh/ano.m². Entre os sistemas agrovoltáicos, os painéis instalados dentro da estufa apresentam um desempenho superior ao do sistema agrovoltáico das framboesas, com produções de 100,8 kWh/ano.m² e 71,4 kWh/ano.m², respetivamente.

No entanto, os valores calculados para os agrovoltáicos não consideram a totalidade do ano, devido à indisponibilidade de dados. No caso do agrovoltáico da estufa estão em falta 4 meses e das framboesas 5 meses. Espera-se que em trabalhos futuros estes valores possam ser calculados para a totalidade do ano (Figura 52).

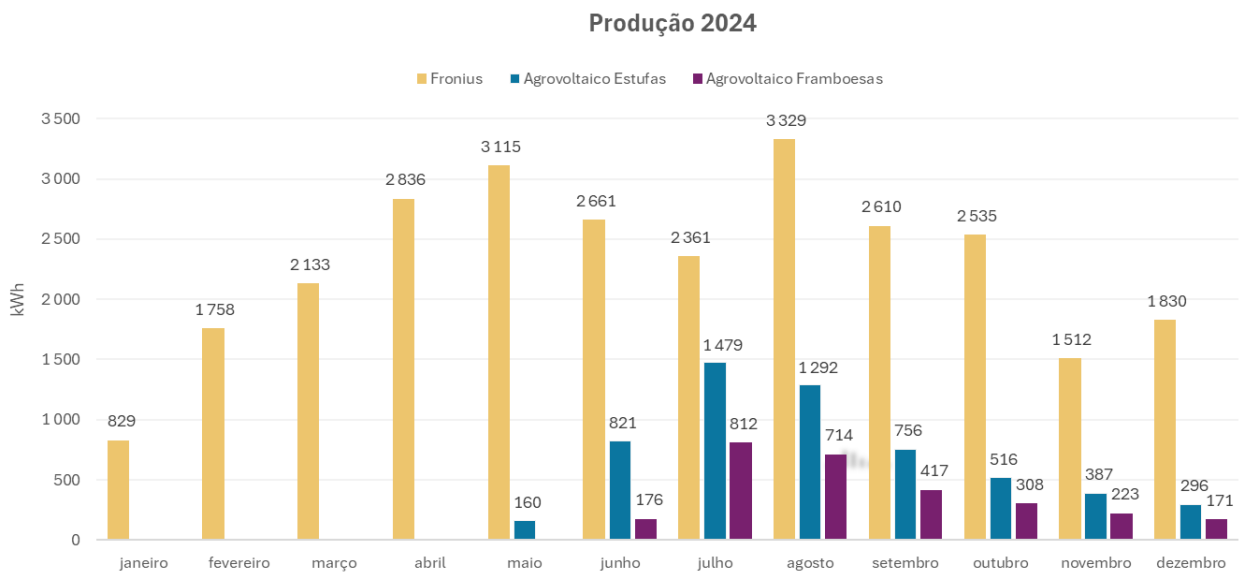


Figura 52 - Produção fotovoltaica em autoconsumo para o ano de 2024.

O sincronismo entre os períodos de maior produção de energia e de maior consumo representa uma excelente oportunidade para otimizar o aproveitamento da energia produzida. Durante o verão, quando as necessidades energéticas para irrigação, ventilação e refrigeração aumentam, a elevada produção através dos variados sistemas fotovoltaicos podem colmatar grande parte da procura, reduzindo a dependência da rede e proporcionar uma poupança na fatura. Nos meses de menor produção, a presença de um sistema de armazenamento, como a bateria de 22,08 kWh, ou a adoção de estratégias de gestão do consumo, torna-se essencial para garantir a eficiência energética na exploração. Além disso, ao analisarmos os valores de produção e consumo para o ano de 2024, verificamos que a produção (36 038 kWh) supera o consumo (33 122 kWh) (Figura 53).

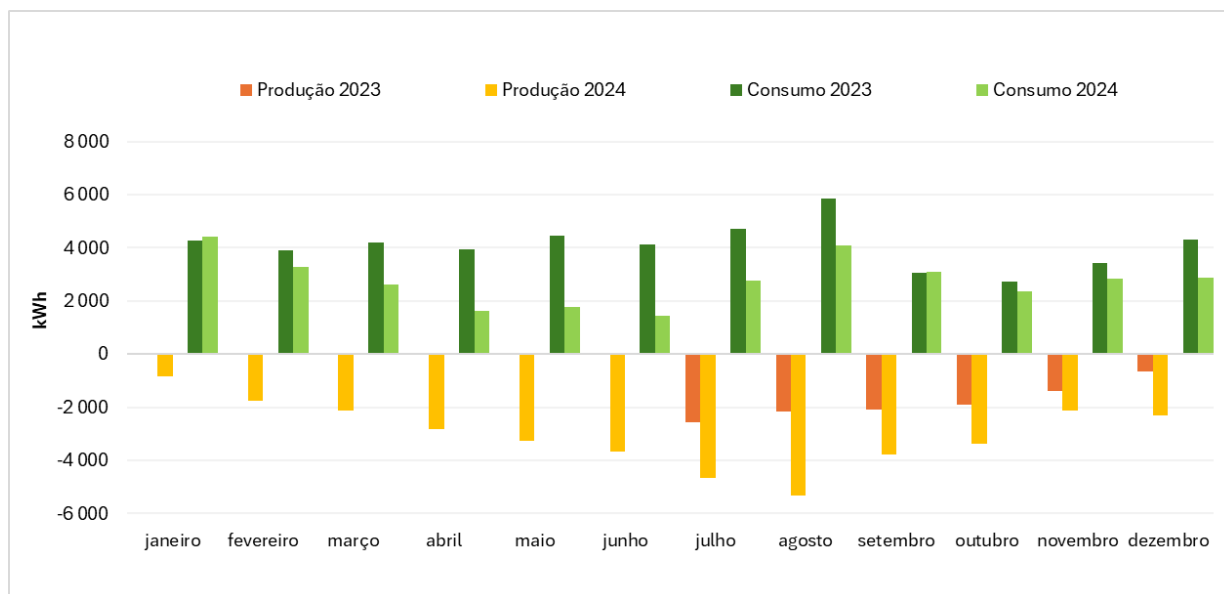


Figura 53 – Consumo e produção de energia fotovoltaica para autoconsumo em 2023 e 2024.

4.2.3 Avaliação de recursos disponíveis para flexibilidade

A produção de energia solar apresenta picos de produção especialmente nos meses de maior radiação solar. A Figura 54 ilustra um destes momentos, na qual é possível observar a injeção do excesso de produção na rede elétrica, demonstrando assim a necessidade de gestão inteligente das cargas e uma maior flexibilidade do consumo, para o alinhar com os momentos de produção fotovoltaica.

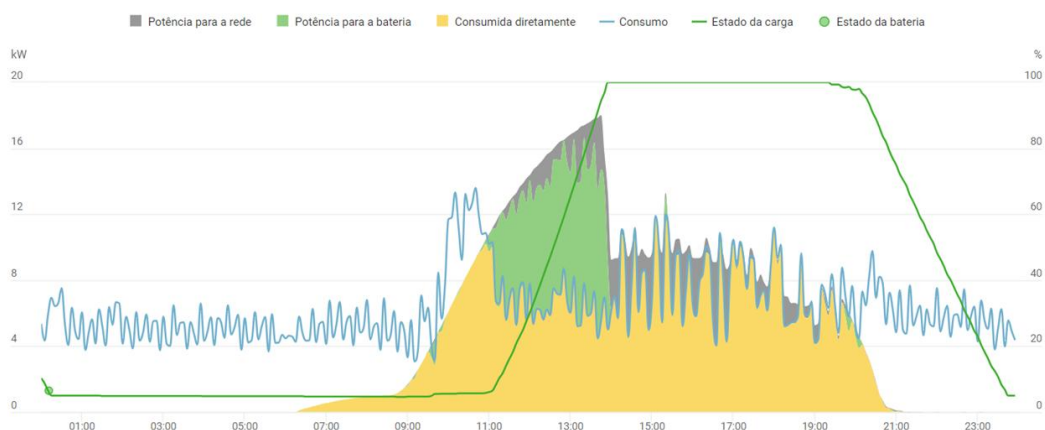


Figura 54 - Produção fotovoltaica para autoconsumo do sistema Fronius, a 31 de maio de 2024.

As cargas existentes na exploração foram avaliadas de modo a aferir o seu potencial de controlo de forma a avaliar a flexibilidade disponível. As possibilidades de controlo identificadas foram: interrupção (I), antecipação ou adiamento (AA) e ajuste de temperatura (T). Essas opções permitem controlar o funcionamento de equipamentos de acordo com a disponibilidade de energia, preços mais económicos ou picos de produção fotovoltaica, sem comprometer a operação agrícola. Seis cargas foram selecionadas para o ensaio do projeto AgriFlex devido ao seu elevado potencial de

flexibilidade, facilidade de monitorização através de tecnologias de controlo remoto já instaladas e elevado consumo energético. As cargas selecionadas foram: o motor de abastecimento do depósito, o conjunto do pivot, o motor-bomba das pastagens, o sistema AgriFlex (bomba auxiliar de fertirrega, bomba AgriFlex, motores de abertura de estufa (topo e lateral), agrovoltáticos flexíveis e rígidos bifaciais), a câmara frigorífica de conservação de sementes e os motores da estação de tratamento de águas residuais (ETAR) (arejadores e bomba de extração), representados no Quadro 11.

Quadro 11 - Quadro resumo da avaliação do potencial de flexibilidade das cargas escolhidas.

Equipamento	Potência Nominal (kW)	Utilização	Possibilidades de Controlo *	Sensorização automática
Motor de abastecimento do depósito	4,55 kW	Abastece sistema de rega das pastagens no campus principal, a sul da via rápida. Apenas funciona de junho-agosto, usualmente de 10 em 10 dias, durante 60h seguidas.	I e AA Dependente das necessidades de rega	Nível de água no tanque e débito na rega; Sensores de humidade no solo; Informação meteorológica em tempo real.
Conjunto do Pivot	1 motor de 11 kW para rega + 2 motores para movimento de 3 kW	Apenas funciona de junho-agosto, usualmente de 10 em 10 dias, durante 48h seguidas ou de 8 em 8 dias, durante 24h seguidas.	I e AA Dependente das necessidades de rega	Informação meteorológica em tempo real. A instalar: Sensores de humidade no solo.
Eletrobomba Pastagens (Bomba 3)	5,5 kW	Durante o verão (jun. a set.), 3 dias por semana, intercalados, durante 1h por secção (4 parques, com 9 secções - uma de cada vez). Sistema de rega programável por tempo.	I e AA Dependente das necessidades de rega	Inexistente. A instalar: Sensores de humidade no solo; Informação meteorológica em tempo real.
Sistema AgriFlex	3,93 kW	Motor principal AgriFlex utilizado para a rega das estufas AgriFlex e ensaios frutos vermelhos AgriFlex; motores de abertura de topo e lateral utilizados para abertura e fecho da estufa de forma a garantir proteção contra escaldões, chuva e granizo, permitindo igualmente o arejamento; bomba injetora utilizada para aplicação de fertilizantes na água da rega; agrovoltáticos utilizados para produção solar com painéis flexíveis e rígidos bifaciais.	I e AA (motores) I (agrovoltáticos)	Sensores de humidade no solo; Informação meteorológica em tempo real; nível de pressão de água.
Motores ETAR	Bomba inicial: 1,70 kW; Bomba extração: 0,55kW; Arejador 1: 1,75 kW; Arejador 2: 0,81 kW;	Funciona todos os dias, em contínuo, trabalhando de 8 a 20 min, para tratamento de efluentes.	I	Interruptor horário e sensor de nível.
Câmara Frigorífica	2,27 kW	Utilizada todos os dias para conservação de amostras, com a gama de temperatura entre 3,5°C e 6,5°C.	I e T	Inexistente.

Após compreender o perfil de utilização destes equipamentos foram elaborados os diagramas de carga, exemplos dos mesmos representados nas Figura 55, Figura 56, Figura 57, Figura 58 e Figura 59. A representação temporal dos diagramas de carga está ligada à utilização de cada equipamento, sendo que os sistemas de rega, a câmara frigorífica, a estufa de conservação de sementes e a ETAR estão representados numa escala temporal semanal. Os restantes equipamentos, por sua vez, são representados numa escala diária, com exceção da máquina de lavar e secar roupa e do conjunto pivot, que são ilustrados pelos ciclos habitualmente utilizados.

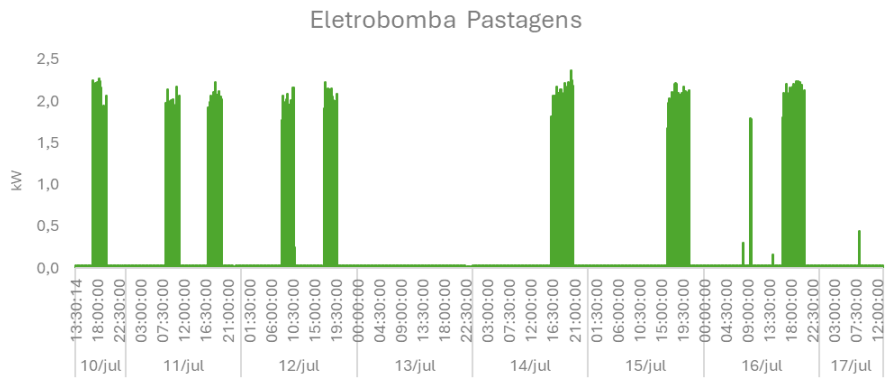


Figura 55 - Diagrama de carga da eletrobomba das pastagens (15 min).

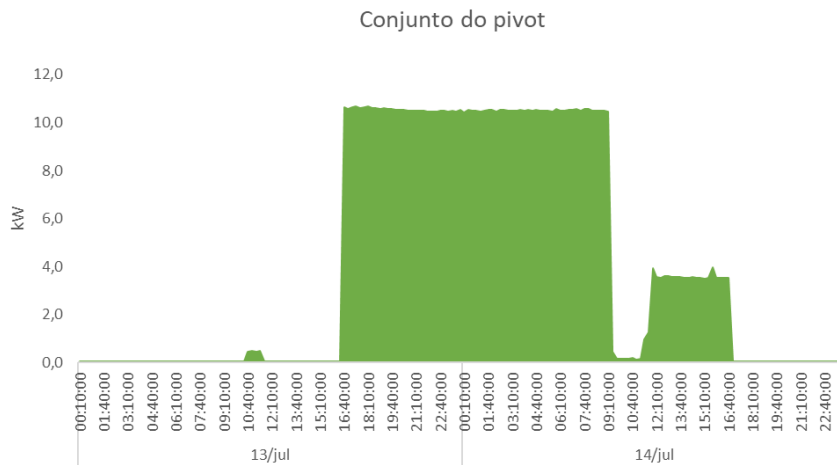


Figura 56 - Diagrama de carga do conjunto do pivot (15 min).

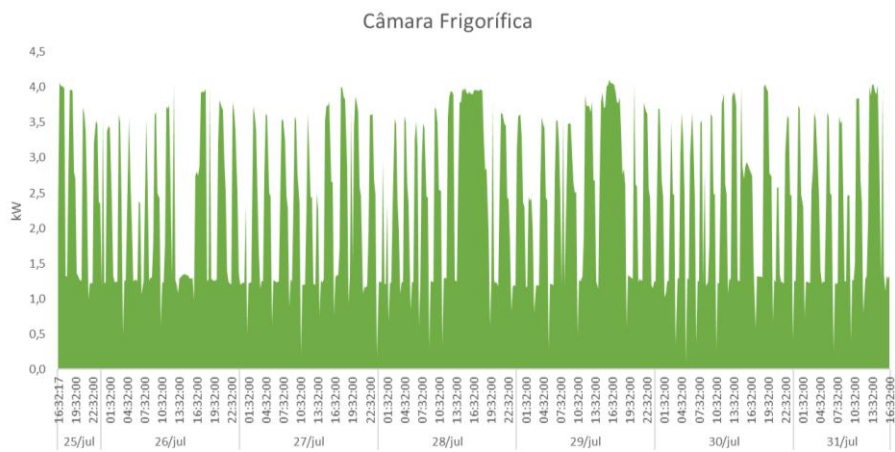


Figura 57 - Diagrama de carga da câmara frigorífica (15 min).

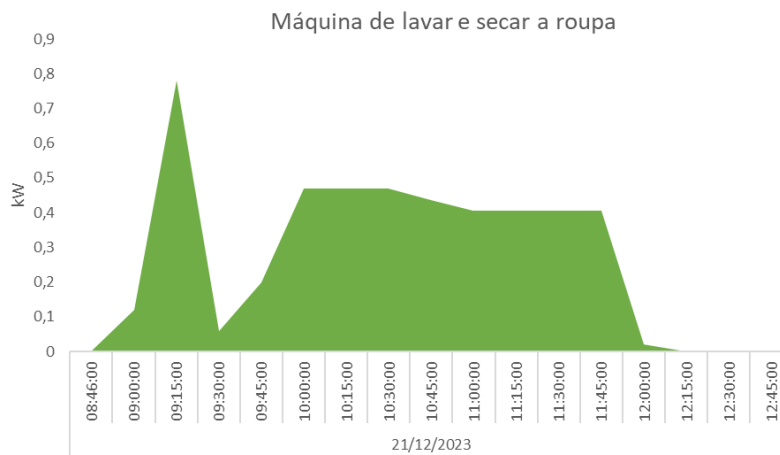


Figura 58 - Diagrama de carga da máquina de lavar e secar roupa (15 min).

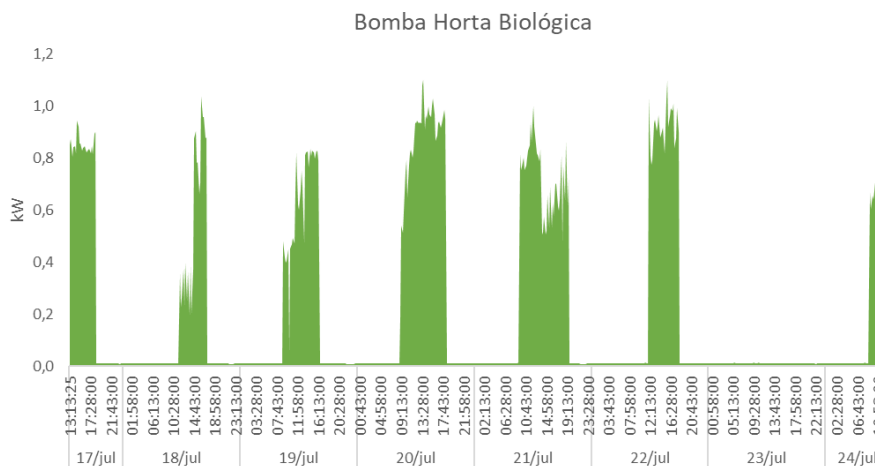


Figura 59 - Diagrama de carga da bomba horta biológica (15 min).

Através da análise e compreensão do potencial de flexibilidade e controlo, verificou-se que as bombas de rega representam um exemplo valioso de flexibilidade, tal como referido na introdução deste relatório. As bombas de rega no centro apresentam dispositivos de controlo que permitem interrupção ou adiamento/antecipação, como é o caso da bomba das pastagens. Além disso, foram instalados sensores para monitorizar as condições edafoclimáticas. No entanto, outras bombas, como as da horta biológica e do milho, embora controláveis, permanecem sob controlo manual por questões organizacionais.

Observou-se, igualmente, que as cargas com maior consumo, como as bombas de rega e os sistemas de refrigeração (câmara frigorífica), possuem um grande potencial de flexibilidade. Isso significa que os equipamentos agrícolas com elevados consumos são aqueles que apresentam, igualmente, o maior potencial para implementar medidas de flexibilidade. A otimização do consumo desses

equipamentos permite não só reduzir os custos com a fatura de energia, mas também aproveitar melhor a produção local.

A análise da flexibilidade no sistema energético da exploração revelou que, com a otimização do controlo das cargas de maior consumo, será possível reduzir os custos energéticos, melhorar a eficiência e aumentar a sustentabilidade da exploração agrícola. Em particular, a flexibilidade nos sistemas de rega e refrigeração, em conjunto com a produção fotovoltaica e o armazenamento de energia em bateria.

Os resultados apontam que a interoperabilidade dos sistemas instalados é uma das principais dificuldades, uma vez que muitas destas plataformas apresentadas não foram originalmente criadas para integração. Além disso, a diversificação da produção agrícola e animal requer ajustes na gestão de recursos, como algumas operações são sequenciais dificultam a adoção de estratégias de flexibilidade no consumo. A nível técnico também a falta de automação limita a capacidade de resposta, tornando necessária uma maior intervenção humana. A escassez de know-how técnico especializado também se mostrou um desafio, bem como a falta de coordenação entre as várias equipas que trabalham no centro afeta a implementação eficiente das novas realidades. Por fim, foi identificado um grau significativo de desconfiança em relação às novas tecnologias implementadas. O funcionamento com boa rede de comunicações e qualidade da instalação elétrica também irá permitir melhorias na resposta (Quadro 12).

Quadro 12 - Desafios à flexibilidade identificados no centro AgroBioTech.

Categoria	Desafios à flexibilidade identificados
Técnicas	<ul style="list-style-type: none"> - Interoperabilidade dos vários sistemas instalados - Automação necessária para ultrapassar limitações associadas aos recursos humanos - Necessidade de know-how técnico especializado - Melhorias na própria infraestrutura - Falhas na qualidade de serviço da rede elétrica
Operacionais	<ul style="list-style-type: none"> - Mudanças no planeamento da atividade para adaptação à produção ER - Diversificação da produção agrícola e animal - Operações sequenciais entre si
Comportamentais	<ul style="list-style-type: none"> - Desconfiança nas novas tecnologias
Organizacionais	<ul style="list-style-type: none"> - Coordenação entre várias equipas - Desafios na gestão operacional dos processos e importância da liderança

Como forma de quantificar a flexibilidade e de acordo com a revisão realizada sobre métricas de flexibilidade, chegou-se às seguintes definições para o caso de estudo, com base nas práticas e métricas reconhecidas internacionalmente:

- (1) Autossuficiência: refere-se à proporção do consumo que é satisfeito com energia aproveitada da produção (energia vinda diretamente da produção ou do armazenamento local) (Equação 5).

Equação 5 - Métrica Autossuficiência definida para o caso de estudo.

$$\text{Autossuficiência} = \frac{\text{Energia aproveitada da produção local}}{\text{Consumo total}}$$

- (2) Autoconsumo: refere-se à proporção da produção local de energia que é aproveitada (energia vinda diretamente da produção ou do armazenamento local) (Equação 6).

Equação 6 - Métrica Autoconsumo definida para o caso de estudo.

$$\text{Autoconsumo} = \frac{\text{Energia aproveitada da produção local}}{\text{Produção total}}$$

Essas definições são fundamentais para quantificar a flexibilidade do sistema energético do centro AgroBioTech, orientando as ações necessárias para otimizar o uso da energia. A submedição e a independência dos fornecedores são condições essenciais para garantir que as métricas utilizadas na quantificação da flexibilidade sejam precisas e adaptáveis, permitindo uma gestão eficiente e uma otimização contínua do consumo energético.

Através da auditoria energética realizada, foi possível identificar várias oportunidades para otimizar o consumo de energia e aumentar a eficiência dos equipamentos (Quadro 13).

Quadro 13 - Medidas de melhoria identificadas no centro AgroBioTech.

Medidas de melhoria identificadas	Categoria
Isolamento do piso da câmara de frio	Isolamento térmico
Retificação de quadros elétricos e circuitos elétricos	Infraestruturas elétricas
Instalação de sistemas automatizados de alerta para motores de rega	Monitorização e controlo
Instalação de sistemas de monitorização e controlo (atuadores) em diversos pontos da rede elétrica	Monitorização e controlo
Plataforma de gestão e de informação integradora	Sistema de gestão de energia inteligente

4.3 Eficiência energética em PME agrícolas

Foi realizado um diagnóstico energético a duas empresas da região centro dedicadas à produção de pequenos frutos⁵, com o objetivo de identificar oportunidades de melhoria na gestão do consumo de energia elétrica e de aumento da eficiência energética, de poupança na fatura e para avaliar o potencial de flexibilidade nesta atividade. As duas empresas operam na produção de framboesas, sendo a PME1 especializada na produção convencional em estufa e a PME2 especializada na produção biológica em túnel. Ambas partilham desafios devido à sazonalidade do consumo de energia, uma vez que o uso intensivo das cargas acontece durante os períodos de pico de produção.

A PME1 apresenta um contrato de energia elétrica com potência contratada de 20,7 kVA, em regime de baixa tensão normal (BTN), com tarifa bi-horária. A análise das faturas de eletricidade revela uma elevada sazonalidade no consumo, com picos significativos que coincidem com a apanha da framboesa (Figura 60). A PME2 possui um contrato de energia elétrica semelhante, com potência contratada de 20,7 kVA, em regime de baixa tensão normal (BTN), mas com tarifa simples. Da mesma forma que a PME1, a PME2 apresenta picos de consumo nos meses de julho e agosto (Figura 61), devido ao aumento da produção e à necessidade de maior uso dos equipamentos agrícolas e sistemas de rega (Quadro 14).

Quadro 14 – Características do fornecimento de eletricidade nas PME1 e PME2.

Empresa	Potência contratada	Regime	Tarifa
PME1	20,7 kVA	Baixa tensão normal (BTN)	Bi-horária
PME2	20,7 kVA	Baixa tensão normal (BTN)	Simple

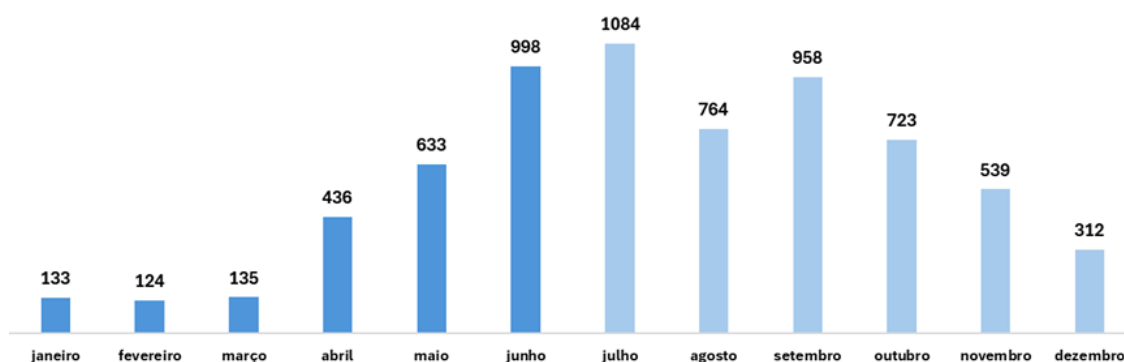


Figura 60 - PME1: Consumo mensal de eletricidade (kWh/mês).⁶

⁵ Por razões de confidencialidade, as PME estudadas não são identificadas e alguma da informação é apenas apresentada de forma agrupada.

⁶ A representação gráfica foi construída com valores reais pertencentes a semestres de anos diferentes.

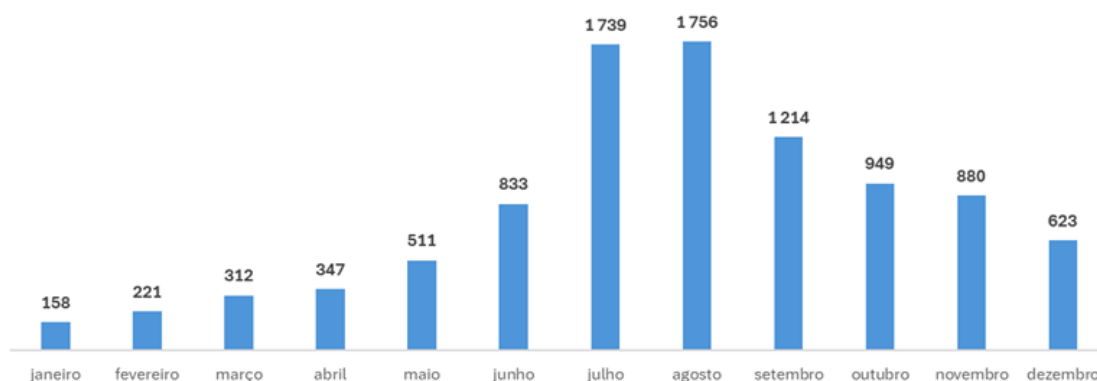


Figura 61 - PME2: Consumo mensal de eletricidade (kWh/mês).

4.3.1 Caracterização dos equipamentos e consumo energético

A PME1 utiliza um sistema de fertirrigação por gotejamento, com água captada subterraneamente de furo e/ou de poço, dependendo das necessidades de rega. O sistema de rega trabalha durante todo o ano, com aumento de frequência entre maio e agosto, duas vezes por dia, às 8h e às 16h, durante 12 minutos, num total de 15 setores. Durante o inverno, a rega é reduzida ao mínimo necessário para manter a humidade do solo. Além destas cargas, dispõe de uma câmara frigorífica para choque térmico das framboesas (temperatura entre 2°C e 5°C), usada sobretudo entre abril e novembro, e de uma arca frigorífica (3,5°C a 4°C) para armazenamento temporário quando as framboesas têm de passar por processo de controlo. Além disso, as estufas possuem oito motores de abertura de topo e dois motores de abertura de laterais, em autogestão, para promover a ventilação das mesmas, e um ventilador utilizado maioritariamente durante o verão para refrescar os colaboradores. A exploração instalou uma UPAC no telhado com potência de 16,7 kW, sem bateria.

A PME2 diferencia-se pela produção biológica e o uso de túnel, e utiliza igualmente um sistema de fertirrigação por gotejamento, com captação a água de um lago superficial artificial. O sistema de rega trabalha durante todo o ano, com quatro regas diárias de 15 minutos entre abril e setembro e uma rega semanal de cinco minutos entre dezembro e fevereiro. Conta, igualmente, com uma câmara frigorífica utilizada para choque térmico das framboesas, com ciclos de funcionamento três vezes por semana (segunda, quarta e sexta), das 8h às 17h-18h, mantendo a temperatura entre 1,5°C e 2,5°C. Ao contrário da PME1, esta exploração não possui nenhuma instalação de produção fotovoltaica para autoconsumo.

Os equipamentos mais comuns neste tipo de produção agrícola incluem motores de rega, bombas de fertirrigação, câmaras frigoríficas e sistemas de ventilação. O Quadro 15 apresenta a caracterização técnica das cargas principais, bem como as possibilidades de controlo identificadas, nomeadamente interrupção (I), antecipação/adiamento (AA) e alteração de temperatura (T).

Quadro 15 - Quadro resumo das características das principais cargas das PMEs agrícolas.

Equipamento	Potência Nominal [kW]	Utilização	Auditoria	Possibilidades de Controlo *	Observações
Motor-Bomba Principal	5,1 kW	Utilizado para rega gota a gota. Captação de lago superficial artificial que abastece sistema de rega das estufas em túnel.	Sim	I e AA Dependente das necessidades de rega	Representa maior consumo na exploração
Bomba fertirrega	0,25 kW	Durante o verão com regas múltiplas regas diárias. Utilizado para regular o pH da água de irrigação e injetar os fertilizantes na produção. Entre abril e setembro, 4 regas diárias de 15 minutos. Dezembro a fevereiro, rega para manter a humidade no solo, 1 vez por semana durante 5 minutos.	Sim	I e AA Dependente das necessidades de rega	-
Bomba de captação	0,75 W	Durante o verão com regas múltiplas regas diárias. Utilizado para regular o pH da água de irrigação e injetar os fertilizantes na produção.	Sim	I e AA Dependente das necessidades de rega	-
Motor de abertura de estufa topo	0,37 kW	Utilizado para abertura de estufa para ventilação. Num total de 8 motores, em autogestão.	Não	I e AA	-
Motor de abertura de estufa lateral	0,09 kW	Utilizado para abertura de estufa para ventilação. Num total de 2 motores, em autogestão.	Não	I e AA	-
Câmara Frigorífica	2,76 kW	Utilizado geralmente entre o final do mês de abril até dezembro para fazer choque térmico da framboesa. Ligada 3 vezes por semana (segunda, quarta e sexta), os restantes dias é desligada. É ligada por volta das 8h às 17/18h. Temperatura entre 1,5°C e 2,5°C.	Sim	I	Representa maior consumo na exploração
Arca Frigorífica	0,24 kW	Utilizada para armazenar framboesas que tenham de passar por processo de controlo.	Sim	I e T	-
Frigorífico	57 W	Uso doméstico pelos colaboradores.	Sim	I e T	-

* Interrupção (I); antecipação/adiamento (AA); alteração de T(T)

4.3.2 Perfil de consumo e diagramas de carga

Na análise dos dados recolhidos pela auditoria observa-se que ambas as empresas apresentam um padrão repetitivo de consumo, com picos entre as 7h e 18h, coincidindo com os horários de trabalho e de operação dos equipamentos e da presença dos colaboradores. Durante a noite, verifica-se uma diminuição do consumo, uma vez que não há atividade operacional e a maioria das cargas se encontra inativa, com exceção da câmara frigorífica (Figura 62 e Figura 63).

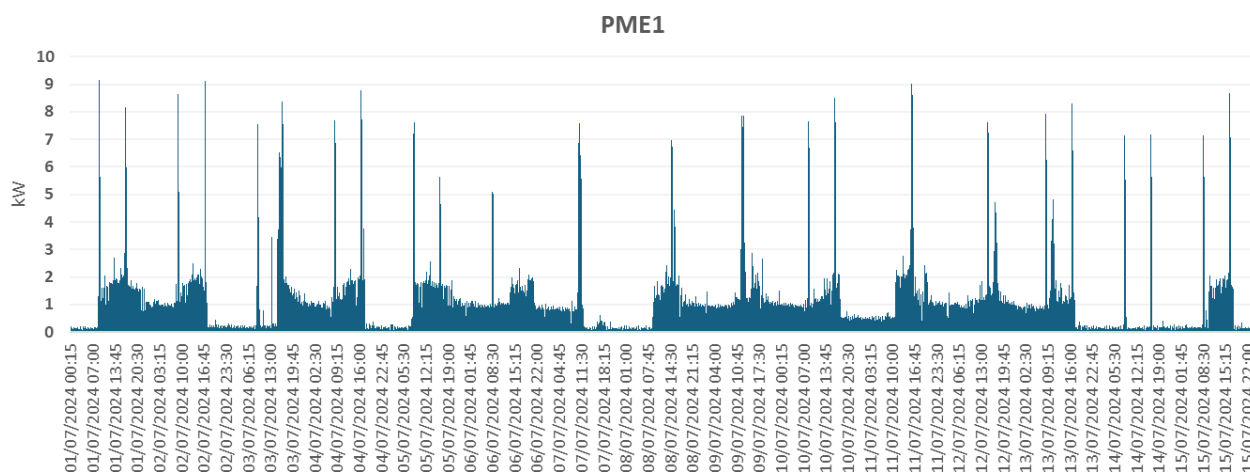


Figura 62 – PM1: Diagrama de carga no período de pico de produção (1 a 15 de julho) (kW/15min).

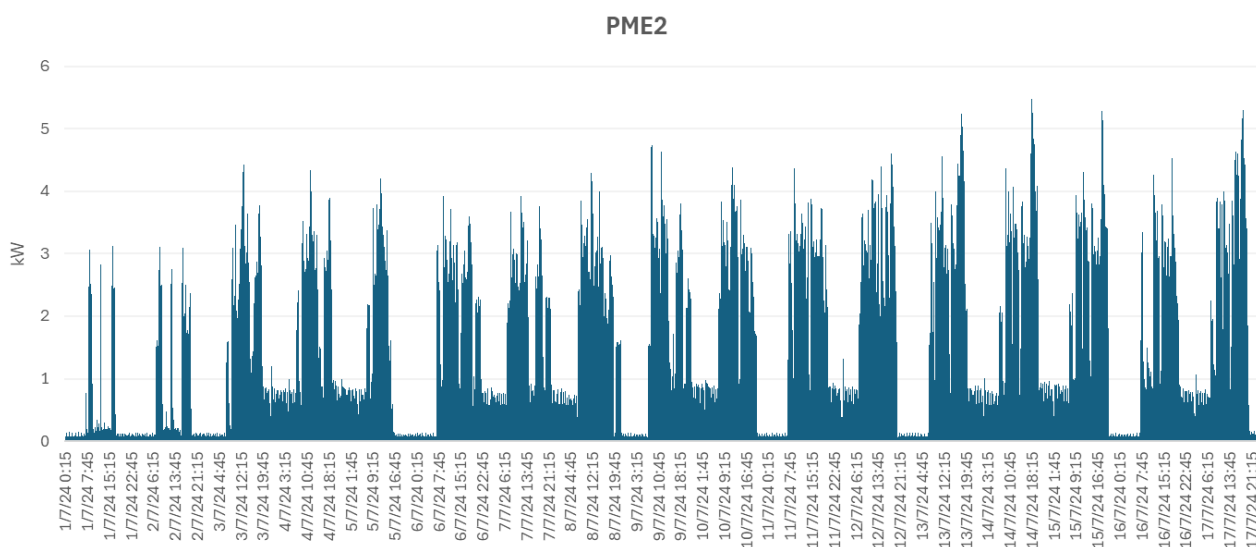


Figura 63 – PME2: Diagrama de carga no período de pico de produção (1 a 17 de julho) (kW/15min).

A interpretação do diagrama de carga em conjunto com compreensão do perfil de utilização dos equipamentos, torna-se uma ferramenta eficaz para otimização do sistema energético. A análise do perfil de carga permite identificar o ciclo dos principais equipamentos, nomeadamente, a câmara

frigorífica, a arca frigorífica, o frigorífico e os sistemas de fertirrigação, permitindo detetar anomalias e ajustar o padrão de utilização em função de tarifários e tecnologias de autoconsumo. As Figura 64, Figura 65, Figura 66, Figura 67, apresentam, a título ilustrativo, a interpretação de alguns diagramas de carga das PME analisadas.

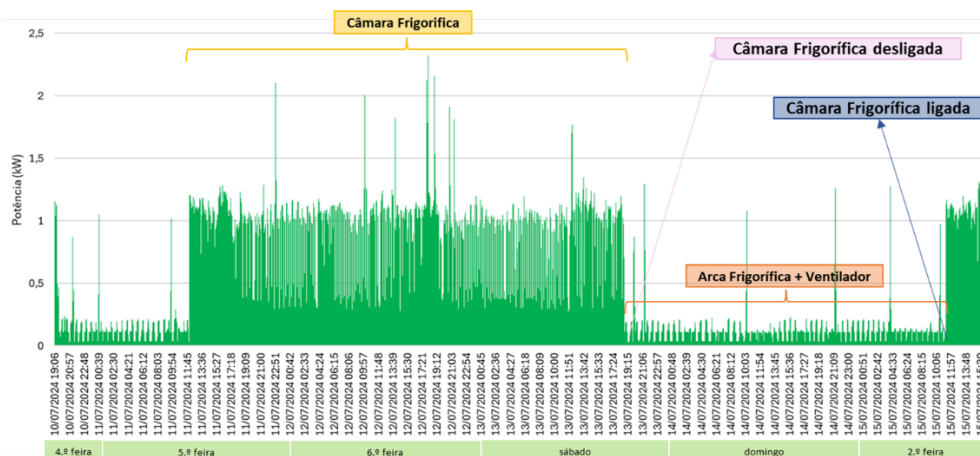


Figura 64 – PME1: Diagrama de carga interpretado (11-15/07/2024).

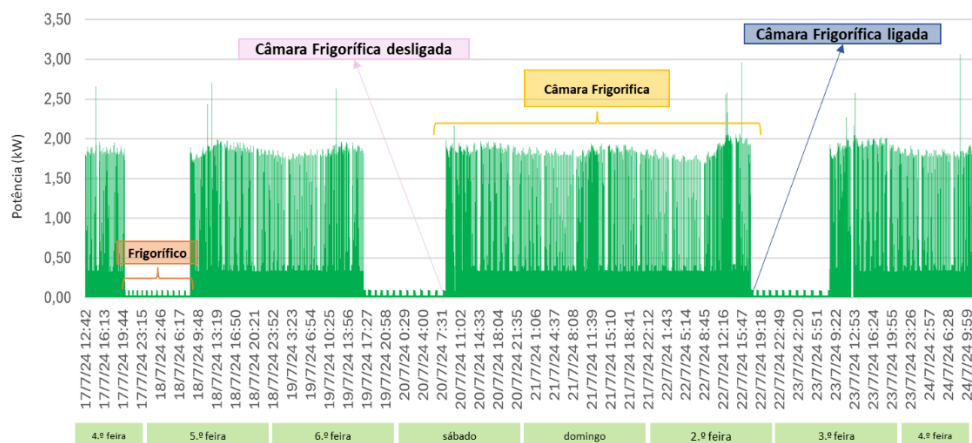


Figura 65 – PME2: Diagrama de carga interpretado (17-24/07/2024).

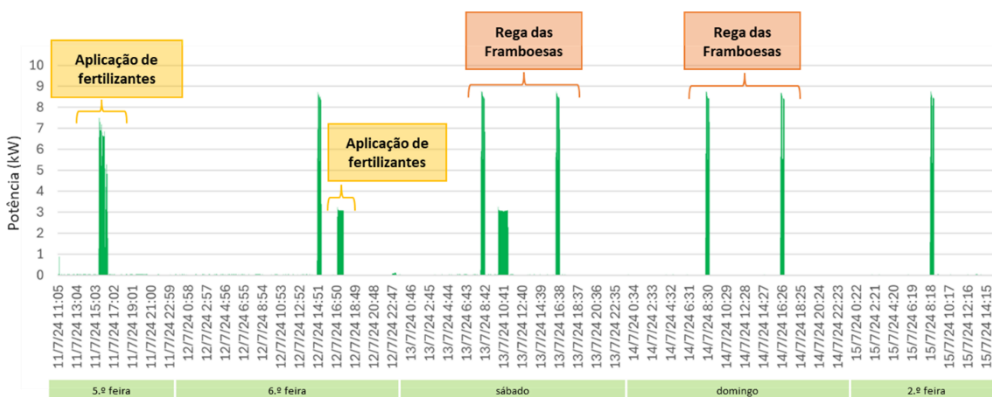


Figura 66 – PME1: Diagrama de carga do sistema de fertirrigação interpretado (11-15/07/2024).

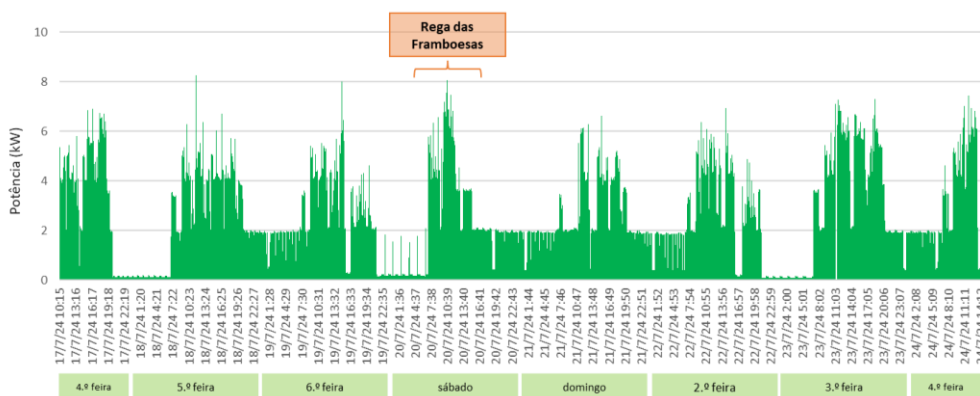


Figura 67 – PME2: Diagrama de carga do sistema de fertirrigação interpretado (17-24/07/2024).

4.3.3 Medidas de melhoria propostas

Em ambas as PME foi detetado que a potência contratada excede o valor necessário, tendo em conta o perfil de potência instantânea tomada. A redução da potência contratada poderá assim resultar numa redução da fatura de eletricidade. No caso da PME1, que recentemente instalou uma UPAC, esta deverá reavaliar o seu tarifário (bi-horário), uma vez que os maiores consumos ocorrem entre as 8h e as 18h. A mudança para uma tarifa simples pode permitir a racionalização da despesa em face do sistema autoconsumo instalado. Outro aspeto identificado foi o desequilíbrio de fases no quadro elétrico da PME2, o que pode comprometer a qualidade da energia fornecida e o desempenho da sua rede elétrica e equipamentos.

Com base na auditoria energética realizada, foram identificadas diversas oportunidades para otimizar o consumo energético e melhorar a eficiência dos equipamentos em ambas as explorações. As medidas propostas foram adaptadas às especificidades de cada exploração:

Medidas comuns às duas PME:

1. **Negociação da tarifa de eletricidade (PME1) e ajuste da potência contratada** → Em ambas as explorações, os picos de potência registados foram inferiores a 12 kW, enquanto a potência contratada é de 20,7 kVA. Uma revisão do contrato permitiria adequar os custos às reais necessidades.
2. **Monitorização da humidade do solo** → A implementação de sensores permitirá ajustar a rega em função das necessidades, evitando desperdícios.
3. **Auditorias energéticas periódicas** → Manter um acompanhamento regular do desempenho energético ajudará a identificar novas oportunidades de melhoria.
4. **Planeamento de testes de controlo de cargas** → Ajuste dos horários e da operação dos equipamentos para assegurar que os equipamentos funcionam de forma otimizada e dentro dos parâmetros desejados, explorando igualmente o potencial de flexibilidade.

Medidas específicas para a PME1:

1. **Isolamento térmico da câmara frigorífica** → A melhoria do isolamento do piso permitirá reduzir perdas térmicas, otimizando o consumo energético do sistema de refrigeração.
2. **Otimização de produção solar fotovoltaica** → A PME1 já possui uma UPAC instalada, por isso a otimização do uso da produção para maximizar o autoconsumo da exploração, permitirá reduzir ainda mais os custos operacionais.

Medidas específicas para a PME2:

1. **Correção do desequilíbrio de fases no quadro elétrico** → A redistribuição das cargas permitirá evitar sobrecargas numa das fases, melhorando a qualidade da energia e prolongando a vida útil dos equipamentos.
2. **Instalação de produção solar fotovoltaica** → A PME2 não possui atualmente um sistema de produção descentralizada para autoconsumo. A instalação de painéis fotovoltaicos representaria uma oportunidade de redução de custos e maior independência energética, especialmente considerando o elevado consumo da exploração nas horas de maior produção.

5. Conclusões

Face do aumento acentuado dos preços de energia, especialmente no contexto bélico atual, a transição energética tornou-se uma prioridade, com a necessidade urgente de reduzir a dependência dos combustíveis fósseis. A integração de fontes de energia renováveis, como a energia solar, é fundamental para alcançar esse objetivo, mas também desafia a utilização de grandes áreas de solo para a instalação de painéis fotovoltaicos.

Sendo uma premissa clara que o setor agrícola assume um papel essencial no desenvolvimento económico e social, garantindo a segurança alimentar e promovendo o desenvolvimento sustentável do território. No contexto da transição energética, os sistemas agrivoltaicos surgem como uma solução inovadora que permite a produção agrícola e energética simultânea na mesma parcela de terreno. Esses sistemas não só reforçam o papel da agricultura na transição energética, como também promovem a preservação das superfícies agroflorestais e criam uma rentabilidade extra para a atividade agrícola.

O funcionamento e futuro da rede elétrica, passará a depender dos utilizadores da rede, pelo que todas as áreas de atividade, incluindo a agricultura, devem ser contemplados na participação nos mercados de flexibilidade que vierem a ser implementados, de forma a garantir o sucesso da transição energética. Embora a flexibilidade na agricultura ainda seja um tema pouco explorado, ela apresenta grandes potencialidades. A capacidade de adaptação e otimização da produção agrícola será decisiva, permitindo que os agricultores não apenas contribuam para a descarbonização, mas também melhorem a rentabilidade das suas explorações.

Como contribuições científicas, este trabalho apresenta um avanço significativo na compreensão do papel da agricultura na transição energética, com foco na integração de soluções de energia renováveis descentralizadas e das potencialidades de flexibilidade na agricultura. Este relatório contribui para a literatura existente ao demonstrar que a agricultura não é apenas um setor produtivo, mas também um ativo valioso na descarbonização da economia. Este estudo também fornece uma base para futuros trabalhos sobre como os agricultores podem beneficiar de soluções de flexibilidade, capacitando-os para participarem ativamente na transição energética.

A investigação e o desenvolvimento de soluções que aumentem a flexibilidade do sistema elétrico agrícola exigem um forte investimento em I&D, incluindo projetos-piloto como o AgriFlex, que visam testar e implementar soluções inovadoras. O trabalho futuro o aprofundamento do estudo da flexibilidade no setor agrícola com o objetivo de perceber outras necessidades deste setor e a receptividade dos agricultores para mercados de flexibilidade.

No entanto, este caso de estudo está inserido numa Instituição de Ensino Superior (IES) e, embora seja um exemplo de boas práticas e aplicabilidade para o setor, encontram-se algumas limitações. O centro apresenta uma grande complexidade e diversidade de sistemas produtivos, o que torna o caso de estudo longe de uma instalação agrícola ideal. A sua pequena dimensão, juntamente com os seus consumos e produção reduzidos, impede que o mesmo possa participar, de forma autónoma, em

mercados de flexibilidade. Além disso, o AgroBioTech, como parte de uma IES, é subfinanciado, o que impacta diretamente a continuidade de projetos inovadores que impliquem elevados recursos financeiros.

No entanto, as comunidades de energia renovável (CER) e autoconsumo coletivo (ACC) podem ser uma solução para ultrapassar este constrangimento. Através da partilha da energia produzida, o AgroBioTech poderia não só otimizar a sua produção de energia, mas também vender energia à comunidade. Além disso, existe um excesso de produção à data da realização deste estudo, o que torna esta ideia uma opção viável.

O AgroBioTech apresenta-se como um protótipo de uma *micro-grid*, com potencial para se desenvolverem nos soluções inovadores e potenciar a investigação e desenvolvimento de novas tecnologias e modelos.

Como próximos passos, será importante a construção de um modelo de otimização com utilização de um *digital twin*. O objetivo é criar um modelo de otimização multiobjetivo, que permitirá melhorar a eficiência da exploração agrícola. Este modelo será uma ferramenta chave para integrar as soluções de flexibilidade e gestão de resposta à procura, alinhando a produção agrícola e energética de forma otimizada. A quantificação da flexibilidade que não foi calculada durante o estudo também será um dos próximos trabalhos, com o objetivo de identificar o potencial da agricultura e otimizar o seu desempenho.

Em conclusão, este trabalho não só reforça a importância do setor agrícola na transição energética, mas também destaca as limitações e desafios enfrentados na exploração e a nível macro pelas instituições de ensino superior, que devem ser consideradas ao desenvolver estes projetos-piloto.

Referências

- Acer-eea. (2023). Flexibility solutions to support a decarbonised and secure EU electricity system. *EEA - ACER*. <https://doi.org/10.2800/104041>
- ADENE - Agência para a Energia. (2019). *Manual de Auditorias Energéticas na Indústria*.
- ADENE e DGEG. (2022). *Autoconsumo e Comunidade de Energia Renovável – Guia Legislativo*.
- Aghajanzadeh, A., Sohn, M. D., Berger, M. A., & Bauer, D. J. (2019). *Water-Energy Considerations in Californian’s Agricultural Sector and Opportunities Provide Flexibility to California’s Grid*.
- Aghajanzadeh, A., & Therkelsen, P. (2019). Agricultural demand response for decarbonizing the electricity grid. *Journal of Cleaner Production*, 220. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.207>
- Agostini, A., Colauzzi, M., & Amaducci, S. (2021). Innovative agrivoltaic systems to produce sustainable energy: An economic and environmental assessment. *Applied Energy*, 281, 116102. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116102>
- Agroglobal. (2023). Workshop Projetos Inovadores da Iniciativa Emblemática Transição Agro-energética. Feira Agroglobal, 4-6 de setembro, Santarém
- Anjo, J., Neves, D., Silva, C., Shivakumar, A., & Howells, M. (2018). Modeling the long-term impact of demand response in energy planning: The Portuguese electric system case study. *Energy*, 165, 456–468. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.09.091>
- Asgari, N., Hayibo, K. S., Groza, J., Rana, S., & Pearce, J. M. (2025). Greenhouse applications of solar photovoltaic driven heat pumps in northern environments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 207, 114920. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114920>
- Barnes, J., Hansen, P., Kamin, T., Golob, U., Musolino, M., & Nicita, A. (2022). Energy communities as demand-side innovators? Assessing the potential of European cases to reduce demand and foster flexibility. *Energy Research & Social Science*, 93, 102848. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102848>
- Carreiro, A., Tavares, B., Delgado, E., Sarilho, J., Bastos, L., & Couto, M. (2024). *Flexibilidade do Sistema Elétrico e soluções de Armazenamento*. <https://www.omie.es/en/market-results/daily/daily->
- Chatzipanagi, Anatoli., Taylor, Nigel., & Jaeger-Waldau, Arnulf. (2023). *Overview of the potential and challenges for agri-photovoltaics in the European Union*. Publications Office of the European Union.
- Contrato de Serviços de Flexibilidade, (2023). https://www.e-redes.pt/sites/eredes/files/2023-08/Contrato_de_servicos_de_flexibilidade.pdf

- Costa J., Ferreira V., & Pinho P. (2019). *O papel da agricultura na governação da União da Energia e da ação climática*.
- Crippa, M., Guizzardi, D., Pagani, F., & Pisoni, E. (2025). GHG Emissions at sub-national level. Europa.eu. <https://doi.org/10.2905/D67EEDA8-C03E-4421-95D0-0ADC460B9658>
- Decreto-Lei nº 15/2022, (2022). <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/15-2022-177634016>
- Decreto-Lei nº 30-A/2022, (2022). <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/30-a-2022-182213906>
- Decreto-Lei nº 72/2022, (2022). <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/72-2022-202357817>
- Degefa, M. Z., Sperstad, I. B., & Sæle, H. (2021). Comprehensive classifications and characterizations of power system flexibility resources. In *Electric Power Systems Research* (Vol. 194). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107022>
- D’Ettorre, F., Banaei, M., Ebrahimi, R., Pourmousavi, S. A., Blomgren, E. M. V., Kowalski, J., Bohdanowicz, Z., Łopaciuk-Gonczaryk, B., Biele, C., & Madsen, H. (2022a). Exploiting demand-side flexibility: State-of-the-art, open issues and social perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 165, 112605. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112605>
- D’Ettorre, F., Banaei, M., Ebrahimi, R., Pourmousavi, S. A., Blomgren, E. M. V., Kowalski, J., Bohdanowicz, Z., Łopaciuk-Gonczaryk, B., Biele, C., & Madsen, H. (2022b). Exploiting demand-side flexibility: State-of-the-art, open issues and social perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 165, 112605. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112605>
- Direção Geral de Energia e Geologia. (2025). Estatísticas rápidas. Renováveis, nº 242. <https://www.dgeg.gov.pt/pt/estatistica/energia/publicacoes/estatisticas-rapidas-das-renovaveis/>
- Diretiva (UE) 2024/1711. (2024). *Parlamento Europeu e do Conselho*. <http://data.europa.eu/eli/C/2023/253/oj>
- Diretiva (EU) 2023/2413. (2023). *Parlamento Europeu e do Conselho*
- Diretiva (UE) 2019/944. (2019). *Parlamento Europeu e do Conselho*. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/ALL/?uri=uriserv:OJ.L_.2019.158.01.0125.01.POR
- Diretiva (EU) 2018/2001. (2018). *Parlamento Europeu e do Conselho*. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/LSU/?uri=oj:JOL_2018_328_R_0003
- Enerdata. (2022). Renewables in electricity production. Enerdata. <https://yearbook.enerdata.net/renewables/renewable-in-electricity-production-share.html>
- Entidade Reguladora Dos Serviços Energéticos. (2025). *Atlas Regulatório do Setor Elétrico*.

- FAO. (2011). *“Energy-smart” food for people and climate*.
- Gellings C. W., & Chamberlin J. H. (1993). Demand-side Management: Concepts and Methods. 2nd Ed.: C. W. GELLINGS and J. H. CHAMBERLIN. *International Journal of Electrical Engineering & Education*, 32(1), 92–93. <https://doi.org/10.1177/002072099503200122>
- Golmohamadi, H. (2020). Agricultural Demand Response Aggregators in Electricity Markets: Structure, Challenges and Practical Solutions- a Tutorial for Energy Experts. *Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy*, 5(1), 17. <https://doi.org/10.1007/s40866-020-00091-7>
- Golmohamadi, H. (2022). Demand-Side Flexibility in Power Systems: A Survey of Residential, Industrial, Commercial, and Agricultural Sectors. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 14, Issue 13). <https://doi.org/10.3390/su14137916>
- Golmohamadi, H., Keypour, R., & Niasati, M. (2016). Composite System Maintenance Coordination in a Smart Grid Considering Demand Response. *Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy*, 1(1), 13. <https://doi.org/10.1007/s40866-016-0014-1>
- Gorjian, S., Bousi, E., Özdemir, Ö. E., Trommsdorff, M., Kumar, N. M., Anand, A., Kant, K., & Chopra, S. S. (2022). Progress and challenges of crop production and electricity generation in agrivoltaic systems using semi-transparent photovoltaic technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 158, 112126. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2022.112126>
- Hassanien, R. H. E., Li, M., & Dong Lin, W. (2016). Advanced applications of solar energy in agricultural greenhouses. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 989–1001. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.10.095>
- Hernandez, R. R., Armstrong, A., Burney, J., Ryan, G., Moore-O’Leary, K., Diédhiou, I., Grodsky, S. M., Saul-Gershenz, L., Davis, R., Macknick, J., Mulvaney, D., Heath, G. A., Easter, S. B., Hoffacker, M. K., Allen, M. F., & Kammen, D. M. (2019). Techno–ecological synergies of solar energy for global sustainability. In *Nature Sustainability* (Vol. 2, Issue 7, pp. 560–568). Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0309-z>
- Impram, S., Varbak Nese, S., & Oral, B. (2020). Challenges of renewable energy penetration on power system flexibility: A survey. *Energy Strategy Reviews*, 31, 100539. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100539>
- Instituto Nacional de Estadística. (2019). *Recenseamento agrícola 2019*.
- IRENA. (2018). *Power system flexibility for the energy transition, Part 1: Overview for policy makers*. www.irena.org
- Kanakadhurga, D., & Prabakaran, N. (2022). Demand side management in microgrid: A critical review of key issues and recent trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 156, 111915. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111915>

- Li, H., Wang, Z., Hong, T., & Piette, M. A. (2021). Energy flexibility of residential buildings: A systematic review of characterization and quantification methods and applications. In *Advances in Applied Energy* (Vol. 3). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.adapen.2021.100054>
- Lopes, M. (2024). *Demand-side flexibility: Current Status in Portugal*. Apresentação em Users TCP Flexibility Workshop. Austrian Institute of Technology, Vienna.
- Lund, P. D., Lindgren, J., Mikkola, J., & Salpakari, J. (2015). Review of energy system flexibility measures to enable high levels of variable renewable electricity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 785–807. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.057>
- Magarelli, A., Mazzeo, A., & Ferrara, G. (2024). *Fruit crop species for agrivoltaic systems: state of the art*. <https://doi.org/10.20944/preprints202402.0741.v1>
- Mamun, M. A. Al, Dargusch, P., Wadley, D., Zulkarnain, N. A., & Aziz, A. A. (2022). A review of research on agrivoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 161, 112351. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112351>
- Manuel Loureiro, Rui Trindade, Ana Sofia Sampaio, Bruno Dimas, Eduardo Diniz, Ana Filipe Morais, Ana Rita Moura, & Bárbara Garção. (2019). *Cadernos de Análise e Prospetiva e Prospetiva N.º 18 | dezembro de 2019 | Energia na agricultura*.
https://www.gpp.pt/images/GPP/O_que_disponibilizamos/Publicacoes/CULTIVAR_18/CULTIVAR%2018.pdf
- McKenna, K., & Keane, A. (2016). Residential Load Modeling of Price-Based Demand Response for Network Impact Studies. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 7(5), 2285–2294.
<https://doi.org/10.1109/TSG.2015.2437451>
- Miranda, R. (2024). Do campo à rede: A produção de energia na agricultura através da tecnologia Agrivoltaica. *Frutas, Legumes E Flores*, março 2024.
- Miranda, R. (2023). Desbloquear a Flexibilidade: O papel da agricultura na transição energética. *AGROTEC*, nº 50. <https://drive.google.com/file/d/1B0fyTGbjlhavpx0f3lOjhdbrkCCMnqXg/view>
- Neofytou, H., Nikas, A., & Doukas, H. (2020). Sustainable energy transition readiness: A multicriteria assessment index. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 131, 109988.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109988>
- Observatório Da Energia. (2024). *Energia em Números-Edição 2024*.
- Oxby, J., & Capper, T. (2024). *Demand side response: A tool for lowering household energy bills*. <https://doi.org/10.58248/PN715>
- Pacto Ecológico Europeu. (2019). *Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho Europeu, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0640>

- Pina, A., Silva, C., & Ferrão, P. (2012). The impact of demand side management strategies in the penetration of renewable electricity. *Energy*, 41(1), 128–137.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.06.013>
- Plano Nacional de Desenvolvimento da Rede de Distribuição. (2024).
- Plano Nacional Energia e Clima 2030, Resolução do conselho de ministros n.o 53/2020, (2020).
<https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/resolucao-conselho-ministros/53-2020-137618093>
- Plano RePowerEU. (2022). *Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho Europeu, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões*.
- Proctor, K. W., Murthy, G. S., & Higgins, C. W. (2021). Agrivoltaics align with green new deal goals while supporting investment in the us' rural economy. *Sustainability (Switzerland)*, 13(1), 1–11.
<https://doi.org/10.3390/su13010137>
- Regulamento dos Concursos para a Prestação de Serviços de Flexibilidade, (2023). https://www.eredes.pt/sites/eredes/files/2023-08/Regulamento_concursos_prestacao_servicos.pdf
- Regulamento Tarifário do Setor Elétrico. (2023). https://www.erse.pt/media/00vlfhng/regulamento-828_2023.pdf
- Regulamento (UE) 2017/1485. (2017). *Parlamento Europeu e do Conselho*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/ALL/?uri=CELEX:32017R1485>
- Regulamento (UE) 2024/1747. (2024). *Parlamento Europeu e do Conselho*.
<http://data.europa.eu/eli/reg/2024/1747/oj>
- Sæle, H., Sperstad, I. B., Wang Hoiem, K., & Mathiesen, V. (2023). Understanding barriers to utilising flexibility in operation and planning of the electricity distribution system – Classification frameworks with applications to Norway. *Energy Policy*, 180.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113618>
- Simoiu, M. S., Fagarasan, I., Ploix, S., & Calofir, V. (2021). Optimising the self-consumption and self-sufficiency: A novel approach for adequately sizing a photovoltaic plant with application to a metropolitan station. *Journal of Cleaner Production*, 327, 129399.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129399>
- Sirnik, I., Stremke, S., & Bir, K. (2024). Landscape user experiences of interspace and overhead agrivoltaics: A comparative analysis of two novel types of solar landscapes in the Netherlands. *Energy Research & Social Science*, 109(December 2023), 103408.
<https://doi.org/10.1016/j.ERSS.2023.103408>
- Touil, S., Richa, A., Fizir, M., & Bingwa, B. (2021). Shading effect of photovoltaic panels on horticulture crops production: a mini review. In *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* (Vol. 20, Issue 2, pp. 281–296). Springer Science and Business Media B.V.
<https://doi.org/10.1007/s11157-021-09572-2>

- Trommsdorff, M., Gruber, S., & Keinath, T. (2022). *Agrivoltaics: Opportunities for Agri-culture and the Energy Transition*. www.ise.fraunhofer.de
- United Nations. (2015). *Paris Agreement*. (2016). *Official Journal*, L 282, 4-18. CELEX. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:22016A1019\(01](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:22016A1019(01)
- União Europeia. (2024). *Emissões de gases com efeito de estufa por país e setor*. Parlamento Europeu. <https://www.europarl.europa.eu/topics/pt/article/20180301STO98928/emissoes-de-gases-com-efeito-de-estufa-por-pais-e-setor-infografia>
- União Europeia. (2018). *Alterações climáticas na Europa: factos e números*. Parlamento Europeu. <https://www.europarl.europa.eu/topics/pt/article/20180703STO07123/alteracoes-climaticas-na-europa-factos-e-numeros>
- Usman, M., & Makhdum, M. S. A. (2021). What abates ecological footprint in BRICS-T region? Exploring the influence of renewable energy, non-renewable energy, agriculture, forest area and financial development. *Renewable Energy*, 179, 12–28. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.07.014>
- Walston, L. J., Barley, T., Bhandari, I., Campbell, B., McCall, J., Hartmann, H. M., & Dolezal, A. G. (2022). Opportunities for agrivoltaic systems to achieve synergistic food-energy-environmental needs and address sustainability goals. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.932018>
- Widuto, A. (2023). *European Parliamentary Research Service*.
- Widuto, A. (2024). *European Parliamentary Research Service*.
- Woods, J., Williams, A., Hughes, J. K., Black, M., & Murphy, R. (2010). Energy and the food system. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 2991–3006. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0172>
- Zheng, S., Sun, Y., Li, B., Qi, B., Shi, K., Li, Y., & Tu, X. (2020). Incentive-Based Integrated Demand Response for Multiple Energy Carriers Considering Behavioral Coupling Effect of Consumers. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 11(4), 3231–3245. <https://doi.org/10.1109/TSG.2020.2977093>

Apêndices

A1. Glossário

«**Agregação**» uma função desempenhada por uma pessoa singular ou coletiva, que pode ser ou não um comercializador, que combina a eletricidade produzida, consumida ou armazenada de múltiplos clientes para compra ou venda em mercados de energia ou de serviços de sistema;

«**Armazenamento de energia**» a transferência da utilização final de eletricidade para um momento posterior ao da sua produção através da sua conversão numa outra forma de energia, designadamente química, potencial ou cinética;

«**Auditoria energética**» um procedimento sistemático que visa obter um conhecimento adequado das características de consumo energético de um edifício ou de um conjunto de edifícios, de uma atividade ou de uma instalação industrial ou comercial ou de serviços privados ou públicos; identificar e quantificar as economias de energia que podem ser realizadas de uma forma rentável e dar a conhecer os resultados;

«**Autoconsumo**» o consumo assegurado por energia elétrica produzida por uma ou mais UPAC e realizado por um ou mais autoconsumidores de energia renovável;

«**Autoconsumidor**» um consumidor final que produz energia renovável para consumo próprio, nas suas instalações situadas no território nacional, e que pode armazenar ou vender eletricidade com origem renovável de produção própria, desde que, para os autoconsumidores de energia renovável não domésticos, essas atividades não constituam a sua principal atividade comercial ou profissional, podendo exercer esta atividade em autoconsumo individual ou ACI ou em autoconsumo coletivo ou ACC quando, respetivamente o autoconsumo é para consumo numa instalação elétrica de utilização (IU), ou em duas ou mais IU, estando, em ambos os casos, a ou as UPAC instaladas nessa(s) IU ou na sua proximidade e com ligações entre si através da RESP, e/ou de uma rede interna e/ou por linha direta, sem prejuízo de o direito de propriedade sobre a UPAC ser titulado por terceiro(s);

«**Autoconsumidores de energia renovável que atuam coletivamente**» um grupo de pelo menos dois autoconsumidores de energia renovável que atuam coletivamente que se encontrem no mesmo edifício ou bloco de apartamentos;

«**Baixa tensão**» ou «**BT**» a tensão entre fases cujo valor eficaz é igual ou inferior a 1 kV. Destina-se a Clientes residenciais, lojas, escritórios e pequenas empresas, alimentadas ao nível de tensão 230/400 V;

«**Baixa tensão especial**» ou «**BTE**» para potências contratadas superior a 41,4 kVA;

«**Baixa tensão normal**» ou «**BTN**» para potências contratadas iguais ou inferiores a 41,4 kVA e uma potência mínima contratada de 1,15 kVA;

«**Cliente ativo**» o cliente final, ou o grupo de clientes finais que atuam em conjunto, que consome ou armazena eletricidade produzida nas suas instalações situadas dentro de limites confinados, ou eletricidade de produção própria ou eletricidade partilhada noutras instalações, ou que vende

eletricidade de produção própria ou participa em regimes de flexibilidade ou de eficiência energética, desde que essas atividades não constituam a sua principal atividade comercial ou profissional;

«**Comunidade de energia renovável**» uma entidade jurídica: a) que, de acordo com o direito nacional aplicável, tem por base uma participação aberta e voluntária, é autónoma e é efetivamente controlada por acionistas ou membros que estão localizados na proximidade dos projetos de energia renovável os quais são propriedade dessa entidade jurídica e por esta desenvolvidos, b) cujos acionistas ou membros são pessoas singulares, PME ou autoridades locais, incluindo municípios, c) cujo objetivo principal é propiciar aos seus acionistas ou membros ou às localidades onde opera benefícios ambientais, económicos e sociais em vez de lucros financeiros;

«**Consumo de energia final**» toda a energia fornecida à indústria, transportes, agregados familiares, serviços e agricultura, com exceção dos fornecimentos ao setor da transformação de energia e às indústrias da energia propriamente ditas;

«**Consumo de energia primária**» o consumo interno bruto, excluindo as utilizações não energéticas;

«**Consumidor final**» uma pessoa singular ou coletiva que compra energia para utilização própria;

«**Consumo final bruto de energia**» os produtos energéticos fornecidos para fins energéticos à indústria, aos transportes, aos agregados familiares, aos serviços, incluindo os serviços públicos, à agricultura, à silvicultura e às pescas, o consumo de eletricidade e calor pelo ramo da energia para a produção de eletricidade, de calor e de combustíveis para os transportes e as perdas de eletricidade e calor na distribuição e transporte;

«**Contador inteligente**» um dispositivo que integra um sistema eletrónico preparado para medir o consumo de eletricidade ou a eletricidade introduzida na rede e que pode transmitir e receber dados para efeitos de informação, monitorização, controlo e ação, recorrendo a uma forma de comunicação eletrónica;

«**Economias de energia**» a quantidade de energia economizada, determinada pela medição e/ou estimativa do consumo antes e após a aplicação de uma medida de melhoria da eficiência energética, garantindo simultaneamente a normalização das condições externas que afetam o consumo de energia;

«**Eficiência energética**» o rácio entre o resultado em termos do desempenho, serviços, bens ou energia gerados e a energia utilizada para o efeito;

«**Energia**» todas as formas de produtos energéticos, combustíveis, calor, energia renovável, eletricidade ou qualquer outra forma de energia, definidas no artigo 2.º, alínea d), do Regulamento (CE) nº 1099/2008 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 22 de outubro de 2008, relativo às estatísticas da energia;

«**Energia armazenada**» a energia elétrica acumulada em sistemas de armazenamento de energia, incluindo em veículos elétricos quando os mesmos sejam capazes de introduzir energia na rede, nomeadamente através dos pontos de carregamento bidirecionais associados à IU;

«**Energia excedente da produção para autoconsumo**» a energia produzida por UPAC e não consumida nem armazenada;

«**Entidade gestora do autoconsumo coletivo**» ou «**EGAC**» a pessoa, singular ou coletiva, que pode ou não ser autoconsumidor, designada pelos autoconsumidores coletivos, para a prática de atos em sua representação;

«**Flexibilidade**» a capacidade de uma rede de eletricidade para se ajustar à variabilidade dos padrões de produção e de consumo e à disponibilidade da rede nos vários períodos de operação do mercado pertinentes;

«**Fontes de energia renováveis**» as fontes de energia não fósseis renováveis, nomeadamente eólica, solar, aerotérmica, geotérmica, hidrotérmica, oceânica, hídrica, biomassa e gases renováveis;

«**IU**» uma instalação elétrica de utilização;

«**Melhoria da eficiência energética**» o aumento de eficiência energética resultante de mudanças tecnológicas, comportamentais e/ou económicas; Diretiva 2012/27/EU

«**Mercados de eletricidade**» os mercados de balcão e as bolsas de eletricidade, mercados de energia, de capacidade, de serviços de balanço e de serviços de sistema em todos os períodos de operação, incluindo os mercados a prazo, de dia seguinte e intradiários;

«**Operador de Rede de Distribuição (ORD)**» o operador da rede que exerce a atividade de distribuição e é responsável pela construção, exploração e manutenção da rede de distribuição e, quando aplicável, pelas suas interligações, bem como por assegurar a garantia de capacidade da rede a longo prazo;

«**Operador de Rede de Transporte (ORT)**» o operador da rede que exerce a atividade de transporte e é responsável pela construção, exploração e manutenção da rede de transporte e, quando aplicável, pelas suas interligações, incluindo transfronteiriças, bem como por assegurar a garantia de capacidade da rede a longo prazo;

«**Período horário**» intervalo de tempo no qual a energia ativa é faturada ao mesmo preço;

«**PME**» uma micro, pequena ou média empresa;

«**Potência instalada**» a potência ativa e aparente, em kW e kVA, dos equipamentos de produção de eletricidade ou de instalação de armazenamento;

«**Rede interna**» a rede de serviço particular, instalada dentro de espaço confinado e com contiguidade geográfica, composta por um conjunto de linhas interconectadas e demais instalações elétricas auxiliares destinadas à veiculação da energia oriunda de UPAC ou instalações de armazenamento para uma ou mais IU associadas ao autoconsumo, podendo ter uma interligação elétrica com a RESP;

«**Serviço energético**» os benefícios tangíveis, a utilidade ou as vantagens resultantes de uma combinação de energia com tecnologias e/ou ações energeticamente eficientes – incluindo as

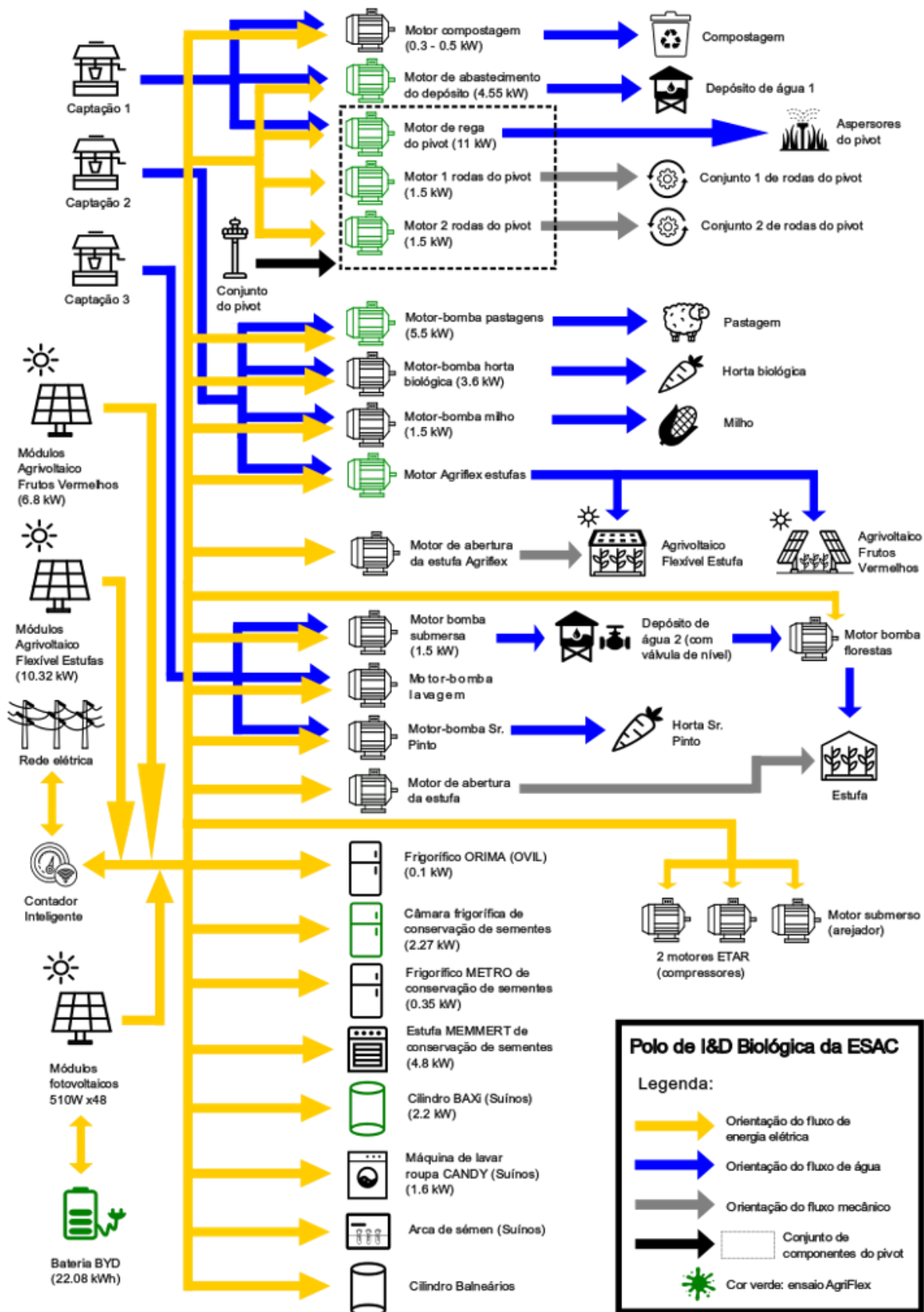
operações, a manutenção e o controlo necessários para a prestação do serviço – que seja realizado com base num contrato e que, em condições normais, tenha dado provas de conduzir a uma melhoria verificável e mensurável ou estimável da eficiência energética ou da economia de energia primária;

«Sistema de gestão da energia» um conjunto de elementos, inter-relacionados ou em interação, inseridos num plano que estabelece um objetivo de eficiência energética e uma estratégia para o alcançar;

«Sistema Elétrico Nacional» ou «SEN» o conjunto de princípios, organizações, agentes e instalações elétricas relacionados com as atividades abrangidas pelo Decreto-Lei n.º 15/2022, de 14 de janeiro;

«Unidade de produção para autoconsumo» ou «UPAC» uma ou mais unidades de produção que tem como fonte primária a energia renovável, incluindo ou não instalações de armazenamento de energia, associada(s) a uma ou várias IU, destinada primordialmente à satisfação de necessidades próprias de abastecimento de energia elétrica, que sejam instaladas nessa(s) IU e/ou na proximidade da(s) IU que abastecem, podendo ser propriedade de e/ou geridas por terceiro(s).

A2. Esquema dos fluxos de energia elétrica e água



A3. Listagem de equipamentos caracterizadores da exploração AgroBioTech

Nome do equipamento	Tipo de Produção	Serviço de Energia
Motor de abastecimento do depósito	Produção Agrícola	Sistema de bombagem
Motor compostagem	Produção Agrícola	Sistema de bombagem
Conjunto do pivot	Produção Agrícola	Sistema de bombagem
Eletrobomba das pastagens	Produção Agrícola	Sistema de bombagem
Motor-bomba horta biológica	Produção Agrícola	Sistema de bombagem
Motor-bomba milho	Produção Agrícola	Sistema de bombagem
Bomba submersível	Produção Agrícola	Sistema de bombagem
Bomba pomar de medronheiros	Produção Agrícola	Sistema de bombagem
Motor-bomba Sr. Pinto	Produção Agrícola	Sistema de bombagem
Motor de abertura lateral da estufa AgriFlex	Produção Agrícola	Ventilação de estufa
Motor-bomba de lavagem	Produção Animal	Sistema de bombagem
ETAR	Produção Animal	Tratamento de efluentes
Frigorífico veterinário	Produção Animal	Sistema de Refrigeração
Arca de conservação de sementes	Produção Agrícola	Sistema de Refrigeração
Câmara frigorífica conservação de sementes	Produção Agrícola	Sistema de Refrigeração
Cilindro suínos	Produção Animal	Aquecimento de Águas Sanitárias
Estufa de conservação de sementes	Produção Agrícola	Secagem
Arca de sémen de suínos	Produção Animal	Sistema de Refrigeração
Máquina de lavar e secar a roupa	Produção Animal	Lavagem de roupa
Bateria PV	Serviços de apoio	Armazenamento
PV telhado Fronius	Serviços de apoio	Geração
Motor principal AgriFlex	Produção Agrícola	Sistema de bombagem
PV agrovoltaico estufa	Produção Agrícola	Geração
Motor de abertura topo de estufa AgriFlex	Produção Agrícola	Ventilação de estufa
PV agrovoltaico framboesas	Produção Agrícola	Geração
Cilindro balneários	Serviços de apoio	Aquecimento de Águas Sanitárias

A4. Inquéritos “Estudo exploratório sobre a transição na agricultura em Portugal”

Inquérito 1 - Produtores agrícolas

Na exploração agrícola de que é responsável:

1. Qual é a potência de eletricidade contratada?

(Esta informação está disponível numa fatura. Caso não encontre a mesma, preencha pf NS)

2. Qual a tarifa de eletricidade contratada?

(Esta informação está disponível numa fatura)

- Simples
- Bi-horária
- Tri-horária
- Tetra-horária
- Dinâmica
- Não sei/ Não respondo
- Outra:

3. Qual o encargo médio com eletricidade?

(€/mês. Caso não encontre a mesma, preencha pf NS)

4. Qual é o peso da energia elétrica nas despesas mensais?

- <= 5%
- 6-10%
- 11-20%
- 21-30%
- 31-40%
- > 41%
- Não sei/ Não respondo

5. Indique os usos de eletricidade que são responsáveis pela maior proporção da fatura energética:

(Assinale no máximo 3)

- Iluminação
- Ventilação
- Bombagem de água
- Não sei / Não respondo
- Transporte (através tapetes rolantes, tratores elétricos, etc.)
- Aquecimento
- Refrigeração e conservação
- Secagem
- Calibragem, limpeza, lavagem de frutas/hortícolas
- Outra:

6. Nos últimos 3 anos, implementou alguma das seguintes medidas?

(Assinale todas as que implementou)

- Mudança para fornecedor de eletricidade com tarifário mais económico
- Alteração da potência contratada
- Contratação de uma tarifa de eletricidade com preços dinâmicos
- Substituição de motores por outros mais eficientes (incluindo para a rega)
- Troca de câmaras de refrigeração
- Adoção de sistemas LED na iluminação
- Instalação de painéis fotovoltaicos para produção de eletricidade em autoconsumo (UPAC)
- Instalação de painéis solares térmicos ou de caldeira a pellets para produção de calor/água quente

- Instalação de baterias para armazenamento de eletricidade
- Adoção de sistemas de monitorização e gestão de energia
- Aquisição de viaturas elétricas
- Integração numa Comunidade de Energia Renovável (CER)
- Participação no mercado voluntário de carbono
- Não implementei qualquer medida
- Não sei/ Não respondo
- Outra:

7. Se implementou alguma das medidas anteriores, indique por favor se teve apoio:

- Técnico, para identificar as melhores soluções/equipamentos
- Técnico, na elaboração de candidatura a financiamento
- Financeiro, para a implementação da medida
- Outra:

8. Se implementou alguma das medidas anteriores, fê-lo com que motivações?

(Escolha as 3 mais importantes)

- Reduzir a fatura energética
- Cumprir a legislação
- Aproveitar oportunidades de financiamento
- Aumentar a eficiência e competitividade da exploração
- Reduzir o consumo de energia
- Modernizar a exploração
- Melhorar as condições de trabalho
- Proteção do ambiente
- Não implementei qualquer medida
- Outra:

9. Quais as principais barreiras que foram sentidas na implementação deste tipo de medidas?

(Escolha as 3 mais importantes)

- Falta de informação
- Falta de incentivos financeiros
- Desadequação dos apoios
- Resistência à mudança pelo pessoal da exploração
- Legislação complexa e desadequada ao setor agrícola
- Custos elevados de investimento
- Falta de apoio técnico especializado
- Procedimentos administrativos (ex. licenciamento) complexos e morosos
- Pessoal da exploração sem formação específica nesta área
- Políticas agrícolas desadequadas
- Tecnologia desadequada à atividade
- Desadequação dos processos produtivos agrícolas
- Ocorrência de eventos climáticos extremos
- Falta de mão de obra
- Falta de confiança na tecnologia ou nos agentes de mercado
- Não tentei implementar qualquer medida
- Outra:

12. Possui painéis fotovoltaicos para autoconsumo (UPAC)?

- Sim
- Não

No caso de a exploração possuir painéis fotovoltaicos para autoconsumo (UPAC):

13. Costuma programar o funcionamento dos equipamentos que mais consomem eletricidade para o período de maior produção solar?

- Sim, frequentemente
- Sim, mas nem sempre é possível devido a limitações da produção
- Não, porque os períodos de produção solar não correspondem aos períodos de maior consumo de eletricidade da exploração
- Não sei/ Não respondo
- Outra:

14. Estaria disponível para vender parte desta produção à rede?

- Sim, desde que a remuneração económica compensasse
- Sim, mas o processo associado teria de ser pouco burocrático
- Não, já que a totalidade da produção fotovoltaica é necessária para reduzir a fatura energética da exploração
- Não sei / Não respondo
- Outra:

SEMINÁRIO TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NA AGRICULTURA

15. Que aspetos gostaria de ver em discussão no seminário “TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NA AGRICULTURA” que será realizado no próximo dia 14/12/2023 na ESAC-IPC, onde estarão representadas algumas das agências governamentais com responsabilidade nesta temática?

ALGUMAS INFORMAÇÕES ADICIONAIS SOBRE A EXPLORAÇÃO AGRÍCOLA:

A região (NUT II) onde se localiza:

- Norte
- Centro
- Alentejo
- Área Metropolitana de Lisboa
- Algarve
- Região Autónoma dos Açores
- Região Autónoma da Madeira

A categoria em que se enquadra:

- Jovem Empresário Rural (Decreto-lei 9/2019 de 18 de janeiro)
- Empresário(a) em nome individual
- Microempresa (menos de 10 colaboradores e volume de negócio inferior a 2 milhões € anual)
- Pequena empresa (menos de 50 colaboradores e volume de negócio inferior a 10 milhões € anual)
- Média empresa (menos de 250 colaboradores e volume de negócio inferior a 50 milhões € anual)
- Não sei / Não respondo
- Outra:

A principal atividade:

- Cerealicultura
- Fruticultura (ar livre)
- Fruticultura (estufa)
- Horticultura (ar livre)
- Horticultura (estufa)
- Olivicultura
- Viticultura
- Não sei / Não respondo

- Outra:

Área total de produção (ha):

Pertence a alguma Associação de Produtores ou Cooperativa?

- Não
- Sim

Se sim, por favor indique qual(is):

FINALMENTE, ALGUNS DETALHES SOBRE SI:

Idade

Sexo

- Feminino
- Masculino
- Outro
- Não respondo

Grau de instrução:

- Nenhum
- Ensino Básico
- 9º Ano escolaridade
- 12º Ano escolaridade
- Bacharelato
- Licenciatura
- Mestrado ou Pós-graduação
- Doutoramento

Área de formação

Inquérito 2 – Entidades agrícolas

SOBRE A ENTIDADE:

1. Tipologia:

- Associação
- Cooperativa
- Federação
- Outra:

2. Designação:

3. Região de intervenção (NUT II):

- Norte
- Centro
- Alentejo
- Área Metropolitana de Lisboa
- Algarve
- Região Autónoma dos Açores
- Região Autónoma da Madeira
- Âmbito Nacional

4. Número de membros que a integram:

5. Enquadramento da atividade agrícola:

- Cerealicultura

- Fruticultura
- Horticultura
- Olivicultura
- Viticultura
- Outra:

6. Presta apoio técnico às explorações sobre alguma(s) das seguintes temáticas?

(Assinale, por favor, todas as que se aplicam)

- Sistemas de monitorização e gestão de energia
- Medidas de eficiência na rega
- Medidas de eficiência em refrigeração/congelamento
- Medidas de eficiência na secagem, aquecimento ou arrefecimento
- Iluminação eficiente
- Instalação de sistemas de painéis fotovoltaicos
- Produção de calor/água quente com recurso a painéis solares térmicos ou caldeira a pellets
- Adesão/constituição de Comunidades de Energia Renovável (CER)
- Sistemas de armazenamento de eletricidade
- Tarifas de eletricidade
- Mercado voluntário de carbono
- Nenhuma das temáticas anteriores
- Não sei / Não respondo
- Outra:

7. Caso tenha assinalado pelo menos uma área temática na questão anterior, indique sobre quais dimensões é prestado o apoio:

(Assinale, por favor, todas as que se aplicam)

- Esclarecimento de aspetos técnicos, dimensionamento ou elaboração de projeto
- Instrução de processos de licenciamento
- Instrução de candidaturas de financiamento
- Esclarecimentos legais
- Encontrar empresas instaladoras, fornecedores de equipamento ou serviços
- Realização de ações de formação
- Não sei / Não respondo
- Outra:

8. Quais as principais barreiras que encontra ao realizar este apoio (ou razões pelas quais o mesmo não é prestado):

(Escolha as 3 mais importantes)

- Dificuldade em encontrar informação para responder às solicitações
- Procedimentos administrativos (ex. licenciamento) complexos e morosos
- Desconhecimento de interlocutores facilitadores
- Falta de formação especializada na equipa técnica da Entidade
- Recursos humanos insuficientes
- Falta de interesse dos produtores
- Desconfiança por parte dos produtores
- Outra:

9. Que aspetos gostaria de ver em discussão no seminário “TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NA AGRICULTURA” que será realizado no próximo dia 14/12/2023 na ESAC-IPC, onde estarão representadas algumas das agências governamentais com responsabilidade nesta temática?

FINALMENTE, ALGUNS DETALHES SOBRE SI:

Qual a sua idade?

Sexo

- Feminino
- Masculino
- Outro
- Não respondo

Qual o grau de instrução mais elevado que completou?


- Nenhum
- Ensino Básico
- 9º Ano escolaridade
- 12º Ano escolaridade
- Bacharelato
- Licenciatura
- Mestrado ou Pós-graduação
- Doutoramento

Qual a sua área de formação?

A5. Quadro resumo da caracterização da utilização de cargas e possibilidades de controlo

Equipamento	Potência Nominal (kW)	Localização	Utilização	Auditoria	Possibilidades de Controlo (Interrupção (I); antecipação/adiamento (AA); alteração de T(T))	Sensorização automática
Motor de abastecimento do depósito	4,55 kW	Captação 1	Abastece sistema de rega das pastagens no campus principal, a sul da via rápida. Apenas funciona de junho-agosto, usualmente de 10 em 10 dias, durante 60h seguidas.	Sim ao conjunto Motor (4.55kW) + pivot (11kW) com FLUKE	I e AA, dependente do nível de água na piscina e necessidades de rega	Inexistente. A instalar: Nível de água no tanque e débito na rega (previsto AgriFlex); Sensores de humidade no solo; Informação meteorológica em tempo real; Previsão meteorológica a 24-48h
Eletrobomba compostagem	Cerca de 0,3-0,5 kW	Captação 1	Apoio no sistema de compostagem. Funciona menos de 10h/ano durante 10-30 min para ferrar a bomba.	Não	Não relevante.	Existe sensorização manual de humidade nas pilhas de compostagem.
Conjunto do Pivot	1 motor de 11 kW para rega + 2 motores para movimento de 3 kW	Captação 1	Apenas funciona de junho-agosto, usualmente de 10 em 10 dias, durante 48h seguidas ou de 8 em 8 dias, durante 24h seguidas.	Sim ao conjunto do Motor (4.55kW) + pivot (11kW) com FLUKE	I e AA, dependente do nível de água na piscina e necessidades de rega	Inexistente. A instalar: Nível de água no tanque e débito na rega (previsto AgriFlex); Sensores de humidade no solo; Informação meteorológica em tempo real; Previsão meteorológica a 24-48h
Eletrobomba Pastagens (Bomba 3)	5,5 kW	Captação 2	Durante o verão (jun.-set.), 3 dias por semana, intercalados, durante 1h por secção (4 parques, com 9 secções - uma de cada vez). Sistema de rega programável no tempo.	Sim ao Motor pastagens (5.5kW) com FLUKE	I e AA, dependente das necessidades de rega (fornecidas por sensor de humidade no solo e previsão meteorológica)	Inexistente. A instalar: Sensores de humidade no solo; Informação meteorológica em tempo real; Previsão meteorológica a 24-48h
Eletrobomba Horta biológica (Bomba 1)	3,6 kW	Captação 2	Serve a horta biológica e a produção sintrópica, consoante necessidades de rega. Pode também regar a parcela de ensaios de milho contígua. Não se possui informação de frequência de rega.	Sim ao Motor horta BIO (3.6kW) com FLUKE	Não controlável porque a rega é manual.	Inexistente. A instalar: Sensores de humidade no solo; Informação meteorológica em tempo real; Previsão meteorológica a 24-48h
Eletrobomba milho (Bomba 2)	1,5 kW	Captação 2	Rega todos os dias ou 3h/5h/8h ou 12h. Depende da parcela e da quantidade de plantas.	Não	AA, dependente das necessidades de rega	Inexistente. A instalar: Sensores de humidade no solo; Informação meteorológica em tempo real; Previsão meteorológica a 24-48h
Eletrobomba AgriFlex estufas (Bomba 4)	1,5 kW	Captação 2	Rega das estufas AgriFlex e ensaios frutos vermelhos AgriFlex	N.D.	I, AA	Sensores de humidade no solo; Informação meteorológica em tempo real; Previsão meteorológica a 24-48h
Motor de abertura de estufa lateral AgriFlex	4 motores de 0,11 kW (0,44 kW)	Captação 2	Utilizado para abertura e fecho da estufa de forma a garantir proteção contra escaldões, chuva e granizo, permitindo igualmente o arejamento da estufa. Depende das condições climáticas.	N.D.	Não relevante	N.D.
Motor de abertura de estufa topo AgriFlex	2 motores de 0,25 kW (0,5 kW)	Captação 2	Utilizado para abertura e fecho da estufa de forma a garantir proteção contra escaldões, chuva e granizo, permitindo igualmente o arejamento da estufa. Depende das condições climáticas.	N.D.	Não relevante	N.D.
PV Agrovoltáico Flexível Estufas	310W (9,9 kW)	Captação 2	Produção solar com PV em agrovoltáico em estufa com 32 painéis. Projeto AgriFlex	N.D.	I	N.D.
PV Agrovoltáico Frutos Vermelhos	340W (8,2 kW)	Captação 2	Produção solar com PV em agrovoltáico em estruturas em capela ao ar livre com 24 painéis. Projeto AgriFlex.	N.D.	I	N.D.
Ventilador Contentor	N.D.	Captação 2	Utilizado para ventilação do contentor usado no projeto AgriFlex.	N.D.	N.D.	N.D.
Bomba injetora fertirrigação	1,24 kW	Captação 2	Bomba utilizada para aplicação de fertilizantes na água para irrigação.	N.D.	I, AA	N.D.
Motor fertirrigação	0,25 kW	Captação 2	Bomba utilizada para impulsionar a água e a solução de fertilização pela rede de irrigação.	N.D.	I, AA	N.D.
Bomba submersível	N.D.	Captação 3	Abastece o sistema de rega das florestas (estufa e banco clonal), horta Sr. Pinto e as lavagens do OVIL e coelhos. Enche dois depósitos de 1000L cada.	Não	I e AA, dependente das necessidades de rega	Sensor de nível de água.
Eletrobomba das florestas	1,8 kW	Captação 3	Serve a zona das florestas, estufa e banco clonal.	Sim ao Motor das florestas (1.5kW) com FLUKE	I e AA, dependente das necessidades de rega	Inexistente.

Equipamento	Potência Nominal (kW)	Localização	Utilização	Auditoria	Possibilidades de Controlo (Interrupção (I); antecipação/adiamento (AA); alteração de T(T))	Sensorização automática
			- Estufas: Durante o verão, dependendo da dimensão das plantas, 6 regas, durante 10-15 min (6 aspersores). No inverno, 2 regas, durante 15 min, 1 a 2 vezes por mês. - Banco clonal novo: No verão, 6 regas de 10 min, todos os dias. No inverno, 1 a 2 vezes por mês, dependendo das condições de temperatura. - Banco clonal antigo: No verão, 6 regas, durante 20-25 min, todos os dias e no inverno, 1 a 2 vezes por mês, dependendo das condições de temperatura. Sistema de rega programável no tempo para todo o conjunto.			A instalar: Sensores de humidade no solo; Informação meteorológica em tempo real; Previsão meteorológica a 24-48h
Eletrobomba de lavagem	1,5 kW	Captação 3	Utilizada para lavagem de instalações animais. OVIL: 1 vez/ano; Suínos: 4 vezes/ano; Coelhoira: 1 vez/ a cada 3 meses;	Sim ao Motor bomba de lavagens (1,5kW) com FLUKE	I e AA, contudo as lavagens são manuais e as possibilidades de controlo podem ser complicadas pelo contexto organizacional.	Inexistente.
Eletrobomba Sr. Pinto	3,5 kW	Captação 3	Serve um pequeno campo de hortícolas. Não se possui informação de frequência de rega.	Não	Não relevante e não controlável porque a rega é manual e o espaço é privado.	Inexistente.
Motor de abertura da estufa	0,5 kW	Captação 3	Não é utilizado	Não	Não relevante	Inexistente.
Cilindro suínos	2,2 kW	Captação 3	Utilizado para banhos por questões de segurança e higiene. Maioritariamente, após aulas e utilização das instalações pelos trabalhadores. Normalmente, 30-35 banhos p/mês, dependendo do número de funcionários (geralmente 2) e do número de alunos (em média 2 a 3 alunos).	Sim ao quadro geral dos suínos com FLUKE	I, AA e T	Inexistente.
Máquina de lavar e secar roupa	1,6 kW	Captação 3	Utilizado para a realização de lavagens a fatos dos trabalhadores ou roupas utilizadas no normal funcionamento da instalação por questões de segurança e higiene. Normalmente, 4-5 vezes p/mês.	Sim através de EasyLog USB-datalogger	I, AA	Inexistente.
Arca de sêmen de suínos	N.D.	Captação 3	Utilizado para conservar as amostras de sêmen de suínos. Está desligado o restante tempo. Normalmente, está a funcionar 2 a 3 dias. Utilizado 6-7 vezes/ano. Gama de temperatura entre 14 e 18°C.	Sim através de EasyLog USB-datalogger	Não controlável	Inexistente.
Ventilador suínos	N.D.	Captação 3	Dois ventiladores utilizados para ventilação da zona dos suínos.	N.D.	N.D.	N.D.
Motores ETAR – 2 compressores + bomba inicial + bomba de extração de efluente	Bomba inicial – 1,70 kW; Bomba extração – 0,55kW; Compressor 1 – 1,75 kW; Compressor 2 – 0,81 kW;	Captação 3	Funciona todos os dias, em contínuo, trabalhando de 8 a 20 min, para tratamento de efluentes.	Sim, ao conjunto dos 2 compressores + bomba inicial + bomba de extração + arejadores com FLUKE	I	Interruptor horário e sensor de nível
Frigorífico Veterinário	0,1 kW	Edifício principal	Carga termostática. Localizado no gabinete de trabalho e utilizado para conservação de vacinas e medicamentos para os animais.	Sim através de EasyLog USB-datalogger	I, não é possível fazer o ajuste remoto de temperatura porque o controlo não é digital	Inexistente.
Câmara Frigorífica conservação de sementes	2,27 (0,11 kW motor + 2,16 kW resistências)	Edifício principal	Utilizada todos os dias para conservação de amostras, com a gama de temperatura entre 3,5°C e 6,5°C.	Sim à Câmara de conservação de sementes (2270W) com FLUKE	I e T	Inexistente.
Frigorífico de conservação de sementes	0,35 kW	Edifício principal	Carga termostática. Utilizado para congelação de amostras, com a gama de temperatura entre -10°C e -15°C. Gama provável de funcionamento entre -17°C e 22°C.	Sim através de EasyLog USB-datalogger	I e T	Inexistente.
Estufa de conservação de sementes	4,8 kW	Edifício principal	A sua utilização é predominantemente para secagem de amostras de sementes. Normalmente, funciona 8 meses/ano, em contínuo. Gama de temperatura de secagem de sementes entre 15°C e 30°C para o milho e gama de temperatura de desidratação de pimentos entre 31°C e 35°C.	Sim através de EasyLog USB-datalogger	I, AA e T	Inexistente.
Cilindro balneários	1,5 kW	Edifício principal	Utilizado para os banhos dos trabalhadores, por questões de segurança e higiene.	N.D.	I, AA e T	N.D.
Bateria PV	22,08 kW (8x2,76kWh)	Edifício principal	N.A.	Sim, dados do programa FRONIUS	N.A.	Informação disponibilizada via solarweb
PV telhado Fronius	510W (24,48 kW)	Edifício principal	Produção solar com PV rígidos com 48 painéis.	Sim, dados do programa FRONIUS	N.A.	Informação disponibilizada via solarweb

Legenda:  - Projeto AgriFlex; N.A. - não aplicável; N.D. - não disponível;