



Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia da Energia Solar

Dissertação

**AGRIVOLTAICO - ESTUDO DO POTENCIAL EM
PORTUGAL**

Jeremias Dos Santos

Orientador(es) | Luís Fialho
José Almeida Silva
Mauro A.M. Raposo

Évora 2025





Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia da Energia Solar

Dissertação

AGRIVOLTAICO - ESTUDO DO POTENCIAL EM PORTUGAL

Jeremias Dos Santos

Orientador(es) | Luís Fialho
José Almeida Silva
Mauro A.M. Raposo

Évora 2025





A dissertação foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Diretor da Escola de Ciências e Tecnologia:

Presidente | Paulo Canhoto (Universidade de Évora)

Vogais | José Almeida Silva (Universidade de Évora) (Orientador)
Rui Machado (Universidade de Évora) (Arguente)

Agradecimento

Em primeiro lugar, quero agradecer a Deus por tudo que me deu, pelo dom da vida, pela coragem e força, pelo amor, pela inteligência, saúde e acompanhamento durante meu percurso de estudos.

Gostaria de expressar os meus sinceros agradecimentos aos meus orientadores, Dr. Luís Fialho, Dr. José Almeida Silva e o Dr. Mauro A. M. Raposo pela orientação, disponibilidade, paciência, e confiança durante a elaboração do presente trabalho.

Expresso também a minha gratidão à Cátedra de Energias Renováveis da Universidade de Évora pela oportunidade de fazer parte do grupo e aprender muito com toda a equipa.

Agradeço especialmente a minha família e à minha namorada Eva (Bet), que sempre torceu por mim e pelo sucesso dos meus estudos. Mesmo à distância, nunca me faltou o apoio moral e as orações.

A todos os professores e servidores da Universidade de Évora, especialmente aos professores e investigadores do curso de Mestrado em Engenharia de Energia Solar, agradeço pela paciência e dedicação ao transmitir os seus conhecimentos.

Ao Governo Timor-Leste, em nome do Fundo de Desenvolvimento do Capital Humano, pela confiança em investir em mim e por tornar possível a minha estadia em Portugal.

O meu profundo agradecimento a todos os amigos, especialmente aos amigos timorenses, que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho e para a minha formação.

Àqueles que, embora não citados, estiveram presentes, seja de forma contínua ou esporádica, o meu muito obrigado.

AGRIVOLTAICO - ESTUDO DO POTENCIAL EM PORTUGAL

Resumo

Os sistemas agrovoltaicos representam uma solução promissora e multifuncional para a transição energética e adaptação climática, permitindo a produção sinérgica de alimentos e energia no mesmo espaço. O estudo analisa o potencial técnico desta tecnologia em Portugal continental, um país considerado particularmente adequado para a sua implementação devido ao seu elevado potencial solar e agricultura diversificada.

O estudo aplicou análises técnico-científicas e um mapeamento sistemático de áreas viáveis. A metodologia utilizada baseou-se numa análise espacial multicritério, que incluiu a identificação de áreas agrícolas e de pastagem (com base na Carta de Uso e Ocupação do Solo de 2023), a exclusão de zonas com restrições legais (como RAN, REN e Rede Natura 2000), e a consideração da inclinação do terreno ($\leq 3\%$, $\leq 5\%$ e $\leq 10\%$).

A análise revelou que a região do Alentejo possui o maior potencial técnico, devido à sua topografia predominantemente plana, elevada radiação solar e baixa densidade de restrições ambientais. O estudo estimou o potencial de potência fotovoltaica (FV) instalada através de duas configurações: aérea e interespacial. A configuração aérea, com uma maior densidade de módulos, demonstrou uma maior capacidade instalada (atingindo até 515 GWp no Alentejo para inclinações até 10%). A configuração interespacial, embora tenha uma capacidade inferior, destaca-se pela sua maior compatibilidade com a agricultura mecanizada.

Em suma, o trabalho fornece uma base técnica e científica robusta para o planeamento territorial integrado, apoiando a implementação e regulamentação de sistemas agrovoltaicos em Portugal.

Palavras-chave: agrovoltaico; energia fotovoltaica; agricultura; desenvolvimento sustentável; planeamento territorial.

AGRIVOLTAIC - STUDY OF POTENTIAL IN PORTUGAL

Abstract

Agrivoltaic systems represent a promising and multifunctional solution for energy transition and climate adaptation, allowing for the synergistic production of food and energy in the same space. The study analyzes the technical potential of this technology in mainland Portugal, a country considered particularly suitable for its implementation due to its high solar potential and diversified agriculture.

The study applied technical-scientific studies, and systematic mapping of viable areas. The methodology used was based on a multicriteria spatial analysis, which included the identification of agricultural and pasture areas (based on the 2023 Land Use Charter), the exclusion of zones with legal restrictions (such as RAN, REN, and Natura 2000 Network), and the consideration of terrain slope ($\leq 3\%$, $\leq 5\%$, and $\leq 10\%$).

The analysis revealed that the Alentejo region has the greatest technical potential, due to its predominantly flat topography, high solar radiation, and low density of environmental restrictions. The study estimated the potential for installed photovoltaic (PV) power through two configurations: aerial and inter-row. The aerial configuration, with a higher module density, showed a greater installed capacity (reaching up to 515 GWp in Alentejo for slopes up to 10%). The inter-row configuration, while having a lower capacity, stands out for its greater compatibility with mechanized agriculture.

In summary, the work provides a robust technical and scientific basis for integrated territorial planning, supporting the implementation and regulation of agrivoltaics in Portugal.

Keywords: agrivoltaic; photovoltaic energy; agriculture; sustainable development; territorial planning.

Índice

Agradecimento.....	i
Resumo.....	iii
Abstract.....	v
Lista das figuras.....	x
Lista das tabelas.....	xiii
Lista de símbolos e acrónimos.....	xiv
Capítulo I.....	1
1. Introdução.....	1
1.1. Contextualização.....	1
1.2. Motivação.....	2
1.3. Definição do problema e objetivos.....	3
1.4. Estrutura da dissertação.....	4
1.5. Publicações.....	5
Capítulo II.....	7
2. Estado da arte.....	7
2.1. Conceitos Gerais.....	7
2.2. Estudos anteriores sobre agrovoltaico, projetos piloto existentes e a legislação sobre o agrovoltaico.....	10
2.2.1. Estudos anteriores sobre agrovoltaico.....	10
2.2.2. Projetos piloto existentes.....	12
2.2.3. A legislação sobre a temática agrovoltaica.....	17
2.3. Fatores edafoclimáticos na seleção das culturas.....	19
2.4. O potencial recurso solar em Portugal.....	21
2.5. O potencial recurso agrícola em Portugal.....	24
Capítulo III.....	27
3. Metodologia.....	27
3.1. Definição dos critérios da seleção de áreas potenciais.....	27

3.1.1. Uso do Solo: Classificação pela COS 2023.....	30
3.1.2. Mapa das áreas com restrições legais	32
3.1.3. Declive do Terreno.....	34
3.2. Síntese dos Critérios Aplicados	36
3.3. Cálculo do potencial de produção de energia.....	38
3.3.1. Parâmetros Técnicos de Referência.....	38
3.3.2. Configurações Estruturais	39
Capítulo IV.....	43
4. Resultado e Discussão	43
4.1. Mapeamento da área útil e análise dos resultados de cada região	43
4.1.1. Região do Algarve.....	43
4.1.2. Região do Alentejo.....	51
4.1.3. Região de Lisboa Metropolitana.....	58
4.1.4. Região Centro.....	65
4.1.5. Região Norte	73
4.1.6. Discussão dos resultados	80
4.2. Cálculo do potencial da capacidade de instalação de energia fotovoltaica e de produção de energia anual e análise dos resultados	85
4.2.1. Cálculo do potencial da capacidade de instalação de energia fotovoltaica e de produção de energia anual nas áreas úteis (Declives $\leq 3\%$, $\leq 5\%$ e $\leq 10\%$)	85
4.2.2. Conclusão – Cálculo do potencial de instalação de capacidade FV e Análise dos Resultados.....	92
Capítulo V.....	94
5. Considerações finais e Perspetivas futuras	94
Referencia	99
Anexos.....	105

Lista das figuras

Figura 1: Classificação dos sistemas agrovoltáicos	9
Figura 2: Agrovoltáico com framboesas nos Países Baixos (r.e & Bellini, 2020).....	12
Figura 3: Projeto-piloto agrovoltáico em vinhas, França (Grow & Rollet, 2020).	14
Figura 4: Projeto piloto agrovoltáico da Espanha com uma estrutura elevada sobre uma vinha com potência instalada de 26 kW (Powerfultree, 2025)	15
Figura 5: Sistema agrovoltáico com pomares de macieiras (Fraunhofer ISE).....	16
Figura 6: Jardim Solar de Jack (Ludt, B., 2021).	17
Figura 7: Mapa da localização de Portugal (Ministério dos Negócios Estrangeiro).....	21
Figura 8: Mapa de irradiação solar global horizontal anual em Portugal (World Bank Group & Solargis, 2025).	22
Figura 9; Fluxograma geral de procedimentos	29
Figura 10: Mapa de Uso e Ocupação do Solo segundo a COS 2023.....	30
Figura 11: Junção do mapa das áreas elegíveis (pastagem e agricultura).....	32
Figura 12; Mapa da Rede Natura 2000 (a); REN (b); e RAN (c)	33
Figura 13: Intersecção das áreas de utilização restrita	34
Figura 14: O mapa das diferentes classes de declives em Portugal Continental.....	35
Figura 15: Mapa das áreas úteis (pastagem e agricultura) com $d \leq 3\%$	36
Figura 16: Mapa das áreas úteis (pastagem e agricultura) com $d \leq 5\%$	37
Figura 17: Mapa das áreas úteis (pastagem e agricultura) com declive inferior ou igual a 10%.....	37
Figura 18: Exemplo da configuração aérea (Powerfultree, 2025)	40
Figura 19: Desenho esquemático da configuração aérea considerada no PVSyst (PVSyst, 2024).....	40
Figura 20: Instalação com configuração interespacial (Next2Sun, 2025)	40
Figura 21: Desenho esquemático da configuração interespacial considerada no PVSyst	41
Figura 22: Localização da região do Algarve no contexto do território continental português.	44
Figura 23: Mapa das áreas de Pastagem e Agricultura na região do Algarve.....	45
Figura 24: Mapa da Rede Natura 2000 (a); REN (b); e RAN (c)	45
Figura 25: Sobreposição das áreas de restrição legais	46
Figura 26: Mapa de declives de $\leq 3, \leq 5\%$, $\leq 5\%$ e $>10\%$)	47
Figura 27: Mapa das áreas úteis (Pastagem e Agricultura) com declive inferior ou igual a 3%	47
Figura 28: Mapa das áreas úteis (Pastagem e Agricultura) com declive inferior ou igual a 5%	48
Figura 29: Mapa das áreas úteis (Pastagem e Agricultura) com declive inferior ou igual a 10%	48
Figura 30: Distribuição da área total (agricultura e pastagem) e áreas úteis com base em restrições legais e classes de declives para a região do Algarve.	50
Figura 31: Localização da Região do Alentejo no contexto do território continental português.....	51
Figura 32: Mapa das áreas de Pastagem e Agricultura na região do Alentejo.....	52
Figura 33: Mapa da Rede Natura 2000 (a); REN (b); e RAN (c)	52

Figura 34: Sobreposição das áreas de restrição legais	53
Figura 35: Mapa de declives de ($\leq 3\%$, $\leq 5\%$, $\leq 10\%$ e $>10\%$).....	53
Figura 36: Mapa das áreas úteis (Pastagem e Agricultura) com declive inferior ou igual a 3%	54
Figura 37: Mapa das áreas úteis (Pastagem e Agricultura) com declive inferior ou igual a 5%	55
Figura 38: Mapa das áreas úteis (Pastagem e Agricultura) com declive inferior ou igual a 10%	55
Figura 39: Distribuição da área total (agricultura e pastagem) e áreas úteis com base em restrições legais e classes de declives para a região do Alentejo.....	57
Figura 40: Localização da região de Lisboa Metropolitana no contexto do território continental português.....	58
Figura 41: Mapa das áreas de Pastagem e Agricultura na região de Lisboa Metropolitana	59
Figura 42: Mapa da Rede Natura 2000 (a); REN (b); e RAN (c)	60
Figura 43: Sobreposição das áreas de restrição legais	60
Figura 44: Mapa de declives de ($\leq 3\%$, ≤ 5 , $\leq 10\%$ e $>10\%$)	61
Figura 45: Mapa das áreas úteis (Pastagem e Agricultura) com declive inferior ou igual a 3%	61
Figura 46: Mapa das áreas úteis (Pastagem e Agricultura) com declive inferior ou igual a 5%	62
Figura 47: Mapa das áreas úteis (Pastagem e Agricultura) com declive inferior ou igual a 10%	62
Figura 48: Distribuição da área total (agricultura e pastagem) e áreas úteis com base em restrições legais e classes de declives para a região de Lisboa Metropolitana.	64
Figura 49: Localização da região Centro no contexto do território continental português.....	66
Figura 50: Mapa das áreas de Pastagem e Agricultura na região Centro.....	66
Figura 51: Mapa da Rede Natura 2000 (a); REN (b); e RAN (c)	67
Figura 52: Sobreposição das áreas de restrição legal.....	67
Figura 53: Mapa de declives de ($\leq 3\%$, ≤ 5 , $\leq 10\%$ e $>10\%$)	68
Figura 54; Mapa das áreas úteis (Pastagem e Agricultura) com declive inferior ou igual a 3%	69
Figura 55: Mapa das áreas úteis (Pastagem e Agricultura) com declive inferior ou igual a 5%	69
Figura 56: Mapa das áreas úteis (Pastagem e Agricultura) com declive inferior ou igual a 10%	70
Figura 57: Distribuição da área total (agricultura e pastagem) e áreas úteis com base em restrições legais e classes de declives para a região do Centro.	72
Figura 58: Localização da região Norte no contexto do território continental português.....	73
Figura 59: Mapa das áreas de Pastagem e Agricultura na região do Norte	74
Figura 60: Mapa da Rede Natura 2000 (a); REN (b); e RAN (c)	74
Figura 61: Sobreposição das áreas de restrição legal.....	75
Figura 62: Mapa de declives de ($\leq 3\%$, ≤ 5 , $\leq 10\%$ e $>10\%$)	75
Figura 63: Mapa das áreas úteis (Pastagem e Agricultura) com declive inferior ou igual a 3%	76
Figura 64: Mapa das áreas úteis (Pastagem e Agricultura) com declive inferior ou igual a 5%	76
Figura 65: Mapa das áreas úteis (Pastagem e Agricultura) com declive inferior ou igual a 10%	77
Figura 66: Distribuição da área total (agricultura e pastagem) e áreas úteis com base em restrições legais e classes de declives para a região do Norte.	79

Figura 67: Percentagem de área de agricultura e de pastagem afetada por restrições legais (Rede Natura 2000, RAN e REN) em relação a área elegível de cada região.....	80
Figura 68: Percentagem da total área de agricultura e pastagem >10%.....	81
Figura 69: Área útil de agricultura e pastagem correspondente às três classes de declive.	83
Figura 70: Potencial da capacidade de instalação de energia fotovoltaica de cada região nas áreas úteis (declive classe 1, 2 e 3) com configuração aérea.....	86
Figura 71: Produção da energia anual de cada região nas áreas úteis (declive classe 1, 2 e 3) com configuração aérea.....	86
Figura 72: Potencial da capacidade de instalação de energia fotovoltaica de cada região nas áreas úteis (declive classe 1, 2 e 3) com configuração interespacial.....	89
Figura 73: Produção da energia anual de cada região nas áreas úteis (declive classe 1, 2 e 3) com configuração interespacial.....	90

Lista das tabelas

Tabela 1: Distribuição das áreas ocupadas por cada categoria de uso do solo no território de Portugal Continental.....	31
Tabela 2: Distribuição da área de agricultura e áreas úteis com base em restrições legais e declive para a região do Algarve.....	49
Tabela 3: Distribuição da área de pastagem e áreas úteis com base em restrições legais e declive para a região do Algarve.....	49
Tabela 4: Distribuição da área de agricultura e áreas úteis com base em restrições legais e declive para a região do Alentejo.....	56
Tabela 5: Distribuição da área de pastagem e áreas úteis com base em restrições legais e declive para a região do Alentejo.....	56
Tabela 6: Distribuição da área de agricultura e áreas úteis com base em restrições legais e declive para a região Lisboa Metropolitana.....	63
Tabela 7: Distribuição da área de pastagem e áreas úteis com base em restrições legais e declive para a região Lisboa Metropolitana.....	64
Tabela 8: Distribuição da área de agricultura e áreas úteis com base em restrições legais e declive para a região do Centro.....	71
Tabela 9: Distribuição da área de pastagem e áreas úteis com base em restrições legais e declive para a região do Centro.....	71
Tabela 10: Distribuição da área de agricultura e áreas úteis com base em restrições legais e declive para a região Norte.....	78
Tabela 11: Distribuição da área de pastagem áreas úteis com base em restrições legais e declive para a região Norte.....	78

Lista de símbolos e acrónimos

RAN – Reserva Agrícola Nacional

REN – Reserva Ecológica Nacional

AGEA - Agenzia per le Erogazioni in Agricoltura

IDAE - Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

PNEC - Plano Nacional de Energia e Clima

COS - Carta de Ocupação do Solo

RN2000 – Rede Natura 2000

GHI – Irradiação Global Horizontal

kWh – quilowatt hora

m² - metro quadrado

DGADR - Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural

DGT - Direção-Geral do Território

ICNF - Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas

ZPE - Zonas de Proteção Especial

ZEC - Zonas Especiais de Conservação

MDT - Modelos Digitais de Terreno

kWp – quilowatt pico

MWp – megawatt pico

GW – Gigawatt

LER - Índice de utilização do solo

PDM - Planos Directores Municipais

LAOR - Taxa de Ocupação do Solo

PAC - Política Agrícola Comum

pH - potencial de hidrogénio

SAU - Superfície Agrícola Utilizada

EFMA - Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva

LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia

CNT - Comissão Nacional do Território

MDE - Modelo Digital de Elevação

SIG - Sistema de Informação Geográfica

PAR - Radiação fotossinteticamente ativa

NREL - National Renewable Energy Laboratory

EPA – Agência de Proteção Ambiental, Estados Unidos da América

ha – hectare

Capítulo I

1. Introdução

1.1. Contextualização

Nas últimas décadas, o agravamento das mudanças climáticas, associado ao aumento da necessidade de produção energética, bem como as pressões crescentes sobre os recursos naturais tem imposto desafios consideráveis à sustentabilidade dos sistemas económicos, sociais e ambientais. Enquanto o setor energético procura transitar para fontes limpas e renováveis, o setor agrícola enfrenta desafios como a falta de água, degradação do solo, redução da biodiversidade e a procura por maior resiliência e eficiência nos sistemas de produção (IPCC, 2023).

Nesse cenário, a Agrovoltaico (ou agrofotovoltaico) apresenta-se como uma solução tecnológica revolucionária, possibilitando a utilização conjunta da mesma área de terra para a produção agrícola e produção de energia elétrica por meio de painéis solares fotovoltaicos. Ao combinar a produção de energia e alimentos no mesmo local, essa estratégia ajuda a usar o território rural de forma mais eficiente, reduzindo conflitos de uso do solo e fomentando sinergias entre setores estratégicos (Amaducci et al., 2018).

A adoção do Agrovoltaico tem aumentado nos países europeus de clima mediterrâneo, como França, Itália e Espanha. Sobretudo na Europa meridional, os altos níveis de radiação solar e a forte tradição agrícola fazem com que a tecnologia seja especialmente promissora (AGEA, 2023; Gouvernement de la France, 2022; IDAE, 2022).

Além disso, países com climas mais temperados, como Alemanha e Países Baixos, têm também investido em soluções agrovoltaicas adaptadas às suas condições climáticas específicas, nestes países, as políticas públicas, os programas de incentivo e as regulamentações específicas têm ajudado a consolidar o modelo agrovoltaico como uma opção viável para atingir os objetivos climáticos e reforçar a segurança alimentar (Bundesnetzagentur, 2023; Fraunhofer ISE, 2023; RVO – Netherlands Enterprise Agency, 2024; Wageningen University & Research, 2021).

Em Portugal, o panorama também é promissor: o país apresenta altos índices de radiação solar (acima de 1.800 kWh/m²/ano na maior parte do território), uma extensa cobertura de áreas agrícolas e compromissos sólidos com a descarbonização, estabelecidos no Plano Nacional de

Energia e Clima (PNEC 2030), que prevê um aumento significativo da contribuição da energia solar fotovoltaica para a matriz energética do país (*PNEC 2030*). Entretanto, ainda há lacunas importantes para resolver a nível nacional, como por exemplo a falta de uma regulamentação específica para o setor agrovoltáico, a carência de estudos técnico-científicos aplicados e a falta de um mapeamento sistemático do território para identificar áreas com viabilidade técnica, legal e ambiental para a implementação desse tipo de sistema.

Identificar essas áreas é essencial para impulsionar a adoção do agrovoltáico em Portugal, contribuindo para um planeamento energético territorial mais sustentável, que leve em consideração as restrições legais e o potencial produtivo do solo. Assim, esta dissertação visa preencher essa lacuna por meio de uma análise espacial multicritério, que examina a viabilidade agrovoltáica nas várias regiões de Portugal Continental, considerando critérios como as restrições legais à utilização do solo, bem como o seu presente uso e relevo.

1.2. Motivação

O presente estudo é justificado pela necessidade de criar uma base técnica e científica sólida que possibilite a identificação sistemática das regiões com maior potencial para a implementação de sistemas agrovoltáicos em Portugal Continental. Pretende-se que esta análise apoie a organização sustentável do território, valorizando as áreas rurais e incentivando uma administração mais eficaz dos recursos naturais.

Atualmente, a expansão da energia solar enfrenta diversos obstáculos, como a concorrência pelo uso do solo, a degradação de habitats sensíveis e o potencial de conflitos com a produção de alimentos. A construção de grandes centrais solares em áreas agrícolas ou ambientalmente protegidas pode causar conflitos entre as metas de transição energética, preservação da biodiversidade e segurança alimentar (Amaducci et al., 2018; Toledo, Carlos; Scognamiglio, Alessandra, 2021). Nesse contexto, o agrovoltáico representa uma estratégia inovadora, uma vez que possibilita o uso simultâneo da terra para atividades agrícolas e energéticas, promovendo sinergias entre setores essenciais para o desenvolvimento sustentável.

Os principais objetivos deste estudo são:

- Dar suporte científico à elaboração de políticas públicas e estruturas regulatórias, fornecendo informações técnicas espacialmente detalhadas sobre a adequação do território para o agrovoltáico;

- Oferecer informações estratégicas a agricultores, investidores, reguladores e entidades públicas auxiliando na identificação de locais viáveis sob os aspectos legais, técnicos e ambientais;
- Fomentar uma transição energética justa, resiliente e equilibrada em termos territoriais, dando especial atenção às áreas rurais do interior, que são frequentemente impactadas por despovoamento, abandono agrícola e escassez de investimentos;
- Auxiliar nos objetivos nacionais de redução de emissões de dióxido de carbono e resiliência climática, estabelecidos no PNEC 2030 e na Estratégia Nacional de Longo Prazo para a Neutralidade Carbónica (APA, 2020).

Dessa forma, ao integrar critérios de uso do solo, de relevo do terreno e restrições legais numa análise espacial multicritério, este estudo fornece uma ferramenta prática e científica para o planeamento integrado da produção agrovoltaica em Portugal Continental.

1.3. Definição do problema e objetivos

Embora Portugal tenha um elevado potencial solar e uma grande extensão de áreas agrícolas em todo o país, a instalação de sistemas solares fotovoltaicos tem ocorrido principalmente em locais destinados apenas à produção de energia, ignorando a possibilidade de uso multifuncional do solo por meio da tecnologia agrovoltaica.

Não há, até o momento, um mapeamento organizado das regiões com potencial para a implementação de sistemas agrovoltaicos, nem uma base legal definida que regule esse tipo de uso combinado. Além disso, a falta de estudos focados na realidade portuguesa contribui para a incerteza técnica e institucional que limita o desenvolvimento do agrovoltaico no país.

Esse desfasamento entre o grande potencial de produção de energia e aptidão agrícola identificada, as metas de transição energética, e a reduzida implementação prática dessa tecnologia, constitui uma oportunidade desperdiçada de harmonização da produção de alimentos e energia, especialmente em áreas rurais que necessitam de valorização económica e social.

Nesse cenário, a questão orientadora que direciona o presente estudo é:

"Quais as regiões de Portugal que possuem condições técnicas, legais e agronómicas adequadas para a implementação de sistemas agrovoltáicos, e qual é o seu potencial de produção de energia?"

Responder a essa pergunta envolve a incorporação de aspectos ambientais, geográficos e políticos, o que ajuda a estabelecer uma base técnica robusta para apoiar a implementação e regulamentação do agrovoltáico em Portugal.

O principal objetivo deste trabalho é mapear, analisar e caracterizar as áreas com potencial técnico e legal para a implementação de sistemas agrovoltáicos em Portugal.

De maneira específica, sugere-se:

- Com base na Carta de Ocupação do Solo (COS 2023), identificar regiões onde a agricultura e a pastagem são compatíveis com a implementação de sistemas fotovoltaicos elevados e sistemas fotovoltaicos interespaciais;
- Excluir regiões sujeitas a restrições legais, em particular a Reserva Agrícola Nacional (RAN), Reserva Ecológica Nacional (REN) e Rede Natura 2000 (RN2000), observando os instrumentos de ordenamento e conservação do território;
- Incorporar critérios técnicos fundamentais, como a inclinação do terreno, que afetam diretamente a viabilidade e a eficácia dos sistemas;
- Avaliar o potencial técnico da capacidade instalada (em MW), fundamentando-se nas áreas elegíveis decorrentes da análise geoespacial multicritério.

Pretende-se desta forma auxiliar o planeamento estratégico territorial, fornecendo suporte técnico para políticas públicas e escolhas de investimento nos setores energético e agrícola.

1.4. Estrutura da dissertação

Para além do primeiro capítulo introdutório, esta dissertação é composta por mais quatro capítulos.

O segundo capítulo descreve ao estado da arte do agrovoltáico, reunindo os conceitos fundamentais ligados ao sistema agrovoltáico, revendo os estudos anteriores e projetos piloto em curso. Neste capítulo é também feita uma avaliação do potencial solar e agrícola em Portugal Continental. São ainda abordadas as legislações sobre agrovoltáico existentes.

Finalmente são considerados os fatores edafoclimáticos mais relevantes para a seleção de culturas agrícolas melhor adaptadas aos sistemas agrovoltaicos.

O Capítulo III descreve a metodologia utilizada para identificar as regiões com potencial de instalação de sistemas agrovoltaicos. Estabelecem-se os critérios de seleção, que incluem a presente utilização do solo com base na classificação COS 2023, as limitações legais e ambientais, além do relevo do terreno.

No Capítulo IV são apresentados e discutidos os resultados obtidos relativamente à análise do território, com a inclusão de mapas e análises geoespaciais das áreas de estudo (Algarve, Alentejo, Lisboa Metropolitana, Centro e Norte). Seguindo-se o cálculo do potencial de produção de energia e uma análise quantitativa e qualitativa dos resultados.

Por fim, no Capítulo V apresentam-se as considerações finais do estudo, destacando as conclusões mais relevantes, as limitações deste estudo e sugerindo possíveis direções para futuras investigações no campo dos sistemas agrovoltaicos.

1.5. Publicações

Paralelamente à elaboração desta dissertação, foram produzidas as seguintes publicações científicas:

- Santos, J., Gaspar, A., Araújo, L., Correia, J., Raposo, M., Costa, I., Silva, J. A., Brito, M. C., Fialho, L., Cavaco, A., & Horta, P. "Planeamento de uma central agrovoltaica no Sul de Portugal" apresentado na Conferência Canadiana de Engenharia Elétrica e Informática do IEEE 2025, Canada, 2025. Realizada de 26 a 29 de maio de 2025 na Universidade da Colúmbia Britânica, em Vancouver.
- Santos, J., Fernandes, C., Soeiro, A., Silva, J. A., Fialho, L., Horta, P., Gaspar, J., Correia, M. P., & Cordeiro, D. "Análise do potencial da agrovoltaica em Portugal: Um estudo de caso baseado nos ativos fundiários da EDP" apresentado na 6.ª Conferência Mundial de Agrovoltaica, em Friburgo, Alemanha. Realizada de 1 a 2 de julho de 2025 em Friburgo, Alemanha.
- Santos, J., Silva, J. A., Fialho, L., Cavaco A., & Horta, P. "Agrovoltaica – Estudo do potencial em Portugal" apresentado na 42.ª Conferência e Exposição Europeia de Energia Solar Fotovoltaica (EU PVSEC), Bilbao, 2025. Realizada de 22 a 26 de setembro em Bilbao, Espanha.

Capítulo II

2. Estado da arte

2.1. Conceitos Gerais

Para o desenvolvimento deste estudo, é necessário entender alguns conceitos básicos. Esses conceitos fundamentam a teórica e metodologicamente este estudo, enquadrando a análise espacial, normativa e técnica das regiões com potencial agrovoltaico em Portugal:

2.1.1. Agrovoltaico (ou agrofotovoltaico): Sistema que permite o uso simultâneo do solo para a produção agrícola e a geração de energia elétrica através de painéis solares fotovoltaicos. Essa abordagem promove a eficiência no uso do terreno, permite sinergias entre produção de energia e alimentos, e reduz os conflitos pelo uso do solo. Alguns estudos demonstram que os sistemas agrovoltaicos podem mitigar o stresse hídrico das plantas, melhorar a produtividade agrícola em alguns contextos e aumentar a resiliência das explorações agrícolas (Barron-Gafford et al., 2019; Dupraz et al., 2011).

2.1.2. Irradiância Solar Global (GHI – Global Horizontal Irradiance): Refere-se à radiação solar total incidente numa superfície horizontal (kWh/m²/ano). É o indicador mais utilizado para estimar o potencial de geração de energia fotovoltaica, pois está diretamente correlacionado com a energia elétrica que os módulos podem produzir (Trommsdorff et al., 2025).

2.1.3. Uso Dual do Solo: Abordagem que integra múltiplas funções num mesmo espaço, como a produção de alimentos e energia, contribuindo para um desenvolvimento mais sustentável e resiliente do meio rural (Amaducci et al., 2018; Trommsdorff et al., 2025).

2.1.4. Reserva Agrícola Nacional (RAN): Instrumento legal que visa proteger os solos com maior aptidão para a atividade agrícola, restringindo a sua utilização a usos compatíveis com essa função. A delimitação da RAN é da responsabilidade da Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (DGADR), sendo baseada em critérios edáficos, climáticos e de uso do solo (DGADR, 2025).

2.1.5. Reserva Ecológica Nacional (REN): Conjunto de áreas com características ecológicas, geológicas ou hidrológicas sensíveis que desempenham funções essenciais à

estabilidade biofísica do território. A REN está sujeita a restrições legais específicas quanto à ocupação e alteração do solo, definidas pela Direção-Geral do Território (CNT, 2025).

2.1.6. Rede Natura 2000: Rede ecológica europeia que visa conservar os habitats naturais e espécies ameaçadas, estabelecida pelas Diretivas Habitats (Directiva 2009/147/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, 2009, 2009) e Aves (Directiva 2009/147/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, 2009, 2009). Em Portugal, a gestão da Rede Natura 2000 está a cargo do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF), abrangendo Zonas de Proteção Especial (ZPE) e Zonas Especiais de Conservação (ZEC) (ICNF, 2025).

2.1.7. Declive do Terreno: O declive do terreno representa a inclinação da superfície do solo em relação a um plano horizontal, sendo um fator geográfico crítico para a viabilidade técnica e económica de projetos agrovoltáicos. Declives acentuados dificultam a instalação de estruturas, aumentam os custos de nivelamento e podem comprometer a acessibilidade agrícola. A avaliação do declive pode ser feita a partir de Modelos Digitais de Terreno (MDT), como os fornecidos pelo programa Copernicus EU (European Environment Agency, 2023).

2.1.8. Sistema Fotovoltaico: Conjunto de componentes (módulos, inversores, suportes, cablagens) que convertem radiação solar em eletricidade, podendo ser instalados em estruturas fixas ou móveis. No contexto agrovoltáico, são geralmente colocados numa estrutura de configuração aérea (elevada) permitindo a passagem de luz para as plantas e a circulação das máquinas agrícolas por baixo das estruturas (Trommsdorff et al., 2025), ou em alternativas os sistemas agrovoltáicos interespaciais são instalações fotovoltaicas fixas no solo, com espaçamento entre fileiras que permite o cultivo agrícola, promovendo a dupla utilização da terra (Fraunhofer ISE, 2021).

2.1.9. Estratégia: Uma vez que os projetos agrovoltáicos são encontrados em várias configurações para se adaptarem a diferentes aplicações, o diagrama abaixo (Figura 1) apresenta um possível sistema de classificação para projetos agrovoltáicos, proposto pela Cátedra de Energias Renováveis da Universidade de Évora, a partir de uma classificação prévia feito pelo Instituto Fraunhofer ISE (Fraunhofer ISE, 2024).

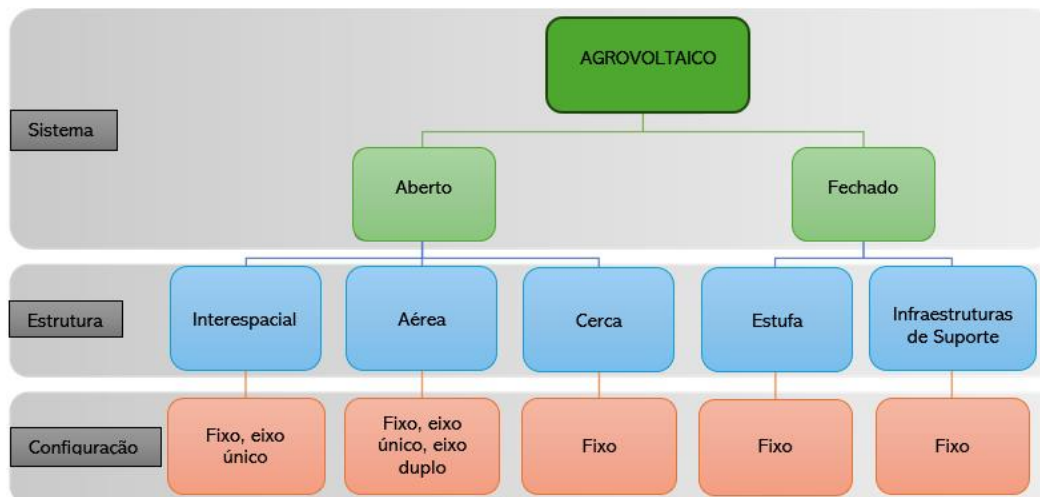


Figura 1: Classificação dos sistemas agrovoltaicos

A classificação das aplicações agrovoltaicas propostas baseiam-se nos seguintes pontos:

1. Tipo de Sistema Agrícola: O desenho agrovoltaico é dividido em duas categorias de acordo com o tipo de produção, que pode ser em campo aberto ou em sistemas fechados.
2. Estrutura do Sistema Fotovoltaico (FV): Dependendo do tipo de atividade agrícola em campo aberto, a estrutura do sistema FV pode ser: i) aérea (ou elevada), nesta configuração, os módulos estão sobre estruturas elevadas, sendo a atividade agrícola desenvolvida sob as estruturas FVs; ii) interespacial, nesta configuração o espaçamento entre filas de painéis FVs é significativamente maior do que em centrais FV convencionais, e a atividade agrícola decorre nas áreas entre as filas de painéis FV; iii) cercas (ou vedações) em que os painéis FVs são integrados em vedações de terrenos, quer sejam para pecuária ou culturas agrícolas. Num sistema agrícola fechado, o conceito agrovoltaico baseia-se na integração dos módulos FVs na cobertura de: i) estufas; ou ii) infraestruturas de suporte agrícola, como áreas de sombreamento para animais, ou armazéns.
3. Configuração dos Módulos FV: Esta categoria está relacionada com a configuração do sistema FV. Os sistemas interespaciais e aéreos podem ter módulos fixos ou com estruturas de seguimento de um eixo, enquanto os sistemas aéreos podem também ter sistemas de seguimento de dois eixos. Assume-se que as estufas (por serem ambientes fechados e fixos) têm sempre módulos fixos, o mesmo se aplica à integração em infraestruturas de apoio.

Estes conceitos servem como pilares para a análise espacial e técnica das áreas elegíveis para projetos agrovoltaicos em Portugal. Serão utilizados ao longo do trabalho para:

- Delimitar zonas aptas com base no uso do solo (agricultura, pastagem, agroflorestal);

- Aplicar filtros normativos (RAN, REN, Rede Natura 2000);
- Avaliar parâmetros técnicos (declive, irradiância);
- Estimar a potência instalada (kWp).

2.2. Estudos anteriores sobre agrovoltaico, projetos piloto existentes e a legislação sobre o agrovoltaico

2.2.1. Estudos anteriores sobre agrovoltaico.

O conceito de agrovoltaico emergiu como uma estratégia inovadora de uso multifuncional do solo, permitindo a produção agrícola e energética de forma simultânea na mesma parcela. Esta abordagem responde a desafios crescentes, como a escassez de terra arável, a necessidade de transição para fontes de energia renovável e os impactos das alterações climáticas na agricultura (Amaducci et al., 2018).

O termo foi introduzido pela primeira vez em 1982 por Goetzberger e Zastrow, que propuseram a instalação de painéis solares elevados sobre áreas cultivadas, de modo a permitir a penetração de luz difusa e a manutenção da atividade agrícola (Goetzberger & Zastrow, 1982).

Entre os principais estudos fundamentais encontra-se o trabalho de (Dupraz et al., 2011), conduzido em França, que introduziu o conceito de índice de utilização do solo, *Land Equivalent Ratio (LER)* para avaliar a eficiência de uso combinado do solo. O LER pode ser entendido como a eficiência espacial de um sistema agrovoltaico, comparando as produções fotovoltaica (PV) e agrícola num sistema agrovoltaico com as produções destes sistemas na sua forma convencional:

$$LER = \frac{\text{Produção agrícola num sistema agrovoltaico}}{\text{Produção agrícola num sistema convencional}} + \frac{\text{Produção fotovoltaica num sistema agrovoltaico}}{\text{Produção fotovoltaica num sistema convencional}}$$

Segundo Dupraz et al. (2011), um LER superior a 1 indica que a combinação funciona melhor do que se trabalhasse de forma separada. Por exemplo, um LER de 1,4 significa que a mesma produção em duas áreas separadas precisaria de mais 40% de área, ou seja, um terreno de 100 ha de agrovoltaico produz tanto quanto 140 ha de terreno com produção separada. Simulações avançadas de projetos agrovoltaicos preveem um LER de até 1,7, sugerindo um elevado potencial para o conceito agrovoltaico (Dupraz et al., 2011).

Nesse trabalho, os resultados mostraram que sistemas agrovoltaicos podem alcançar LER superiores a 1,3 indicando um aumento de mais de 30% na produtividade combinada em comparação com usos agrícolas e energéticos isolados (Dupraz et al., 2011). Esse estudo tornou-se referência na avaliação de sistemas agrovoltaicos.

No contexto dos climas áridos e semiáridos nos Estados Unidos da América (Barron-Gafford et al., 2019), demonstraram que a sombra parcial dos painéis solares melhora o microclima ao nível do solo, reduzindo a temperatura do ar e a evapotranspiração das plantas. A investigação comprovou benefícios concretos em termos de conservação hídrica, produtividade agrícola e conforto térmico dos trabalhadores rurais.

Estudos no Japão e na Coreia do Sul analisaram a viabilidade de culturas de ciclo curto (como alface, cebola e espinafre) sob estruturas fotovoltaicas, evidenciando que estas podem não apenas manter os níveis de produtividade como também melhorar a qualidade dos produtos agrícolas em termos de textura, cor e teor de nutrientes (Sekiyama & Nagashima, 2019).

Na Alemanha, o Instituto Fraunhofer ISE lidera desde 2016 o projeto APV-Resola, que validou a aplicação de sistemas agrovoltaicos em culturas como batata, trigo e trevo. Os resultados confirmaram que é possível gerar energia elétrica sem comprometer significativamente a produtividade agrícola, mantendo-se acima de 80% da produção em culturas adaptadas ao sombreamento (Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, 2021).

Do ponto de vista da engenharia, estudos como (Valle et al., 2017) têm testado sistemas com painéis móveis automatizados que ajustam a inclinação em função da radiação e das necessidades das culturas, aumentando a eficiência do uso da terra em mais de 60% em comparação com sistemas fixos.

Em Portugal, a literatura científica ainda é limitada, mas crescente. O estudo de L. Bunge (Bunge, L., 2024) representa uma das primeiras tentativas de avaliação integrada da tecnologia agrovoltaica no território nacional. A dissertação aborda os efeitos microclimáticos, produtivos e económicos de um projeto-piloto no Alentejo, sugerindo que este modelo é especialmente promissor em regiões de clima semiárido e de baixa densidade demográfica. A autora propõe ainda diretrizes técnicas e recomendações para replicabilidade em outras regiões do país.

Apesar da diversidade de abordagens, há um consenso na literatura quanto aos principais benefícios do agrovoltaico: (i) aumento da resiliência agrícola, (ii) uso eficiente do solo, (iii) diversificação de rendimento dos produtores agrícolas, e (iv) contribuição direta para metas de

descarbonização. Por outro lado, os desafios identificados incluem o custo inicial de instalação, a falta de regulamentação específica e a necessidade de maior capacitação técnica dos agricultores e engenheiros (ADEME, 2021; Weselek et al., 2019).

A consolidação do conhecimento científico nesta área requer ainda estudos de longo prazo, com enfoque multidisciplinar, que integrem agronomia, engenharia, economia, clima e direito. Tais estudos são fundamentais para adaptar o modelo agrovoltaico a diferentes realidades nacionais e regionais, sobretudo em países como Portugal, onde o potencial solar disponível é elevado.

2.2.2. Projetos piloto existentes

Além de estudos experimentais, geralmente conduzidos em pequena escala, algumas empresas e institutos começaram a desenvolver projetos-piloto agrovoltaicos de média e grande escala.

Nos Países Baixos, cinco projetos-piloto agrovoltaicos, projetados por entidades como a BayWa r.e., foram implementados com diferentes frutos vermelhos (Figura 2): mirtilos, groselhas vermelhas, framboesas, morangos e amoras (r.e & Bellini, 2020). Estes pilotos integram o projeto LIFE ADAPT-PV (European Commission – LIFE Public Database). O maior deles, localizado em Babberich, conta com uma potência solar fotovoltaica de 2,67 MWp instalada sobre 3,3 hectares de framboesas cultivadas na fazenda Piet Albers (Deboutte, G., 2023). Neste projeto são utilizados módulos de silício cristalino monofaciais especiais de vidro-vidro, suportados por estruturas de madeira, metal e betão, que proporcionam uma rápida transferência de calor e proteção contra sol direto, granizo, chuva e geadas. Dois destes pilotos testaram painéis com diferentes níveis de transparência, verificando-se que a uma maior transparência corresponde maiores produtividades agrícolas.



Figura 2: Agrovoltaico com framboesas nos Países Baixos (r.e & Bellini, 2020).

Ainda no escopo do projeto LIFE ADAPT-PV, está a ser testado pela primeira vez na França, sistema agrovoltaico adaptado ao cultivo de morangos em Brumath, numa área de 4.900 m², com 1.440 módulos fotovoltaicos semitransparentes e 49 % de transmitância (Deboutte, G., 2023).

Na Alemanha, o projeto APV-RESOLA (2015–2021), em Heggelbach, testou o sistema agrovoltaico com trigo de inverno, batata, aipo e trevo misto, utilizando módulos bifaciais de silício cristalino vidro-vidro, instalados a 5 metros de altura, o que possibilita o uso de máquinas agrícolas convencionais (Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, 2021). Em 2017, este projeto apresentou um LER de 1,60. Já em 2018, um ano quente e seco, a sombra proporcionada pelos módulos aumentou o rendimento da batata em 11 %, comparado ao cultivo convencional, com incremento de 86 % na eficiência de uso do solo, ou seja, foi alcançado um LER de 1,86, devido à maior retenção de humidade no solo.

Ainda na Alemanha, o projeto Agri-PV BaWü inaugurou um piloto com diferentes frutos vermelhos, num sistema com ciclo fechado de água e nutrientes, incluindo captação da água da chuva para irrigação (Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Wein- und Obstbau Weinsberg, 2025). O piloto ocupa 0,2 hectares e possui um sistema de 113 kWp. No total, estão previstos 11 pilotos agrovoltaicos, dos quais 5 já foram implementados na primeira fase, visando identificar os potenciais e limitações da tecnologia (Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, 2025)

Na França, a empresa Sun'Agri demonstrou (Figura 3) que os sistemas agrovoltaicos aumentam a resistência das vinhas às ondas de calor, melhorando o crescimento, reduzindo o consumo de água de 12 % a 34 %, e promovendo ganhos qualitativos nos frutos: +13 % de antocianinas e +9 % a +14 % de acidez (Sun'Agri). Os módulos foram instalados a 4,2 metros de altura e controlados por inteligência artificial, que ajustava a inclinação dos painéis conforme as necessidades da planta e as condições climáticas (Grow & Rollet, 2020).



Figura 3: Projeto-piloto agrovoltaico em vinhas, França (Grow & Rollet, 2020).

Ainda em França, a promotora TSE iniciou um projeto-piloto com soja, trigo, centeio forrageiro, cevada de inverno e colza, incluindo 150 vacas (TSE et al., 2023). O projeto demonstrou crescimento vegetativo normal da soja, com boa floração, fertilização e maturação fisiológica. Por sua vez, a empresa Valeco lançou uma unidade com produção forrageira e pastoreio de ovelhas (Deboutte, G., 2023), onde o sombreamento dos módulos suavizou o impacto dos fenómenos climáticos extremos e estabilizou o crescimento anual da pastagem.

Na Itália, na região da Apúlia, a empresa TozzyGreen construiu um sistema agrovoltaico de quase 100 MWp, cobrindo 163 hectares, com seguidores solares de eixo único. Desta área, 124 ha são cultivados com alcachofra, espargos, plantas melíferas, cereais e leguminosas, 21 ha incluem vinhas, pomares e olivais, além de medidas de preservação do Habitat 6220 (92/43/CEE) e 300 colmeias sob os painéis (TozziGreen).

O primeiro projeto piloto agrovoltaico com uma estrutura elevada sobre um vinha em Espanha, foi construído na região de Ribera del Duero. O seu principal objetivo é testar uma solução de sombreamento ativo para mitigar os efeitos das mudanças climáticas nos vinhos da região, e proteger as videiras dos efeitos adversos da radiação excessiva e das altas temperaturas. Os produtores, em estreita colaboração com a Powerfultree, estabeleceram as características ideais da uva e, ao retardar a colheita por meio de sombreamento controlado, procuram atingir os níveis ideais de açúcares, polifenóis e acidez, características muito valorizadas pelos apreciadores de vinho.

O sombreamento ativo é obtido pela movimentação de painéis fotovoltaicos montados numa estrutura elevada. Este processo envolve a rotação da cobertura formada pelos painéis de acordo com as necessidades da planta: quando a videira precisa de sombra, o painel é colocado de modo a protegê-la e, quando a planta precisa de luz solar, os painéis são colocados numa posição que maximiza a passagem de radiação. Os painéis são controlados por um algoritmo,

que recebe dados da cultura, do solo, do clima e da radiação para tomar decisões sobre o nível de sombreamento. Foram instalados 300 metros quadrados de painéis fotovoltaicos, elevados em 4 metros e com potência instalada de 26kW. Os resultados serão estudados nas próximas colheitas e será ponderado o alargamento da experiência a outras áreas (Powerfultree, 2025).



Figura 4: Projeto piloto agrovoltaico da Espanha com uma estrutura elevada sobre uma vinha com potência instalada de 26 kW (Powerfultree, 2025)

Em 2023, foi lançado na Turquia o primeiro projeto de investigação agrovoltaica. Situado na província de Ankara, o Ayaş AgriPV foi desenvolvido pelo Ministério da Agricultura da Turquia, o centro de investigação ODTÜ-GÜNAM e os agricultores locais (Meza, 2023). O sistema de 122 kWp foi implementado em 14 filas com seguidores solares orientados leste-oeste, ajustáveis entre $+55^\circ$ e -55° . Foram plantadas seis culturas distintas (tomate, pimento, pepino, cenoura, espinafre e couve-roxa), mantendo espaço para a circulação de tratores e reboques sob a estrutura.

O agrovoltaico está também a ser aplicado em pomares. Na Bélgica, um piloto iniciado em 2021 combina pereiras com painéis bifaciais com 40 % de transparência, montados em estruturas fixas e móveis com 4,6 m de altura (Bellini, E., 2020). O projeto substituiu as redes plásticas usualmente utilizadas contra o granizo, adotando um índice de cobertura de 36 %.

Na Alemanha, o projeto APV-Obstbau (2020–2025) testa sistemas agrovoltaicos em pomares de maçã, com o objetivo de analisar os impactos na produtividade e a viabilidade da aplicação em fruticultura (Fraunhofer ISE).



Figura 5: Sistema agrovoltaico com pomares de macieiras (Fraunhofer ISE).

Ainda na Itália, está em desenvolvimento um projeto da STEAG Solar Energy Solutions com 244 MWp em olival intensivo, na província de Foggia (STEAG, 2021). O sistema visa reduzir a evapotranspiração, otimizando o uso das 12 horas de sol no verão e atenuando os efeitos dos períodos de seca.

A sinergia entre olivais e energia solar também está também a ser explorada pela empresa francesa Oil’Ive Green e pela produtora de electricidade espanhola Iberdrola, com instalações previstas em regiões como Nova Aquitânia, Provença-Alpes-Côte d’Azur e Occitânia (Decade et al., 2023).

Fora da Europa, o Instituto Fraunhofer ISE, em parceria com o Instituto Fraunhofer Chile, testou até 2018 três pilotos de 13 kWp em diferentes comunidades (Fraunhofer ISE, 2018). Um deles foi instalado numa produção industrial de brócolos e couve-flor, com uso da energia na limpeza, embalagem e refrigeração dos produtos.

Nos Estados Unidos da América, o Jack’s Solar Garden, no Colorado, é o maior projeto de investigação agrovoltaica do país (Ludt, B., 2021). Com 1,2 MWp e 3.276 painéis com seguimento solar, fornece energia a cerca de 300 habitações. No local, são cultivadas mais de 40 espécies agrícolas, como amoras, ervas e tomates, e foram plantadas 3.000 árvores, arbustos e espécies polinizadoras, e foram instaladas colmeias para abelhas e sistemas de proteção de borboletas.



Figura 6: Jardim Solar de Jack (Ludt, B., 2021).

Por fim, destaca-se o projeto Klein Rheide, na Alemanha, que combina produção energética, agricultura extensiva e proteção da biodiversidade (SolarPower Europe, 2021). O parque solar foi instalado numa antiga área de extração de cascalho, hoje transformada em área de pousio. O local abriga 450 espécies vegetais, incluindo 17 ameaçadas, além de colmeias selvagens, abrigos para morcegos, zonas húmidas e corredores ecológicos. Este exemplo demonstra como os parques fotovoltaicos podem também atuar como santuários de fauna e flora nativas, conciliando produção com conservação.

2.2.3. A legislação sobre a temática agrovoltaica

O desenvolvimento de sistemas agrovoltaicos em Portugal Continental encontra-se atualmente num contexto jurídico disperso e pouco consolidado. A integração da produção agrícola com a geração de energia solar enfrenta obstáculos significativos, não apenas técnicos ou económicos, mas sobretudo legislativos. A ausência de uma regulamentação específica para sistemas agrovoltaicos representa um dos principais entraves à sua implementação.

Os projetos agrovoltaicos em Portugal funcionam, neste momento, na interseção de três importantes regimes legais: o uso do solo e ordenamento do território, a geração de energia renovável e o regime da atividade agrícola. Contudo, o conceito de “agrovoltaico” ainda não existe formalmente no ordenamento jurídico nacional. Assim, a instalação de painéis solares em áreas agrícolas mesmo com uso produtivo simultâneo continua sujeita às mesmas limitações impostas às instalações fotovoltaicas convencionais, nomeadamente no que diz respeito à sua integração em áreas da Reserva Agrícola Nacional (RAN), que estão definidas nos Planos Diretores Municipais (PDM).

No domínio da energia, o Decreto-Lei n.º 15/2022, que regula a produção descentralizada de eletricidade com base em fontes renováveis, permite a instalação de unidades de pequena e média escala, inclusive para autoconsumo em explorações agrícolas. Esse diploma cria

condições favoráveis para a produção fotovoltaica integrada, prevendo inclusivamente a criação de comunidades de energia (Diário da República, 2025). No entanto, esse regime também não faz distinção entre centrais fotovoltaicas tradicionais e sistemas agrovoltaicos, o que limita a sua aplicação prática ao setor agrícola.

Além disso, a Agenda de Inovação para a Agricultura 2020-2030, aprovada pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 86/2020, identifica como prioridade a integração de energias renováveis nas explorações agrícolas, o que abre espaço para o agrovoltaico. Contudo, esta integração ainda depende da compatibilização com os instrumentos de gestão territorial e das licenças municipais de uso do solo (Governo de Portugal, 2020).

Na sua dissertação de mestrado Bunge, analisou a instalação no contexto de um projeto piloto agrovoltaico em Cercal do Alentejo, destaca que Portugal carece ainda de um quadro legal que promova a conciliação entre agricultura e energia fotovoltaica (Bunge, L., 2024). A autora enfatiza a necessidade de desenvolver diretrizes nacionais claras que abranjam desde a definição legal do conceito de agrovoltaico, até à criação de métricas de desempenho e requisitos técnicos mínimos como a densidade de módulos, o tipo de cultura permitida e os impactos ambientais.

É preocupante que a legislação agrícola em Portugal continue a manter a separação formal entre os usos agrícola e energético, mesmo quando se sugere um uso sinérgico do solo. Portanto, na falta de uma definição jurídica adequada para o termo "uso duplo" da terra, as explorações se encontram com obstáculos legais e administrativos, sobretudo durante o processo de licenciamento. Isto contrasta com o avanço de países como França, Itália e Alemanha, onde existem diretrizes e normas técnicas específicas para sistemas agrovoltaicos (ADEME, 2021; DIN, 2021; Ministero della Transizione Ecologica, 2022).

Na Alemanha, a norma DIN SPEC 91434 define critérios técnicos e agronómicos para o reconhecimento formal de sistemas agrovoltaicos, incluindo a obrigatoriedade de monitorizar os impactos na produtividade agrícola (DIN, 2021). A França, por sua vez, definiu em 2023 que projetos agrovoltaicos só podem ser aprovados mediante comprovação de que contribuem positivamente para a atividade agrícola principal da parcela (ADEME, 2021). Em Itália, o governo estabeleceu que a energia gerada em sistemas agrovoltaicos deve atingir pelo menos 60% da produtividade elétrica de um central solar convencional, enquanto a taxa de ocupação do solo (LAOR) não deve ultrapassar 40% (Ministero della Transizione Ecologica, 2022).

Ao nível da União Europeia, documentos estratégicos como o Pacto Ecológico Europeu, a Estratégia “Farm to Fork” e a Nova Política Agrícola Comum (PAC 2023-2027) reconhecem a importância da transição energética no setor agrícola, promovendo explicitamente a integração de energias renováveis nas explorações (Comissão Europeia, 2020). Entretanto, a aplicação dessas diretrizes no contexto legislativo português ainda é restrita, e necessita de uma melhor coordenação entre os setores agrícola e energético.

É relevante referir que em 2021, o Governo português lançou um concurso de 10 milhões de euros para projetos fotovoltaicos em explorações agrícolas, priorizando sistemas sobre telhados, reservatórios e tanques, mas sem menção específica à integração sobre culturas ou uso do solo produtivo (Ministério da Agricultura, 2021). A falta de uma regulamentação específica para o agrovoltaiço pode impossibilitar o melhor aproveitamento das oportunidades existentes.

Assim, para que Portugal possa aproveitar ao máximo o potencial do agrovoltaiço, é essencial a existência de um esforço colaborativo para integrar as leis, inovar nas regulamentações e fortalecer as instituições. Estabelecer um regime legal específico que reconheça o agrovoltaiço como uma modalidade autónoma e estratégica para o uso multifuncional do solo será fundamental para assegurar a segurança jurídica, atrair investimentos e garantir a sustentabilidade das práticas agrícolas e energéticas.

2.3. Fatores edafoclimáticos na seleção das culturas

A seleção correta das culturas a integrar em sistemas agrovoltaiços é fortemente determinada pelos fatores edafoclimáticos, que englobam as qualidades do solo (fatores edáficos) e as condições climáticas da região (fatores climáticos). Essa avaliação conjunta é essencial para assegurar a viabilidade técnica e económica do sistema, considerando que a instalação de módulos fotovoltaicos modifica de maneira significativa o microclima ao redor das plantas.

A textura e a estrutura do solo, a capacidade de retenção de água, o pH, o teor de matéria orgânica e a profundidade efetiva são alguns dos fatores edáficos mais importantes. Solos de textura média (franco-arenosa a franco-argilosa), com boa drenagem e pH neutro a ligeiramente ácido (6,0 a 7,0), são considerados ideais para a maioria das culturas compatíveis com sombreamento parcial (Amaducci et al., 2018). O desenvolvimento das raízes pode ser afetado pela compactação ou má drenagem, especialmente em áreas sob estruturas elevadas, onde a mecanização pode ser restrita.

A temperatura média, a taxa de precipitação anual, a radiação solar, os ventos predominantes e a humidade atmosférica são os principais fatores a serem considerados ao analisar o clima. O sombreamento provocado pelos painéis solares modifica o regime de luz, temperatura e evaporação no “sub-bosque” fotovoltaico. Esse microclima tende a ser mais ameno, com menor amplitude térmica e menor evapotranspiração, favorecendo culturas sensíveis ao calor extremo, como espinafre, alface, couve, entre outros tipos de hortícolas (Barron-Gafford et al., 2019; Weselek et al., 2019).

Em sistemas agrovoltáicos, são preferíveis as culturas de ciclo curto, porte baixo ou rasteiro, que toleram sombra parcial e têm necessidades hídricas moderadas (Dupraz et al., 2011). Estudos realizados na Alemanha e França mostraram que, em condições de 30% a 50% de sombreamento, culturas como feijão, batata, alface, grão-de-bico, morango, acelga e manjeriço mantêm ou até aumentam a produtividade, principalmente quando associadas a sistemas de irrigação eficiente (Dupraz et al., 2011; Marrou et al., 2013; Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Wein- und Obstbau Weinsberg). Além disso, tem-se obtido sucesso com culturas perenes de baixo porte, como lavanda e algumas frutíferas anãs, como amoreiras e figueiras.

Em Portugal Continental, o contexto climático é particularmente propício à aplicação de sistemas agrovoltáicos, sobretudo nas regiões do Alentejo e Ribatejo, onde predominam verões longos, secos e quentes, e os níveis de radiação solar ultrapassam 1.900 kWh/m²/ano (DGEG, 2020). Nessas zonas, a mitigação da radiação direta e a conservação da humidade do solo sob os painéis são vistas como oportunidades para manter ou elevar a produtividade agrícola, especialmente em anos de seca severa (IPMA, 2023).

Os modelos de sombreamento dinâmico, com painéis móveis (seguidores solares), oferecem vantagens adicionais ao permitir a modulação da luz incidente ao longo do dia e das estações, ajustando-se às exigências das culturas e maximizando a produção de energia e biomassa (Valle et al., 2017). No entanto, a utilização desses modelos envolve um custo inicial mais elevado e uma gestão mais complexa.

Outro fator importante refere-se à compatibilidade de estruturas fotovoltaicas com a atividade agrícola, nomeadamente a prática mecanizada. Para culturas extensivas o espaçamento entre as fileiras de painéis deve ser calculado de modo a permitir a passagem de tratores e maquinário agrícola, o que afeta diretamente o projeto do sistema agrovoltáico. Para culturas permanentes, como vinha há experiências em Portugal que demonstram a viabilidade de um arranjo

compatível com os ciclos de poda, colheita e tratamentos fitossanitários, sem comprometer significativamente a produtividade agrícola (INESC TEC, 2022; ISA, 2024).

Por fim, é importante destacar que a capacidade de adaptação das espécies agrícolas ao microclima agrovoltaico continua como uma área de estudo em desenvolvimento. Esses campos contínuos são essenciais para a criação de protocolos agronômicos que se adaptem à realidade portuguesa, levando em consideração as características edafoclimáticas regionais.

2.4. O potencial recurso solar em Portugal

Portugal é um país localizado no sul da Europa (Figura 7), com uma área total de 92.212 km². Localizada no extremo sudoeste da Península Ibérica, a parte continental faz fronteira com a Espanha ao norte e a Leste, e com o oceano Atlântico ao oeste e ao sul (Ministério dos Negócios Estrangeiro, 2025).



Figura 7: Mapa da localização de Portugal (Ministério dos Negócios Estrangeiro)

O clima em Portugal é caracterizado por invernos suaves e verões agradáveis, embora haja variações de acordo com a região. No Norte, maiores valores de precipitação e temperaturas mais baixas, mas é no interior que se observam as maiores variações térmicas. Ao sul do Tejo, o rio mais extenso da Península Ibérica, as características mediterrânicas se manifestam, apresentando verões longos e muito quentes, além de invernos curtos e com baixa pluviosidade (Ministério dos Negócios Estrangeiro, 2025).

Portugal possui um dos mais elevados níveis de radiação solar da Europa, o que o posiciona estrategicamente para o aproveitamento da energia solar em múltiplas aplicações, incluindo o desenvolvimento de sistemas agrovoltaicos. O recurso solar é particularmente abundante no sul do país, onde as condições de insolação são mais favoráveis para a geração fotovoltaica e à integração com atividades agrícolas.

Segundo o Atlas de Energia Renovável da Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG – Direção-Geral de Energia e Geologia, 2020), a radiação solar global horizontal média anual em Portugal Continental varia entre 1.400 kWh/m² nas regiões do Noroeste e supera os 2.000 kWh/m² no Alentejo e Algarve, evidenciando um gradiente geográfico expressivo.

A Figura 8 mostra a distribuição da radiação solar global horizontal média anual em Portugal continental.



Figura 8: Mapa de irradiação solar global horizontal anual em Portugal (World Bank Group & Solargis, 2025).

O Alentejo, em especial, destaca-se como a região com maior potencial técnico, reunindo uma combinação de alta radiação, terrenos planos, pouca cobertura urbana e baixa densidade populacional, fatores que favorecem o desenvolvimento de projetos fotovoltaicos de larga escala, incluindo configurações agrovoltaicas suspensas (EDIA, 2023; INE, 2021).

O estudo de Bunge (Bunge, L., 2024), mostra que uma instalação agrovoltaica na região do Alentejo permite suprir as necessidades energéticas das explorações agrícolas e a injectar os

excedentes na rede elétrica. Mesmo com estruturas elevadas que reduzem parcialmente a radiação direta sobre o solo, os níveis de produção agrícola permanecem elevados, garantindo viabilidade técnica e económica ao sistema.

Além do recurso solar direto, Portugal apresenta condições meteorológicas que favorecem o desempenho dos sistemas fotovoltaicos: baixa nebulosidade anual, verões longos e secos e frequência reduzida de geadas e neve. Estes fatores contribuem para um fator de capacidade médio entre 17% e 20%, superior ao de países da Europa Central. O fator de capacidade é um indicador da eficiência de uma central de produção de energia elétrica, definido como a razão entre a energia elétrica efetivamente produzida num período e a energia que seria produzida se a central operasse continuamente em potência nominal durante o mesmo intervalo de tempo (IEA, 2022; IPMA, 2023).

O Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC 2030) e a Estratégia Nacional para o Hidrogénio (EN-H2) reforçam o papel central da energia solar na transição energética portuguesa. O PNEC prevê alcançar 20,8 GW de capacidade solar fotovoltaica instalada até 2030, promovendo a descentralização da produção e incentivando a integração com o setor agrícola (Ministério do Ambiente e da Ação Climática, 2020). Neste contexto, o modelo agrovoltáico assume-se como uma solução sinérgica, otimizando o uso do solo para alimentação e energia, sem comprometer a produtividade (Dupraz et al., 2011).

Apesar de a maioria parte da potência fotovoltaica instalada atualmente se concentra em grandes centrais convencionais em solo, observa-se um interesse crescente por modelos inovadores de uso dual, como o agrovoltáico, solar flutuante e instalações em estruturas construídas. Estes modelos aumentam a superfície útil para produção de energia, reduzindo conflitos com usos urbanos ou ambientais sensíveis.

A evolução tecnológica também tem contribuído para aumentar a viabilidade do agrovoltáico: painéis bifaciais, seguidores solares, sistemas de altura variável e monitorização digital permitem adaptar as instalações às exigências de diferentes culturas e microclimas agrícolas, otimizando tanto a produção de energia como o desempenho agronómico (Weselek et al., 2019).

Em síntese, Portugal dispõe de um recurso solar vasto, estável e bem distribuído geograficamente, com condições ideais para a aplicação do modelo agrovoltáico em diversas regiões, sobretudo no sul.

2.5. O potencial recurso agrícola em Portugal

Portugal possui um considerável recurso agrícola, quer em termos de extensão territorial, quer na diversidade de sistemas produtivos, culturais e vocações regionais. A Superfície Agrícola Utilizada (SAU) em Portugal Continental corresponde a cerca de 3,6 milhões de hectares, o que representa aproximadamente 39% da superfície total do país (INE, 2021). Esta realidade, aliada a elevadas taxas de radiação solar em várias regiões, particularmente no Sul, constitui uma oportunidade estratégica para o desenvolvimento de soluções agrovoltáicas combinando a produção agrícola com a geração de energia renovável num modelo de uso multifuncional do solo.

As áreas do Alentejo e Ribatejo, que juntas representam aproximadamente 50% da SAU nacional, apresentam características geográficas e climáticas que as tornam altamente favoráveis para a implementação do modelo agrovoltáico. O Alentejo, por exemplo, destaca-se pelo seu relevo plano, baixos índices de urbanização, radiação solar elevada (superior a 1.900 kWh/m²/ano) e ampla disponibilidade de terras com uso agrícola extensivo. Além disso, o investimento em infraestruturas como o Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva (EFMA) tem contribuído para a expansão da agricultura irrigada na região, criando condições para sistemas agrícolas mais intensivos e com tecnologia avançada (EDIA, 2023).

No entanto, o setor agrícola de Portugal enfrenta desafios estruturais que tornam a diversificação de rendimentos e a modernização das explorações urgentes. Entre esses desafios estão o envelhecimento da população ativa no setor, a fragmentação fundiária, a vulnerabilidade a fenómenos climáticos extremos, e o défice de rendibilidade em pequenas e médias explorações (INE, 2021; PDR 2020, 2022).

De acordo com Bunge (2024), a implementação de projetos-piloto agrovoltáicos em áreas agrícolas do Alentejo a instalação de painéis solares em modo suspenso, permite manter a atividade agrícola com perdas mínimas de produtividade, sobretudo quando se utilizam culturas compatíveis com sombreamento parcial.

A diversidade agroecológica de Portugal é também uma vantagem para o agrovoltáico. O país apresenta zonas agroclimáticas distintas, que permitem a produção de culturas adaptadas ao sombreamento ou à radiação atenuada pelos painéis, como hortícolas, leguminosas, pastagens, aromáticas e frutíferas de baixo porte. Estudos recentes indicam que culturas como alface, espinafre, grão-de-bico, morango, ervas aromáticas (manjerição, coentros) e videiras são

compatíveis com modelos agrovoltáicos, com desempenho agronómico satisfatório e até melhorias na qualidade dos produtos (Marrou et al., 2013; Weselek et al., 2019).

É importante destacar que o agrovoltáico pode também contribuir para os objetivos da Política Agrícola Comum (PAC 2023-2027), nomeadamente no que respeita à transição ecológica, adaptação às alterações climáticas e modernização do setor agrícola. Embora o enquadramento legal português ainda não reconheça formalmente o uso agrovoltáico, o Plano Estratégico da PAC (PEPAC Portugal) abre a porta a medidas que promovam a eficiência energética, a diversificação de rendimentos e a sustentabilidade ambiental das explorações (Ministério da Agricultura, 2022).

Assim, o recurso agrícola em Portugal Continental, principalmente nas regiões do Sul, proporciona condições técnicas e territoriais favoráveis para a expansão do agrovoltáico. O país destaca-se pelas suas condições privilegiadas para a implementação de modelos agrovoltáicos inovadores e escaláveis, devido à combinação de elementos como alta radiação solar, vastas áreas agrícolas, pressões económicas no setor e políticas públicas voltadas para a sustentabilidade.

Capítulo III

3. Metodologia

3.1. Definição dos critérios da seleção de áreas potenciais

Para definir as áreas aptas para a instalação de sistemas agrovoltáicos, é necessário considerar critérios que abrangem dimensões agronômicas, ambientais e técnico-espaciais (Dupraz et al., 2011; Weselek et al., 2019; Amaducci et al., 2018).

Nesta análise, os critérios de seleção foram divididos em três categorias principais:

1. Uso atual do solo

A seleção das áreas elegíveis foi baseada nos dados vetoriais da Carta de Ocupação do Solo de 2023 (COS 2023), onde foram selecionadas as classes que apresentam maior compatibilidade com sistemas agrovoltáicos: uso agricultura e pastagem (DGT, 2024).

2. Restrições legais e ambientais

Foram excluídas as áreas que interceptam a Rede Natura 2000, à Reserva Agrícola Nacional (RAN) e à Reserva Ecológica Nacional (REN), devido a restrições legais que inviabilizam a instalação de infraestruturas energéticas (Comissão Nacional do Território, 2025; DGADR, 2025; ICNF, 2025).

3. Condições topográficas

Quatro categorias de declive foram analisadas ($\leq 3\%$, $\leq 5\%$, $\leq 10\%$ e $>10\%$) com base na metodologia de avaliação da aptidão agrícola e instalação de painéis fotovoltaicos (EPA & NREL, 2022; Simões, S. G.; Simões, T.; Barbosa, J., 2023).

Esses três critérios, uso atual do solo, restrições legais e ambientais e condições topográficas foram considerados fundamentais para este estudo, pois possibilitam a identificação consistente das áreas aptas para a implementação de sistemas agrovoltáicos. No entanto, é importante considerar que outros critérios poderiam melhorar a análise e oferecer uma visão mais completa, como a proximidade a ativos de rede elétrica (linhas de transporte, subestações, outros ativos renováveis), a acessibilidade territorial e os custos de ligação. Do ponto de vista paisagístico e ambiental, levar em conta zonas sensíveis, áreas de alta visibilidade ou regiões com descontinuidade territorial poderia minimizar possíveis conflitos de uso. Além disso, aspectos como a disponibilidade de água, a vulnerabilidade a eventos climáticos extremos ou

critérios sociais relacionados à aceitação comunitária representam dimensões igualmente importantes. Contudo, a falta de dados acessíveis para esses parâmetros impediu sua inclusão nessa fase de estudo.

As bases de dados utilizados nesta análise foram as seguintes:

- Carta de Ocupação do Solo de 2023 (COS 2023) – Direção-Geral do Território (DGT, 2024)
- Rede Natura 2000 – Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF, 2025)
- Rede Agrícola Nacional (RAN) – Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (DGADR, 2025).
- Rede Ecológica Nacional (REN) – Comissão Nacional do Território (CNT, 2025)
- Modelo Digital de Elevação (MDE) – (European Environment Agency, 2023).
- O processamento foi realizado em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) utilizando o software QGIS 3.38.0. (QGIS Project, 2024)

As etapas incluíram:

1. Importação dos dados vetoriais e raster.
2. Filtragem das classes de uso do solo (COS 2023) compatíveis com agrovoltáticos.
3. Aplicação de máscaras de exclusão para as restrições legais (Natura 2000, RAN, REN).
4. Cálculo do declive a partir do MDT usando a ferramenta *Slope* do QGIS.
5. Classificação do declive, d em quatro categorias:
 - C1: $d \leq 3\%$
 - C2: $3\% < d \leq 5\%$
 - C3: $5\% < d \leq 10\%$
 - C4: $d > 10\%$ (excluída da análise de elegibilidade)

A análise consistiu em:

1. Interseção entre áreas agrícolas e de pastagem (COS 2023) com as camadas de restrições (Natura 2000, RAN e REN).
2. Filtragem topográfica para retenção de áreas nas categorias C1, C2 e C3.
3. Cálculo do potencial de produção de energia nas áreas úteis identificadas com base em simulações com o software PVSyst 8.0.13. (PVsyst SA, 2024).

A Figura 9 apresenta o fluxograma metodológico, com as diferentes etapas da análise efetuada, desde a definição das áreas úteis até o cálculo do potencial de produção de energia. Este método foi aplicado a cada uma das regiões do país.

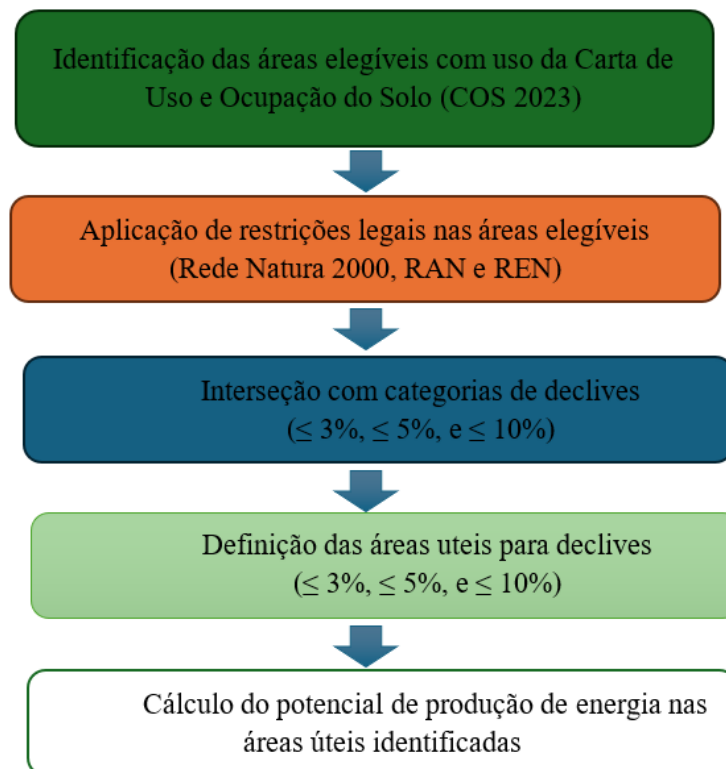


Figura 9; Fluxograma geral de procedimentos

3.1.1. Uso do Solo: Classificação pela COS 2023

O primeiro critério de seleção espacial utilizado nesta análise foi a atual atribuição de uso dos solos, sendo selecionadas as áreas destinadas à agricultura e pastagem, conforme registado na Carta de Ocupação do Solo (COS) de 2023 (DGT, 2024), que constitui a base de dados cartográfica mais recente para o território de Portugal Continental.

A Figura 10 apresenta o mapa de classificação do uso do solo, que mostra a distribuição espacial das principais categorias do uso e ocupação do solo do território de Portugal continental.

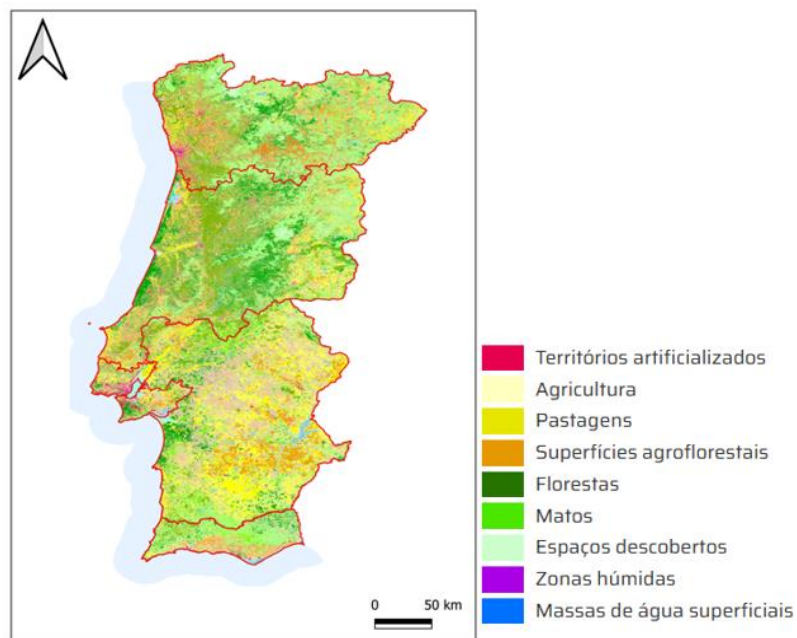


Figura 10: Mapa de Uso e Ocupação do Solo segundo a COS 2023.

A Tabela 1 apresenta os dados da área ocupada pela cada categoria de uso do solo e a sua percentagem de ocupação em termos da área no território de Portugal Continental.

Tabela 1: Distribuição das áreas ocupadas por cada categoria de uso do solo no território de Portugal Continental.

Classe	Categoria	Área ocupada (kha)	Percentagem (%)
1	Territórios artificializados	506,9	4,6
2	Agricultura	2263,0	20,5
3	Pastagens	979,1	8,9
4	Superfícies agroflorestais	682,6	6,2
5	Florestas	2834,8	25,7
6	Matos	1403,0	12,7
7	Espaços descobertos	59,4	0,5
8	Zonas húmidas	26,8	0,2
9	Massas de água superficiais	2279,3	20,7
Total		11034,9	100,0

As categorias do uso do solo selecionadas para o uso agroltaico neste projeto foram:

- Classe ou categoria do uso e ocupação do solo de agricultura: abrange as regiões de culturas presentes neste mapa de uso e ocupação do solo;

- Classe ou categoria do uso e ocupação do solo de pastagem: todas as regiões ocupadas por pasto.

A Figura 11 mostra as áreas elegíveis para pastagem e agricultura no território continental português.

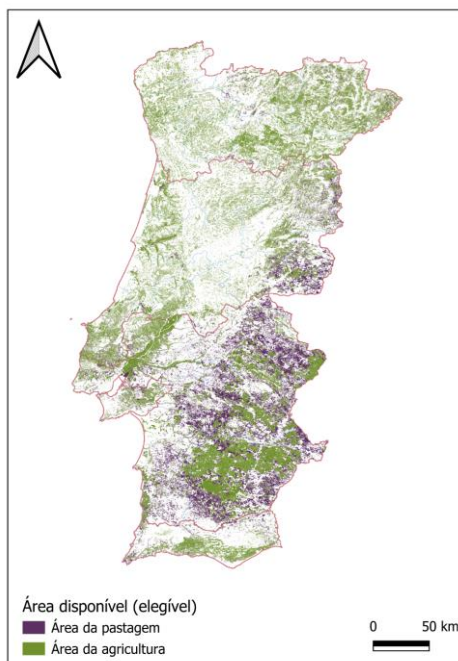


Figura 11: Junção do mapa das áreas elegíveis (pastagem e agricultura)

A seleção das classes de uso foi fundamentada na viabilidade técnica e ecológica para a integração com sistemas fotovoltaicos, uma vez que estes usos possibilitam a continuação da atividade agrícola ou pecuária com níveis controlados de sombreamento, sem afetar a produtividade (Barron-Gafford et al., 2019; Dupraz et al., 2011).

Como indicado por (Dupraz et al., 2011), a compatibilidade entre agricultura e a geração solar fotovoltaica depende fortemente da gestão da radiação fotossinteticamente ativa (PAR), do arranjo espacial dos módulos e da adaptação da cultura ao microclima existente.

3.1.2. Mapa das áreas com restrições legais

O segundo passo consistiu na remoção das áreas que interceptam zonas com restrições legais para garantir que os sistemas agrovoltaicos estejam em conformidade com as normas de ordenamento do território.

Com esse critério de exclusão das áreas afetadas pela restrição legal, as regiões enquadradas nos seguintes mecanismos de proteção foram eliminadas do conjunto de áreas potenciais para utilização:

- Rede Natura 2000: Esta rede europeia de conservação da natureza inclui as Zonas de Proteção Especial (ZPE), definidas pela Diretiva Aves (2009/147/CE), e as Zonas Especiais de Conservação (ZEC), estabelecidas pela Diretiva Habitats (92/43/CEE), com o objetivo de proteger habitats e espécies de interesse comunitário. Em Portugal,

a Rede Natura 2000 foi transposta para o ordenamento jurídico nacional através do Decreto-Lei n.º 140/99 e posteriores atualizações.

- Reserva Agrícola Nacional (RAN): Engloba as áreas com solos de elevada aptidão para a agricultura, cuja proteção é regulada pela Lei n.º 73/2009. Estas áreas devem ser prioritariamente utilizadas para a produção agrícola, sendo a instalação de infraestruturas não agrícolas fortemente condicionada.
- Reserva Ecológica Nacional (REN): Engloba zonas com características ecológicas e biofísicas sensíveis, como leitos de cheia, encostas com declives acentuados, cabeceiras de linhas de água e áreas costeiras. A sua delimitação e gestão estão definidas pela Portaria n.º 419/2012 e visam salvaguardar os serviços ecossistêmicos e a segurança ambiental.

A exclusão dessas áreas é essencial para que o desenvolvimento de sistemas agrovoltaicos esteja em conformidade com a legislação que enquadra a preservação ambiental e uso sustentável do solo, garantindo a compatibilidade territorial com as políticas públicas atuais.

Na Figura 12 são apresentadas as áreas ocupadas por cada uma destas zonas de proteção, enquanto na Figura 13 podemos observar a área resultante da intersecção destas áreas.

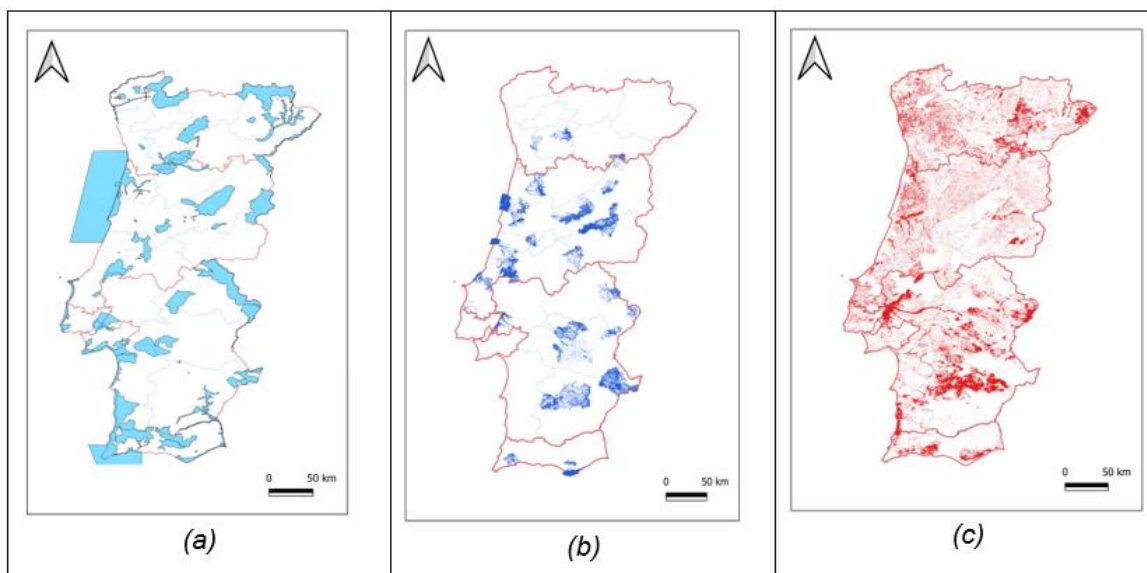


Figura 12; Mapa da Rede Natura 2000 (a); REN (b); e RAN (c)

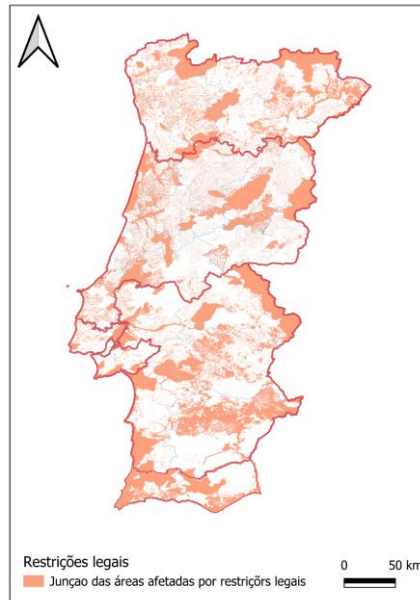


Figura 13: Intersecção das áreas de utilização restrita

3.1.3. Declive do Terreno

O relevo do terreno foi o terceiro critério avaliado para identificar áreas adequadas para sistemas agrovoltáicos. A sustentabilidade energética e económica de uma instalação agrovoltáica é fortemente afetada pela inclinação do terreno. Terrenos com declives acentuados apresentam desafios técnicos tanto para a instalação dos painéis fotovoltaicos com a orientação ideal, quanto para a atividade agrícola.

A exclusão de regiões com inclinação acima de 10% e 5% e, em algumas situações, acima de 3%, tem como objetivo garantir:

- Que a orientação e inclinação dos módulos fotovoltaicos é a ideal para maximizar a captação de radiação solar (EPA & NREL, 2022);
- Diminuição dos custos de instalação dos sistemas, reduzindo a necessidade de movimentação de terra e serviços de terraplenagem;
- Melhoria da acessibilidade e segurança nas operações, facilitando o trânsito de máquinas agrícolas e a manutenção da infraestrutura energética (Barron-Gafford et al., 2019).

Esse critério técnico é essencial para assegurar a viabilidade técnica e económica dos projetos agrovoltáicos, especialmente quando implementados em grande escala em regiões rurais.

A Figura 14 apresenta o mapa com áreas das diferentes classes de declives no território de Portugal Continental:

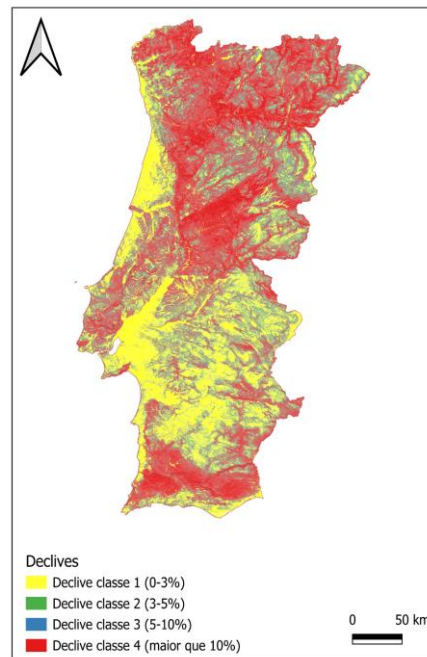


Figura 14: O mapa das diferentes classes de declives em Portugal Continental. Existem diversas recomendações técnicas e científicas que justificam a definição de um limiar para a inclinação dos terrenos. Alguns estudos indicam que terrenos com declives até 3% são ideais para projetos agrovoltaicos com alta integração agroprodutiva, pois diminuem a necessidade de terraplanagem e maximizam o uso do solo (Amaducci et al., 2018; Sekiyama & Nagashima, 2019).

De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos EUA e o National Renewable Energy Laboratory, centrais solares fotovoltaicas convencionais em solo podem acomodar declives até 10%, embora isso aumente os custos e a complexidade dos projetos (EPA & NREL, 2022).

No âmbito agrovoltaico, para acomodar as necessidades da atividade agrícola, opta-se por critérios mais exigentes:

- Terrenos com declive, $d \leq 3\%$ (Classe 1) são considerados ideais;
- Terrenos com $3 \leq d < 5\%$ e $5 \leq d \leq 10\%$ (Classes 2 e 3) são considerados viáveis, podendo exigir alguns ajustes estruturais.

3.2. Síntese dos Critérios Aplicados

A definição das regiões com potencial para a implementação de sistemas agrovoltaicos em Portugal foi obtida por meio da aplicação integrada de três critérios principais: (i) uso agrícola compatível, levando em conta a aptidão dos solos e a classificação das explorações agrícolas; (ii) ausência de restrições legais e ambientais, excluindo áreas classificadas como Reserva Agrícola Nacional (RAN), Reserva Ecológica Nacional (REN) e zonas da Rede Natura 2000; e (iii) topografia adequada, escolhendo áreas com declive igual ou inferior a 3%, consideradas mais favoráveis para a instalação e operação de estruturas fotovoltaicas. Além disso, foram identificadas áreas com declive igual ou inferior a 5% e a 10%, que, embora menos adequadas, podem ser tecnicamente viáveis, eventualmente exigindo ajustes específicos no projeto (DGADR; ICNF).

As Figuras 15, 16, e 17 mostram as áreas úteis de pastagem e agricultura no território continental português, com declives, $d \leq 3\%$, $\leq 5\%$ e $\leq 10\%$.

a. Mapa das áreas úteis com $d \leq 3\%$

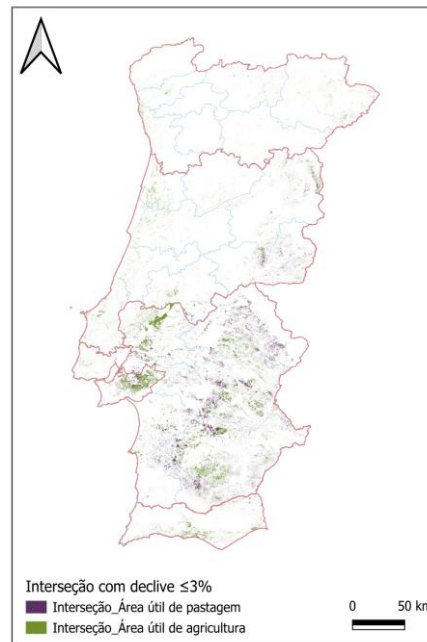


Figura 15: Mapa das áreas úteis (pastagem e agricultura) com $d \leq 3\%$.

b. Mapa das áreas úteis com $d \leq 5\%$

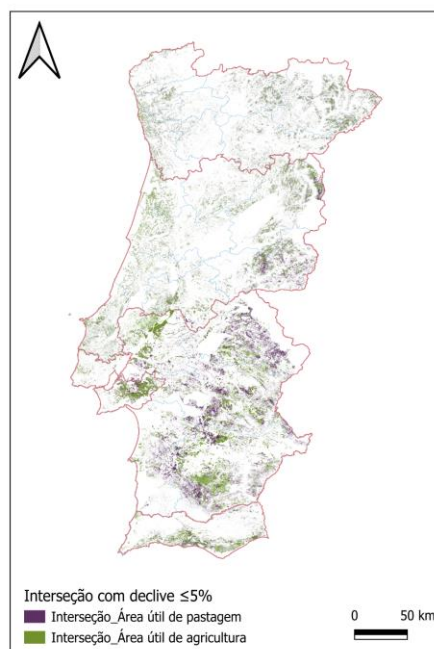


Figura 16: Mapa das áreas úteis (pastagem e agricultura) com $d \leq 5\%$

c. Mapa das áreas úteis com declive inferior ou igual a 10%

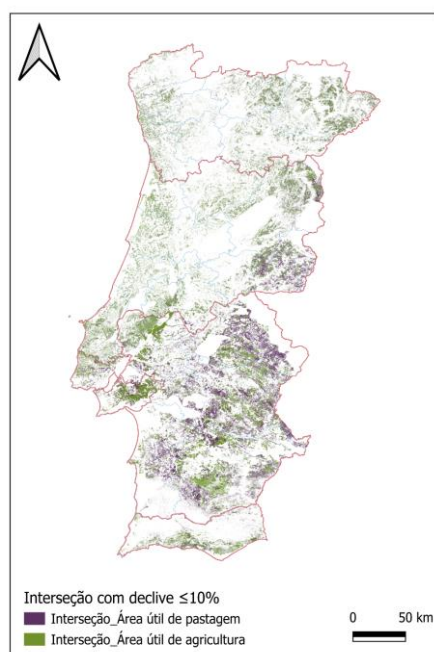


Figura 17: Mapa das áreas úteis (pastagem e agricultura) com declive inferior ou igual a 10%.

A integração desses critérios no Sistema de Informação Geográfica (SIG), baseada na Carta de Ocupação do Solo (COS 2023), nos mapas oficiais da Reserva Agrícola Nacional (RAN), Reserva Ecológica Nacional (REN) e Rede Natura 2000, bem como do mapa da topografia do terreno, permitiu a criação de um mapa que destaca as áreas com viabilidade agrovoltáica. Esta

análise permite dar suporte a uma administração eficaz do território, que garante uma harmonia entre a produção agrícola sustentável, a produção de energia renovável e a conservação ambiental (CNT, 2025; DGADR, 2025; ICNF, 2025).

3.3. Cálculo do potencial de produção de energia

A determinação do potencial de produção de energia é um passo fundamental na análise do potencial económico de sistemas agrovoltáicos, pois possibilita a quantificação da capacidade de produção de energia elétrica das áreas consideradas tecnicamente viáveis. Neste subcapítulo, apresenta-se a metodologia utilizada para determinar o potencial de instalação de capacidade fotovoltaica, expressa em quilowatt-pico (kWp), com base na área útil identificada em cada região. A análise abrange diversos cenários de aplicação, comparando configurações aéreas (elevadas) e interespaciais (entre fileiras de culturas), além de considerar diferentes condições topográficas, com declives máximos de 3%, 5% e 10%. Posteriormente o potencial de produção de energia é determinado utilizando o software PVsyst (PVsyst, 2024).

3.3.1. Parâmetros Técnicos de Referência

O potencial de produção de energia foi calculado com base numa configuração padrão de módulo fotovoltaico bifacial de silício monocristalino com potência nominal de 655 Wp (0,655 kWp) e dimensões de 1,303 m × 2,384 m, ocupando uma área de 3,106 m² por módulo. Este valor indica a área de solo necessária para cada painel, excluindo os espaços estruturais adicionais.

O potencial da capacidade da instalação de energia fotovoltaica foi calculado usando a seguintes equações:

$$Nm = \text{Int}\left(\frac{Au}{Am}\right) \quad (\text{Eq1})$$

$$PPE = Nm * Pm \quad (\text{Eq2})$$

Onde:

Nm é o número de módulos, que é dado pelo quociente inteiro de entre a a área útil, Au (m²) e a área do módulo, Am (m²).

PPE é a potencial fotovoltaica total (kWp)

Pm é a potência nominal de cada módulo (kWp)

Este cálculo foi efetuado em todas as regiões analisadas, com base nos valores de área útil obtidos após a aplicação dos critérios geoespaciais, que incluem uso do solo, restrições legais

e inclinações de terreno, os resultados são apresentados em gigawatt-pico (GWp) e a estimativa da produção de energia foi obtido através da simulação no software PVSyst 8.0.13 (PVSyst, 2024).

3.3.2. Configurações Estruturais

Para determinar a densidade de módulos por área, foram utilizadas duas configurações de instalação:

a. Configuração Aérea

Configuração Aérea: Nesta configuração os módulos estão elevados em relação ao solo, podendo ser realizadas atividades agrícolas ou de pastoreio debaixo dos sistemas fotovoltaicos. A Figura 18 ilustra o exemplo de uma configuração aérea e a Figura 19 mostra o desenho no PVSyst da configuração aérea analisada neste estudo, na qual se considerou:

- Alinhamento e Orientação: O campo fotovoltaico foi orientado para o sul (azimute = 0°);
- Inclinação dos módulos: Adotou-se uma inclinação de 25° ;
- Altura da instalação (aérea): Os módulos foram instalados a uma altura de 4,0 m em relação ao solo e espaçamento entre as fileiras são 5 m.
- Módulo fotovoltaico bifacial de silício monocristalino dual glass monocrystalline com potência nominal de 655 Wp (0,655 kWp), tem uma eficiência máxima de 21,4% e dimensões de $1,303 \text{ m} \times 2,384 \text{ m}$, ocupando uma área de $3,106 \text{ m}^2$ por módulo (Trinasolar, 2016);
- Área total ocupada: A simulação considerou uma parcela de 1 hectare (10.000 m²);
- Estrutura: Foi utilizada uma estrutura fixa (fixed tilt).
- Foi selecionado um local de referência na região Centro de Portugal Continental para a realização das simulações no software PVsyst. Este local foi escolhido por representar de forma adequada as condições médias de irradiação solar e clima da região central do país.



Figura 18: Exemplo da configuração aérea (Powerfultree, 2025)

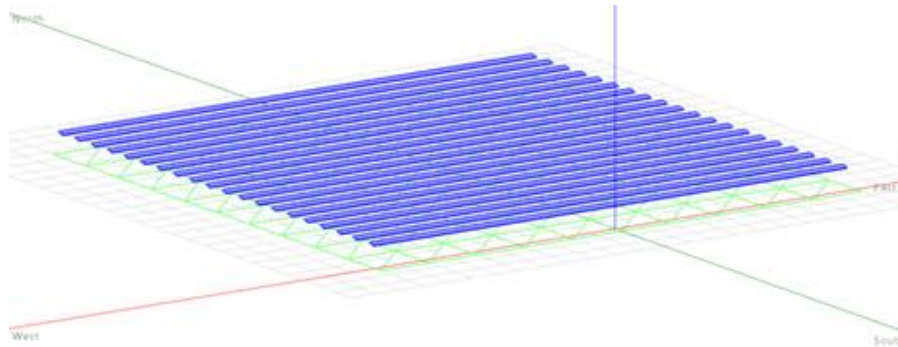


Figura 19: Desenho esquemático da configuração aérea considerada no PVSyst (PVSyst, 2024)

b. Configuração Interespacial

Configuração Interespacial: caracteriza-se por ter espaçamentos mais elevados entre linhas de painéis (>10 m), sendo as áreas de cultivo concentradas entre as linhas de módulos FV. Esta configuração é particularmente adequada para culturas extensivas, como por exemplo cereais, que usualmente requerem a utilização de máquinas de grandes dimensões. A Figura 20 ilustra o exemplo da configuração interespacial, em que os painéis são colocados na posição vertical e a Figura 21 mostra o desenho no PVSyst da configuração aérea analisada neste estudo



Figura 20: Instalação com configuração interespacial (Next2Sun, 2025)

Para a configuração interespacial, considerou-se:

- Área total ocupada: A simulação considerou uma parcela de 1 hectare (10.000 m²)
- Alinhamento e Orientação: O campo fotovoltaico foi alinhado norte-sul (azimute = 0°);
- Módulo fotovoltaico bifacial de silício monocristalino dual glass monocrystalline com potência nominal de 655 Wp (0,655 kWp), tem uma eficiência máxima de 21,4% e dimensões de 1,303 m × 2,384 m, ocupando uma área de 3,106 m² por módulo (Trinasolar, 2016);
- São 8 linhas no total em uma área de 1 hectare (10.000 m²), em cada linha são colocadas 82 unidades de painéis fotovoltaico.
- Inclinação dos módulos: Adotou-se uma inclinação de 90° (posição vertical);
- Altura da instalação (aérea): Os módulos foram instalados a uma altura de 1,0 m em relação ao solo e espaçamento entre as fileiras são 14 m.
- Estrutura: Foi utilizada uma estrutura fixa (fixed tilt).
- Foi selecionado um local de referência na região Centro de Portugal Continental para a realização das simulações no software PVsyst. Este local foi escolhido por representar de forma adequada as condições médias de irradiação solar e clima da região central do país.

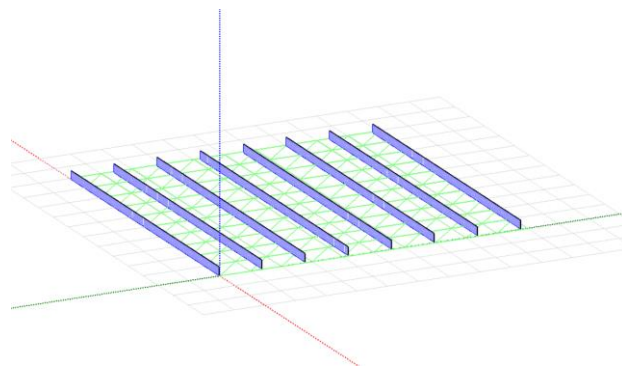


Figura 21: Desenho esquemático da configuração interespacial considerada no PVsyst

Capítulo IV

4. Resultado e Discussão

4.1. Mapeamento da área útil e análise dos resultados de cada região

Neste capítulo, aborda-se a aplicação prática da metodologia apresentada no Capítulo 3, com foco na análise espacial dos resultados obtidos ao nível regional. O objetivo é identificar as regiões com maior potencial para a implementação de sistemas agrovoltaicos, utilizando uma abordagem territorial integrada e considerando os critérios técnicos e legais definidos anteriormente.

Em seguida, é apresentada a aplicação do método de avaliação do potencial agrovoltaico descrito no Capítulo 3 para cada região, seguida de uma breve análise descritiva dos resultados obtidos. Para cada subseção regional serão apresentados:

- Mapa da ocupação do solo das regiões aptas, englobando áreas de pastagem e agricultura (com base na COS 2023);
- Mapa das restrições legais, englobando RAN, REN e Rede Natura 2000;
- Mapa das áreas com declive $\leq 3\%$, $\leq 5\%$ e $\leq 10\%$;
- Mapa atualizado das regiões com áreas úteis.

4.1.1. Região do Algarve

1. Caracterização Geral da Região

O Algarve localiza-se no extremo sul de Portugal Continental, possuindo dois domínios territoriais distintos (Figura 21): uma faixa litoral altamente urbanizada, com forte foco no turismo e no mercado imobiliário, e um interior montanhoso com relevo irregular, onde predominam áreas naturais e uma população menos densa (INE, 2021).

Apesar das limitações da ocupação intensiva (litoral) e do relevo acidentado (interior), o Algarve destaca-se por apresentar níveis elevados de radiação solar e uma temperatura média anual elevada. Isso confere a esta região elevada aptidão para a instalação de sistemas fotovoltaicos (EPA & NREL, 2022; Pereira et al., 2019).

As planícies intermédias do barrocal algarvio, bem como zonas agrícolas do sotavento, representam as áreas com maior potencial agrovoltaico. Nestas superfícies observam-se solos agrícolas, declives suaves e menor sobreposição com zonas legalmente protegidas, tornando-as mais atrativas para a instalação de sistemas agrovoltaicos (CCDR Algarve, 2020).

A Figura 22 mostra a localização da região do Algarve no território de Portugal Continental.

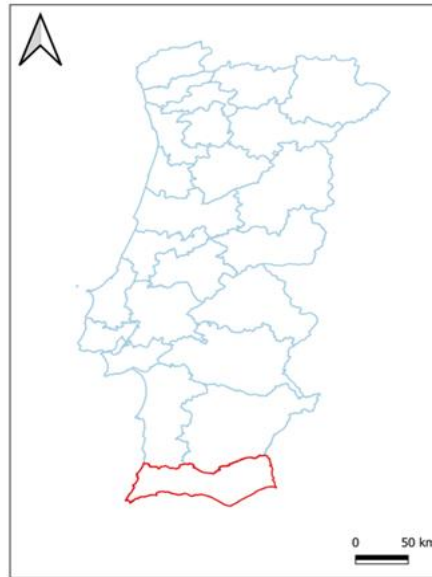


Figura 22: Localização da região do Algarve no contexto do território continental português.

2. Mapa das áreas elegíveis

No âmbito da identificação de regiões com potencial para sistemas agrovoltaicos, a avaliação do uso do solo das áreas consideradas elegíveis (com base na Carta de Uso e Ocupação do Solo - COS 2023) possibilitou a definição de zonas com atividades agrícolas estáveis e tecnicamente viáveis.

A Figura 23 mostra a distribuição das áreas agrícolas e de pastagem com potencial uso agrovoltaico no Algarve.

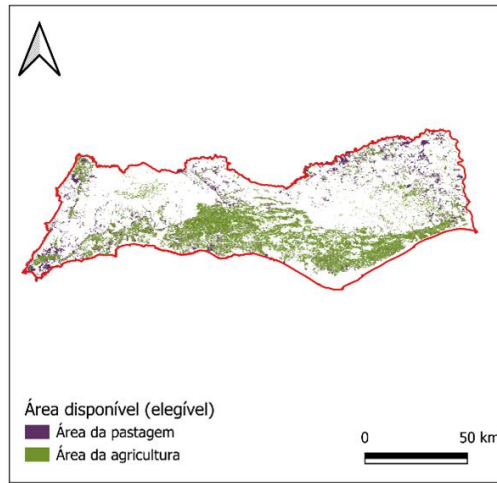


Figura 23: Mapa das áreas de Pastagem e Agricultura na região do Algarve

3. Mapa das áreas com restrições legais

Uma etapa essencial na identificação de áreas adequadas para o desenvolvimento de sistemas agrovoltaicos é a análise espacial das restrições legais.

A seguir, são apresentados os mapas que mostram a exclusão das áreas impactadas pelas restrições legais para a região do Algarve Figura 24 e 25.

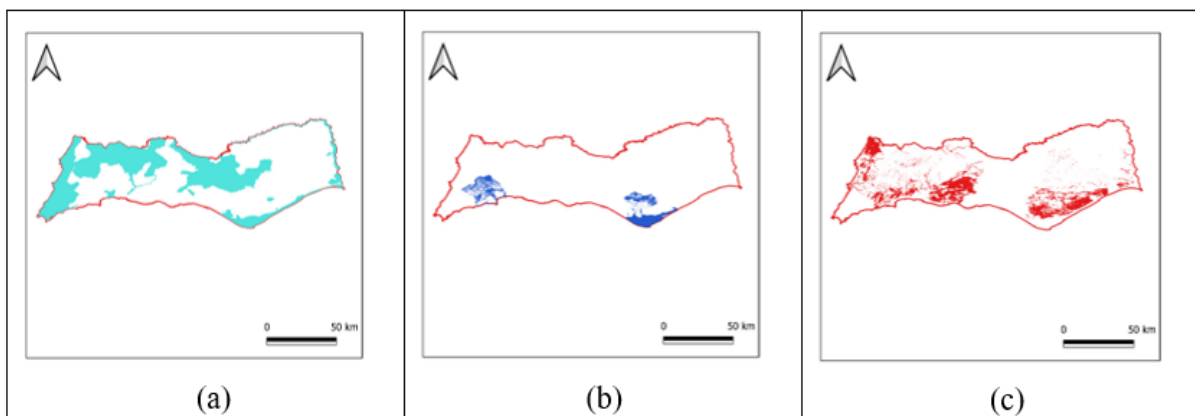


Figura 24: Mapa da Rede Natura 2000 (a); REN (b); e RAN (c)

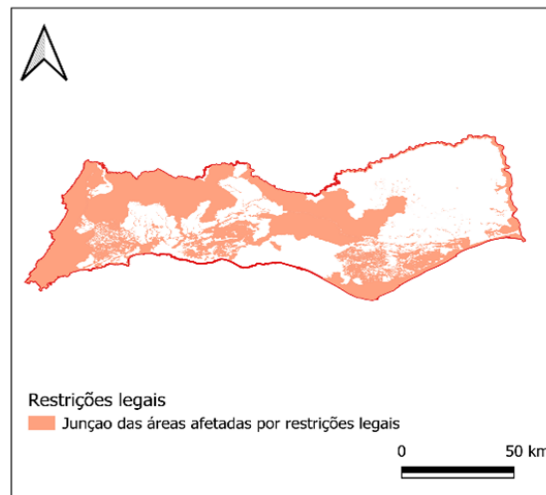


Figura 25: Sobreposição das áreas de restrição legais

A integração destas camadas em ambiente SIG permitiu excluir áreas incompatíveis com a instalação de estruturas fotovoltaicas, assegurando a conformidade com o ordenamento territorial e com os objetivos de conservação ambiental. A sobreposição dessas restrições revelou que grande parte das zonas interiores da região, apesar de favoráveis, são ambientalmente protegidas, o que restringe fortemente a sua utilização.

4. Análise do Declive do Terreno

O declive do terreno é um fator técnico crucial para a viabilidade da implementação de sistemas fotovoltaicos em regiões agrícolas. A avaliação do Modelo Digital de Elevação (MDE) do Algarve possibilitou a classificação da área em três categorias principais de declive, considerando sua adequação para a instalação de estruturas agrovoltáicas fixas: de $\leq 3\%$ e declives muito suaves, perfeitos para a instalação direta de sistemas fotovoltaicos, $\leq 5\%$ e $\leq 10\%$: regiões com inclinações moderadas que ainda podem ser consideradas viáveis com o uso de técnicas de nivelamento ou adaptações nas fundações e que apesar de dificultarem não inviabilizam a atividade agrícola. Na Figura 26 apresenta-se o mapa de declive do solo na região do Algarve, dividido em quatro categorias percentuais ($\leq 3\%$, $\leq 5\%$, $\leq 10\%$, e $> 10\%$).

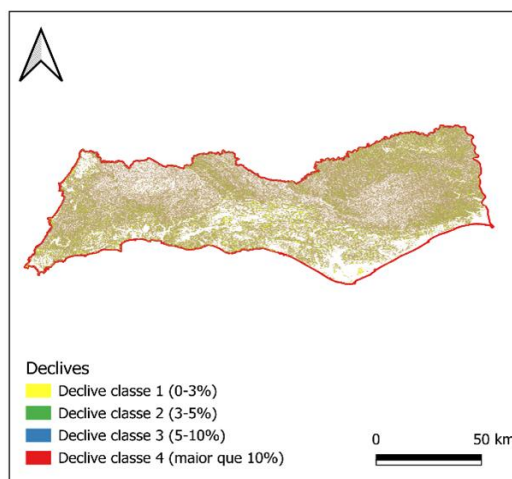


Figura 26: Mapa de declives de ≤ 3 , $\leq 5\%$, $\leq 5\%$ e $>10\%$)

A introdução deste critério ao processo de elegibilidade espacial possibilita a priorização de locais de instalação com melhores condições e maior viabilidade económica.

5. Mapa de áreas úteis (áreas com potencial agrovoltaico)

A intersecção espacial dos três critérios fundamentais, uso agrícola compatível (COS 2023), exclusão por restrições legais (RAN, REN e Rede Natura 2000) e declive do terreno resultaram na identificação das áreas mais aptas para a implementação de sistemas agrovoltaicos na região do Algarve.

As Figuras 27, 28 e 29, respectivamente mostram as áreas úteis da pastagem e da agricultura na região do Algarve, com declives iguais ou inferiores a 3%, 5% e 10%.

a. Mapa das áreas úteis com declive inferior ou igual a 3%

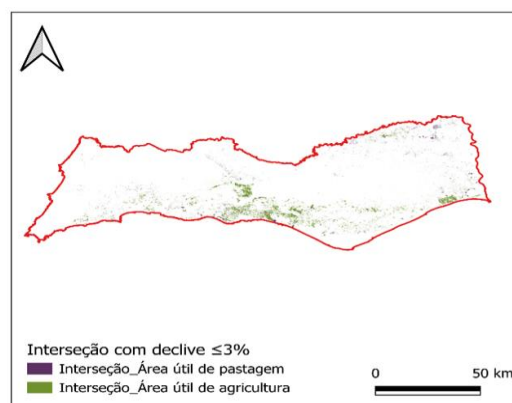


Figura 27: Mapa das áreas úteis (Pastagem e Agricultura) com declive inferior ou igual a 3%

b. Mapa das áreas úteis com declive inferior ou igual a 5%

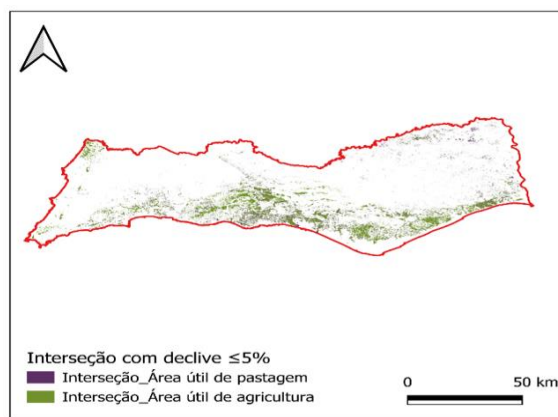


Figura 28: Mapa das áreas úteis (Pastagem e Agricultura) com declive inferior ou igual a 5%

c. Mapa das áreas úteis com declive inferior ou igual a 10%

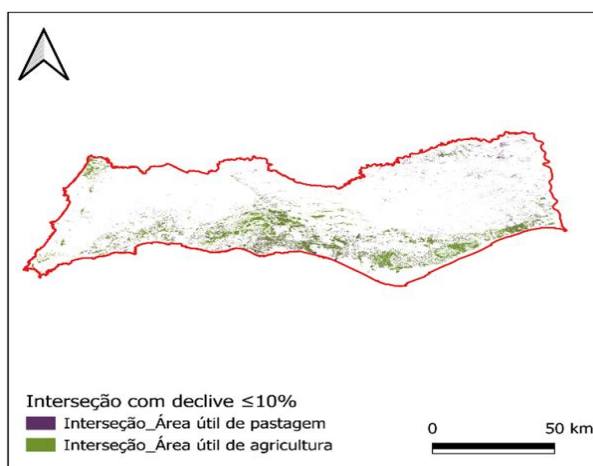


Figura 29: Mapa das áreas úteis (Pastagem e Agricultura) com declive inferior ou igual a 10%
Os mapas apresentados nas figuras anteriores sintetizam os resultados da implementação do modelo de análise multicritério para identificar as áreas com potencial para projetos agrovoltáicos sustentáveis.

6. Discussão dos resultados, região do Algarve

Com uma área total de aproximadamente 499,7 kha, a região do Algarve proporciona um ambiente físico e climático favorável à implementação de sistemas agrovoltáicos.

a. Área de agricultura

A área total destinada à agricultura na região é de 107,7 kha. Deste total:

- 21,4 kha estão sujeitos a restrições legais;
- 57,0 kha apresentam declive superior a 10%.

As áreas úteis de cada classe de declives são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Distribuição da área de agricultura e áreas úteis com base em restrições legais e declive para a região do Algarve.

Região	Total Área (kha) da região	Área de agricultura					
		Área total (kha)	Área (kha) afetada por restrição legal	Área útil (kha) Classe 1 – Ideal ($d \leq 3\%$)	Área útil (kha) Classe 2 – Bom ($3\% < d \leq 5\%$)	Área útil (kha) Classe 3 – Razoável ($5\% < d \leq 10\%$)	Área (kha) Classe 4 – Não é viável ($d > 10\%$)
Algarve	499,7	107,7	21,4	14,6	14,7	0,0	57,0

b. Área de Pastagem

A área total ocupada por pastagens é de 29,9 kha. Deste total:

- 8,3 kha estão sujeitos a restrições legais;
- 7,0 kha possuem declive superior a 10%.

As áreas úteis de cada classe de declives são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Distribuição da área de pastagem e áreas úteis com base em restrições legais e declive para a região do Algarve.

Região	Total Área (kha) da região	Área de pastagem					
		Área total (kha)	Área (kha) afetada por restrição legal	Área útil (kha) Classe 1 – Ideal ($d \leq 3\%$)	Área útil (kha) Classe 2 – Bom ($3\% < d \leq 5\%$)	Área útil (kha) Classe 3 – Razoável ($5\% < d \leq 10\%$)	Área (kha) Classe 4 – Não é viável ($d > 10\%$)
Algarve	499,7	29,9	8,3	3,4	11,2	0,0	7,0

c. Total da Área Elegível

A soma das áreas agrícolas e de pastagem totaliza 137,7 ha. Deste total:

- 29,7 kha estão sujeitos a restrições legais;
- 64,1 kha apresentam declive superior a 10%.

A área útil total disponível para instalação de sistemas agrovoltáicos é de:

- 18,1 kha para classe 1 ($d \leq 3\%$);
- 25,9 kha para classe 2 ($3\% < d \leq 5\%$);
- 0,0 kha para classe 3 ($5\% < d \leq 10\%$).

A Figura 30 apresenta a distribuição da área total (agricultura e pastagem) e áreas úteis com base em restrições legais e classes de declives para a região do Algarve.

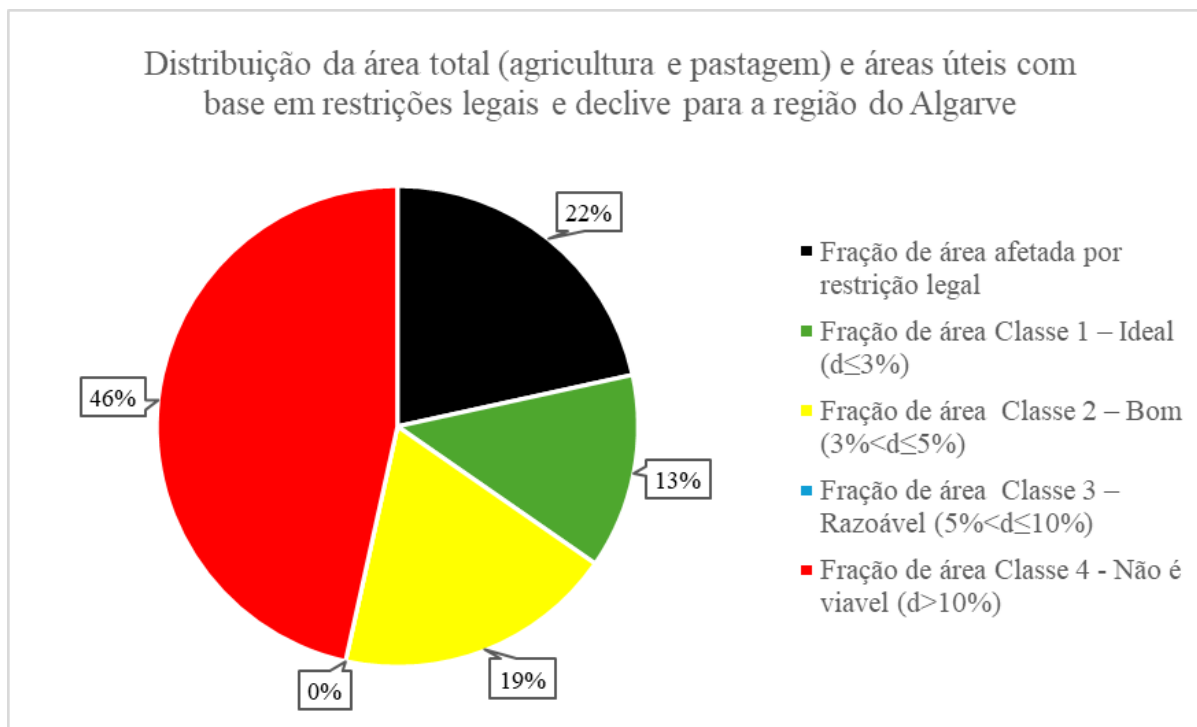


Figura 30: Distribuição da área total (agricultura e pastagem) e áreas úteis com base em restrições legais e classes de declives para a região do Algarve.

A distribuição da área total destinada à agricultura e pastagem no Algarve, considerando as restrições legais e o declive do terreno, evidencia diferenças significativas entre as classes de viabilidade.

- Classe 4 – Não é viável ($d > 10\%$) representa a maior fração da área total 46,0%, indicando que quase metade do território agrícola e de pastagem da região possui declives acentuados, inviabilizando a instalação de sistemas agrovoltaicos.
- Fração de área afetada por restrição legal corresponde a 22,0% da área total, o que revela a importância das condicionantes impostas por legislação legal (RAN, REN, Rede Natura 2000) na redução das áreas úteis aptas os sistemas agrovoltaicos.
- Classe 1 – Ideal ($d \leq 3\%$) representa 13,0% da área, sendo o grupo tecnicamente mais adequado para implantação de sistemas devido à baixa inclinação do terreno, embora sua extensão seja relativamente reduzida em comparação com as demais categorias.
- Classe 2 – Bom ($3\% < d \leq 5\%$) ocupa 19,0%, configurando-se como a segunda classe mais favorável para aproveitamento agrovoltaico, após a classe ideal.
- Classe 3 – Razoável ($5\% < d \leq 10\%$) não apresenta representação (0,0%), o que indica ausência de áreas úteis nesta faixa de declive na região analisada.

4.1.2. Região do Alentejo

1. Caracterização Geral da Região

O Alentejo, a maior região de Portugal Continental, ocupa uma área aproximada de 3,2 milhões de hectares. Apresenta planícies suaves, extensas áreas agrícolas e baixa densidade populacional, o que cria condições naturalmente favoráveis para a implementação de sistemas agrovoltaicos. Além disso, o Alentejo possui elevados níveis de radiação solar, com aproximadamente 2.000 a 2.100 kWh/m²/ano de GHI, de acordo com as medições do sistema IPMA/PVGIS. O que confirma o potencial desta região para combinar a produção fotovoltaica com atividades agrícolas (DGT, 2024; IPMA, 2023; Joint Research Centre (JRC), 2024).

A Figura 31 mostra a localização da região do Alentejo no território de Portugal Continental.



Figura 31: Localização da Região do Alentejo no contexto do território continental português

2. Mapa das Áreas Elegíveis

A avaliação da utilização do solo, baseada na Carta de Ocupação do Solo - COS 2023, permitiu o mapeamento das regiões aptas para sistemas agrovoltaicos, classificadas em duas categorias: pastagem e agricultura.

A Figura 32 mostra o mapa de distribuição das áreas elegíveis para a agricultura e pastagem no Alentejo:

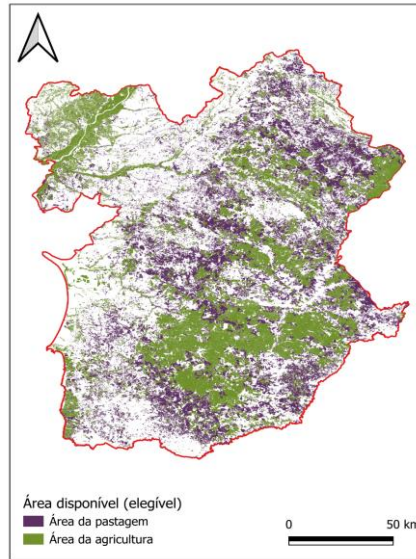


Figura 32: Mapa das áreas de Pastagem e Agricultura na região do Alentejo
Essas classes foram selecionadas por serem as áreas aptas para a continuidade da atividade agrícola sob coberturas solares, como demonstrado nos mapas elaborados no ambiente SIG.

3. Mapa das áreas com restrições legais

A exclusão das áreas afetadas por restrições legais foi efetuada, através da aplicação do filtro das camadas Rede Natura 2000, REN e RAN.

As Figuras 33 e 34 apresentam os mapas das áreas com restrições legais (Rede Natura 2000, REN e RAN).

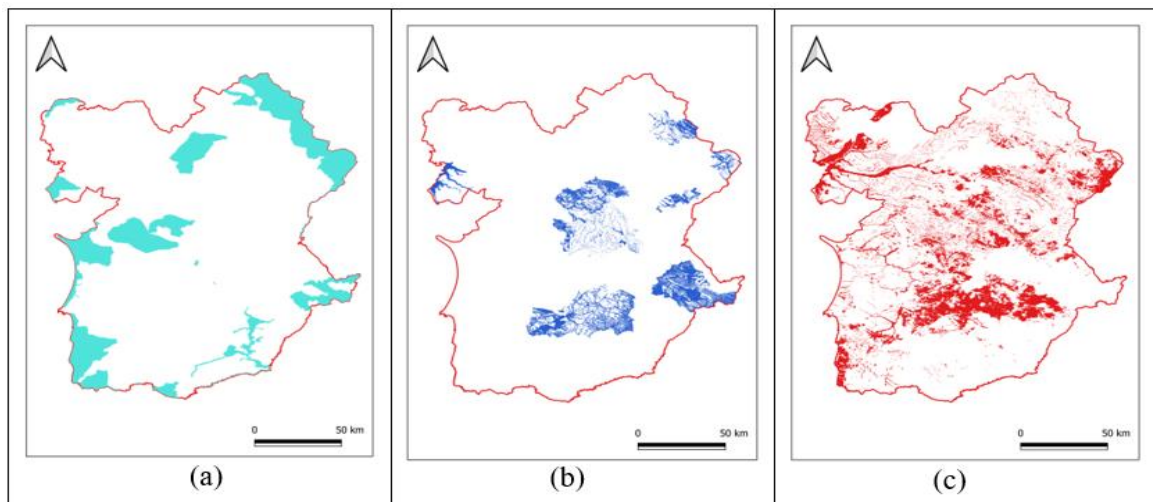


Figura 33: Mapa da Rede Natura 2000 (a); REN (b); e RAN (c)

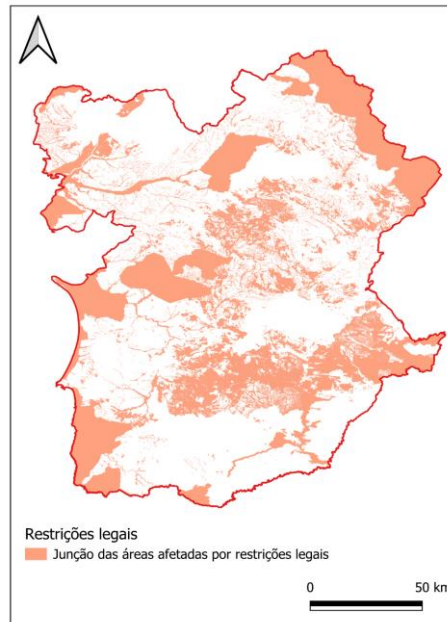


Figura 34: Sobreposição das áreas de restrição legais

4. Mapa do declive

A exclusão das áreas com declives superiores a 3%, 5%, 10% foi realizada utilizando os dados do MDE, onde identificamos regiões com três categorias de declive: $\leq 3\%$, $\leq 5\%$ e $\leq 10\%$

A Figura 35 ilustra a mapa de declive do terreno na região do Alentejo, categorizado em quatro faixas percentuais ($\leq 3\%$, $\leq 5\%$, $\leq 10\%$ e $>10\%$)

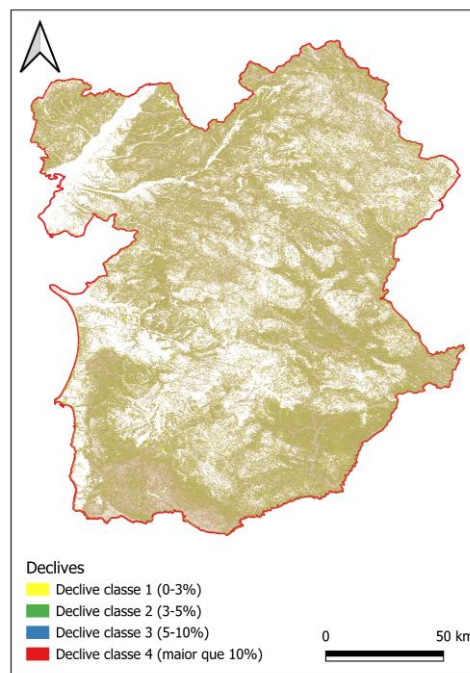


Figura 35: Mapa de declives de ($\leq 3\%$, $\leq 5\%$, $\leq 10\%$ e $>10\%$)

5. Mapa de Áreas Úteis

A definição das áreas úteis foi realizada por meio da combinação dos dois critérios de uso do solo: restrições legais e declive. Isso resultou num mapa que mostra as áreas úteis com declives de até 3% ,5% e 10%, respectivamente, por categoria.

As Figuras 36, 37 e 38 apresentam as áreas úteis de pastagem e agricultura na região do Alentejo, com declives de até 3%, 5% e 10%, respetivamente.

a. Mapa das áreas úteis com declive inferior ou igual a 3%

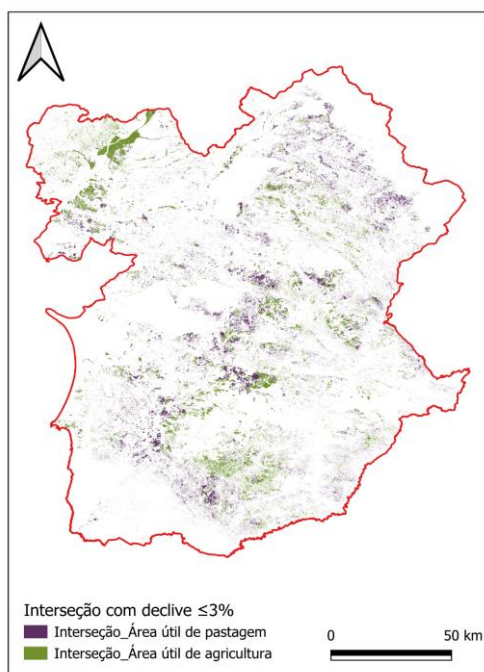


Figura 36: Mapa das áreas úteis (Pastagem e Agricultura) com declive inferior ou igual a 3%

b. Mapa das áreas úteis com declive inferior ou igual a 5%

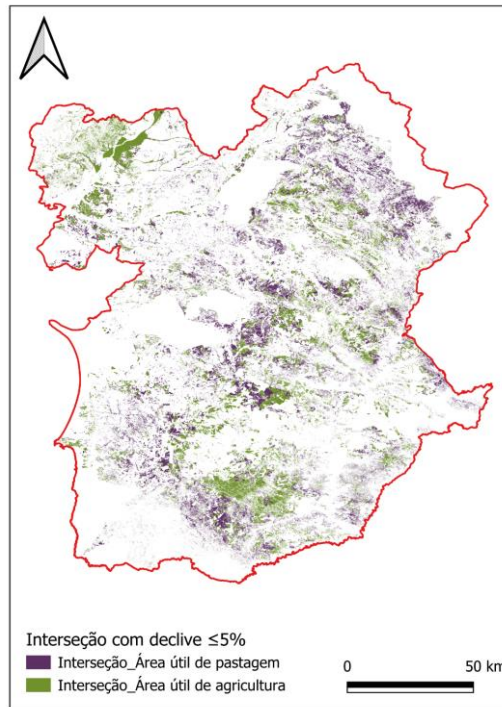


Figura 37: Mapa das áreas úteis (Pastagem e Agricultura) com declive inferior ou igual a 5%

c. Mapa das áreas úteis com declive inferior ou igual a 10%

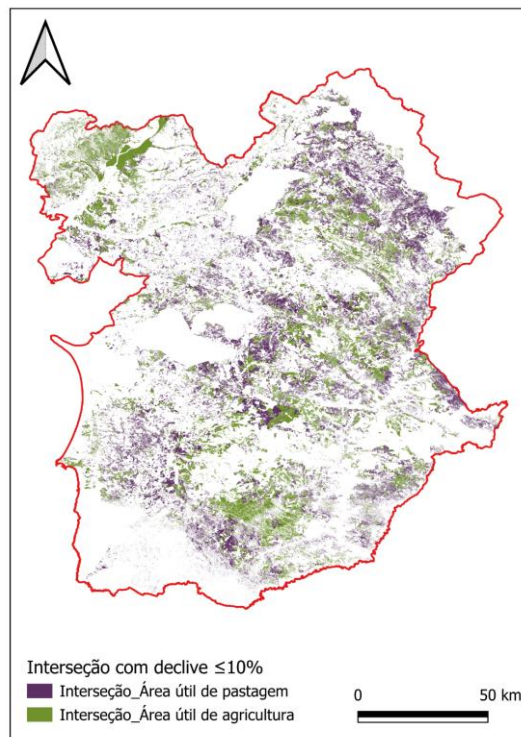


Figura 38: Mapa das áreas úteis (Pastagem e Agricultura) com declive inferior ou igual a 10%

6. Discussão dos Resultados, região do Alentejo

Com uma área total de cerca de 3160,5 kha, a região do Alentejo proporciona uma série de condições físicas, topográficas e climáticas muito propícias para a instalação de sistemas agrovoltáicos. A análise multicritério, fundamentada nos critérios de declive e restrições legais (RAN, REN e Rede Natura 2000), possibilitou a classificação das áreas aptas para a agricultura e pastagem em projetos agrovoltáicos, levando em conta três limites de declive ($\leq 3\%$, $\leq 5\%$ e $\leq 10\%$).

a. Área Agrícola

A área total destinada à agricultura na região é de 843,5 kha. Deste total:

- Áreas afetadas por restrições legais: 108,9 kha
- Áreas com declive superior a 10%: 398,4 kha

As áreas úteis de cada classe de declives são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4: Distribuição da área de agricultura e áreas úteis com base em restrições legais e declive para a região do Alentejo.

Região	Total Área (kha) da região	Área de agricultura					
		Área total (kha)	Área (kha) afetada por restrição legal	Área útil (kha) Classe 1 – Ideal ($d \leq 3\%$)	Área útil (kha) Classe 2 – Bom ($3\% < d \leq 5\%$)	Área útil (kha) Classe 3 – Razoável ($5\% < d \leq 10\%$)	Área (kha) Classe 4 – Não é viável ($d > 10\%$)
Alentejo	3160,5	843,5	108,9	138,4	86,3	111,5	398,4

b. Área de Pastagem

A área total ocupada por pastagens é de 707,6 kha no Alentejo. Deste total:

- Áreas afetadas por restrições legais: 69,8 kha
- Áreas com declive superior a 10%: 274,3 kha

As áreas úteis de cada classe de declives são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5: Distribuição da área de pastagem e áreas úteis com base em restrições legais e declive para a região do Alentejo

Região	Total Área (kha) da região	Área de Pastagem					
		Área total (kha)	Área (kha) afetada por restrição legal	Área útil (kha) Classe 1 – Ideal ($d \leq 3\%$)	Área útil (kha) Classe 2 – Bom ($3\% < d \leq 5\%$)	Área útil (kha) Classe 3 – Razoável ($5\% < d \leq 10\%$)	Área (kha) Classe 4 – Não é viável ($d > 10\%$)
Alentejo	3160,5	707,6	69,8	126,7	97,0	139,8	274,3

c. Total da Área Elegível

Considerando agricultura e pastagem, a área total é de 1551,2 kha.

- Áreas afetadas por restrições legais: 178,6 kha
- Áreas com declive superior a 10%: 672,7 kha

Portanto, a área total útil para implantação de agrovoltáicos é de:

- 265,1 kha para classe 1 ($d \leq 3\%$);
- 183,3 kha para classe 2 ($3\% < d \leq 5\%$);
- 251,3 kha para classe 3 ($5\% < d \leq 10\%$).

A Figura 39 apresenta a distribuição da área total (agricultura e pastagem) e áreas úteis com base em restrições legais e classes de declives para a região do Alentejo.

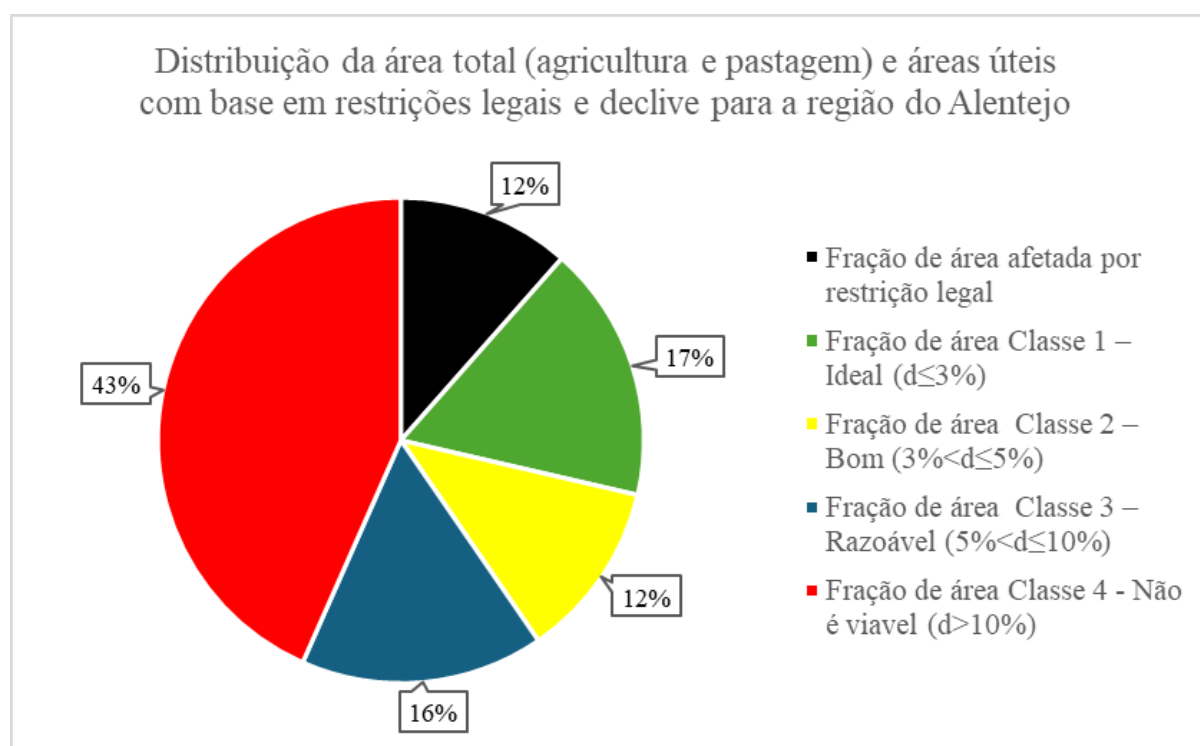


Figura 39: Distribuição da área total (agricultura e pastagem) e áreas úteis com base em restrições legais e classes de declives para a região do Alentejo.

A distribuição da área total destinada à agricultura e pastagem no Alentejo, considerando as restrições legais e o declive do terreno, evidencia diferenças significativas entre as classes de viabilidade.

- Classe 4 – Não é viável ($d > 10\%$) representa a maior fração da área total 43,0%, indicando que quase metade do território agrícola e de pastagem da região apresenta declives acentuados, o que limita a implementação de sistemas agrovoltáicos.
- A fração de área afetada por restrição legal corresponde a 12,0% da área total.

- A Classe 1 – Ideal ($d \leq 3\%$) representa 17,0% da área, constituindo a categoria tecnicamente mais favorável para implantação de sistemas, devido à baixa inclinação do terreno.
- A Classe 2 – Bom ($3\% < d \leq 5\%$) ocupa 12,0%, configurando-se como uma contribuição adicional relevante, embora menos expressiva que a classe ideal.
- A Classe 3 – Razoável ($5\% < d \leq 10\%$) apresenta 16,0%, evidenciando uma parcela considerável de terrenos com declive moderado, que podem ser utilizados para projetos agrovoltáicos.

4.1.3. Região de Lisboa Metropolitana

1. Caracterização Geral da Região

A área metropolitana de Lisboa, localizada na faixa ocidental do continente, inclui os distritos de Lisboa e uma parte do distrito de Setúbal. Com uma extensão total de cerca de 301,5 kha, essa região enfrenta uma intensa pressão urbana e industrial. No entanto, ainda preserva áreas agrícolas e pastagens, principalmente nas periferias do núcleo urbano.

A Figura 40 mostra a localização da área metropolitana de Lisboa no território continental português.

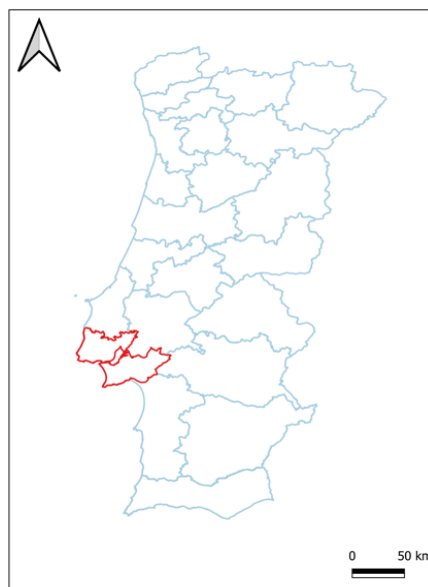


Figura 40: Localização da região de Lisboa Metropolitana no contexto do território continental português

2. Mapa das Áreas Elegíveis

A avaliação da Carta de Ocupação do Solo (COS 2023) permitiu identificar áreas elegíveis para agricultura e pastagem na região Lisboa Metropolitana, permitindo a implementação de sistemas agrovoltáicos. Apesar da urbanização acelerada, ainda há grandes extensões de terras agrícolas preservadas.

Na Figura 41 apresenta-se o mapa da distribuição das áreas elegíveis para a agricultura e pastagem na região Lisboa Metropolitana:

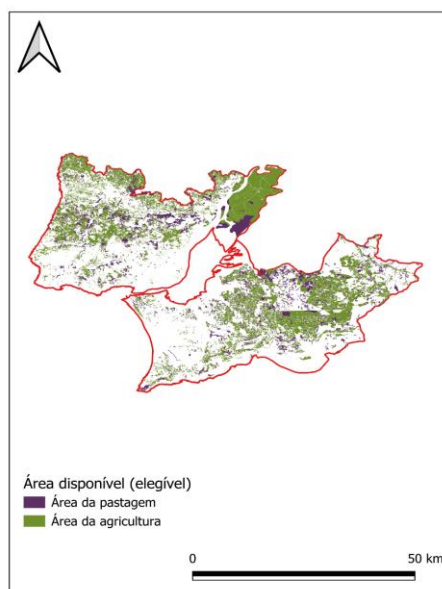


Figura 41: Mapa das áreas de Pastagem e Agricultura na região de Lisboa Metropolitana

3. Mapa das áreas com restrições legais

A exclusão das áreas afetadas por restrições legais foi realizada, aplicando o filtro das camadas Rede Natura 2000, REN e RAN para eliminar as áreas afetadas por estas restrições.

As Figuras 42 e 43 apresentam os mapas das restrições legais (Rede Natura 2000, REN e RAN).

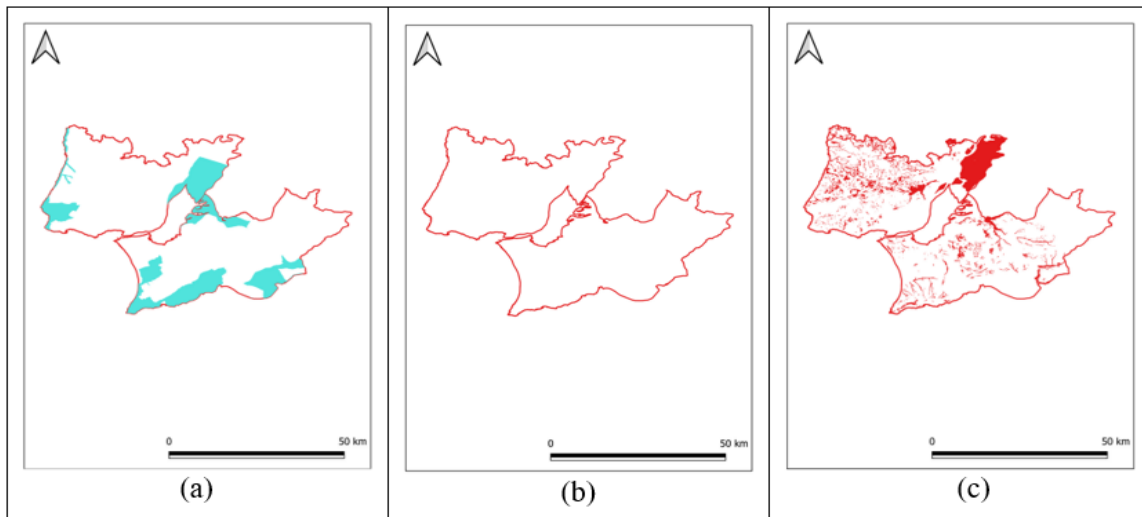


Figura 42: Mapa da Rede Natura 2000 (a); REN (b); e RAN (c)

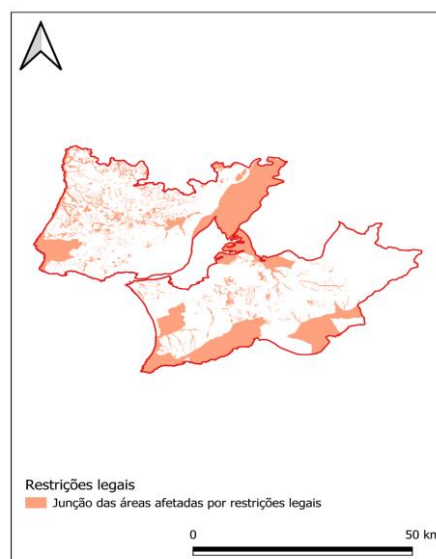


Figura 43: Sobreposição das áreas de restrição legais

A exclusão das áreas afetadas por restrições legais resultou na remoção de uma área de 13,4 kha da região inicialmente elegível para a implementação do sistema agrovoltaico. **Análise do Declive do Terreno**

A exclusão das áreas com declives superiores a 3% ,5% e 10% foi efetuada com base no Modelo Digital de Elevação (MDE). Dessa forma, foram identificadas as áreas com declives inferiores ou iguais a 3%, 5% e a 10% para a instalação de sistemas agrovoltaicos.

A Figura 44 apresenta o mapa de declive do terreno na área de Lisboa Metropolitana, classificadas em quatro faixas percentuais ($\leq 3\%$, $\leq 5\%$, $\leq 10\%$ e $>10\%$)

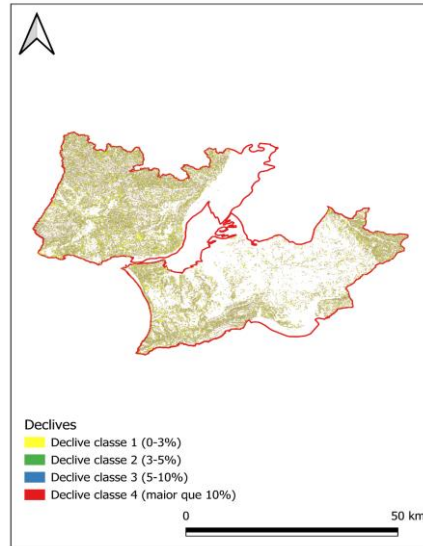


Figura 44: Mapa de declives de ($\leq 3\%$, $\leq 5\%$, $\leq 10\%$ e $>10\%$)

4. Mapa Síntese de Áreas Úteis

A integração dos dois critérios de uso do solo, restrições legais e declives foi realizada para determinar as áreas úteis. Isso resultou num mapa que mostra as áreas úteis com declives de até 3% ,5% e 10%.

As Figuras 45, 46 e 47 apresentam as áreas úteis das duas categorias analisadas: área de pastagem e agricultura na região metropolitana de Lisboa metropolitana, com declives iguais ou inferiores a 3% ,5% e 10%.

a. Mapa das áreas úteis com declive inferior ou igual a 3%

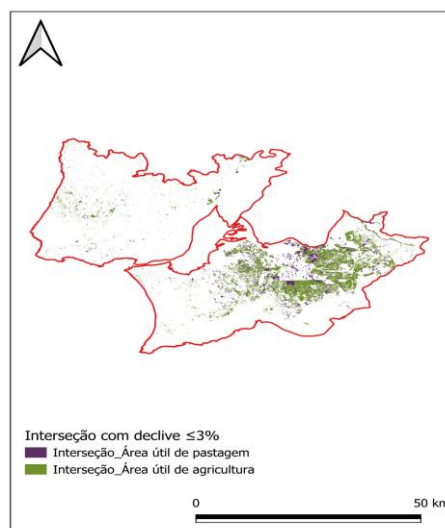


Figura 45: Mapa das áreas úteis (Pastagem e Agricultura) com declive inferior ou igual a 3%

b. Mapa das áreas úteis com declive inferior ou igual a 5%

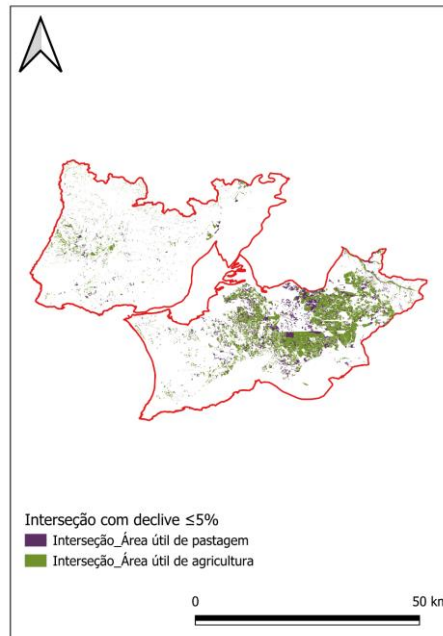


Figura 46: Mapa das áreas úteis (Pastagem e Agricultura) com declive inferior ou igual a 5%

c. Mapa das áreas úteis com declive inferior ou igual a 10%

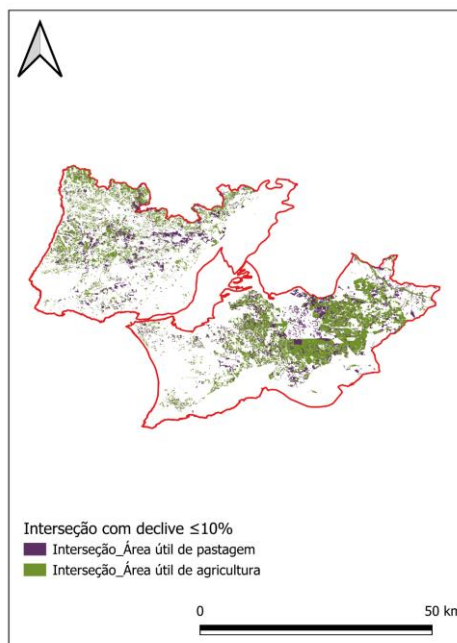


Figura 47: Mapa das áreas úteis (Pastagem e Agricultura) com declive inferior ou igual a 10%

5. Discussão dos resultados, região de Lisboa Metropolitana

Com uma extensão de cerca de 301,5 kha, a região metropolitana de Lisboa apresenta características urbanas e rurais. Apesar da alta densidade populacional e do elevado grau de

urbanização, ainda existem grandes áreas dedicadas à agricultura e pastagens periurbanas que possuem um potencial técnico viável para a implementação de sistemas agrovoltaicos.

Para determinar as áreas adequadas para a implementação de um sistema agrovoltaico, foi realizada uma análise multicritério. Isso incluiu a definição de áreas com declive de até 3%, 5% e 10%, respectivamente; a exclusão de áreas impactadas por restrições legais, como RAN, REN e Rede Natura 2000. Com base na COS 2023, foram então definidas as áreas adequadas para a agricultura e pastagem:

a. Área Agrícola

A área total elegível para agricultura corresponde a 79,2 kha. Deste total:

- Áreas afetadas por restrições legais: 1,3 kha
- Áreas com declive superior a 10%: 1,3 kha

As áreas úteis de cada classe de declives são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6: Distribuição da área de agricultura e áreas úteis com base em restrições legais e declive para a região Lisboa Metropolitana

Região	Total Área (kha) da região	Área de agricultura					
		Área total (kha)	Área (kha) afetada por restrição legal	Área útil (kha) Classe 1 – Ideal ($d \leq 3\%$)	Área útil (kha) Classe 2 – Bom ($3\% < d \leq 5\%$)	Área útil (kha) Classe 3 – Razoável ($5\% < d \leq 10\%$)	Área (kha) Classe 4 – Não é viável ($d > 10\%$)
Lisboa Metropolitana	301,5	79,2	1,3	24,8	4,9	46,9	1,3

b. Área de Pastagem

A área total elegível para pastagem é de 29,0 kha. Deste total:

- Áreas afetadas por restrições legais: 4,1 kha
- Áreas com declive superior a 10%: 5,2 kha

As áreas úteis de cada classe de declives são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7: Distribuição da área de pastagem e áreas úteis com base em restrições legais e declive para a região Lisboa Metropolitana

Região	Total Área (kha) da região	Área de Pastagem					
		Área total (kha)	Área (kha) afetada por restrição legal	Área útil (kha) Classe 1 – Ideal ($d \leq 3\%$)	Área útil (kha) Classe 2 – Bom ($3\% < d \leq 5\%$)	Área útil (kha) Classe 3 – Razoável ($5\% < d \leq 10\%$)	Área (kha) Classe 4 – Não é viável ($d > 10\%$)
Lisboa Metropolitana	301,5	29,0	4,1	8,5	2,1	9,2	5,2

c. Total da área elegível e áreas úteis

Somando agricultura e pastagem, a área total elegível corresponde a 108,2 kha.

Deste total:

- Áreas afetadas por restrições legais: 5,4 kha
- Áreas com declive superior a 10%: 6,5 kha

Portanto, a área total útil para implantação de agrovoltáicos é de:

- 33,2 kha para classe 1 ($d \leq 3\%$);
- 7,0 kha para classe 2 ($3\% < d \leq 5\%$);
- 56,1 kha para classe 3 ($5\% < d \leq 10\%$).

A Figura 48 apresenta a distribuição da área total (agricultura e pastagem) e áreas úteis com base em restrições legais e classes de declives para a região de Lisboa Metropolitana.

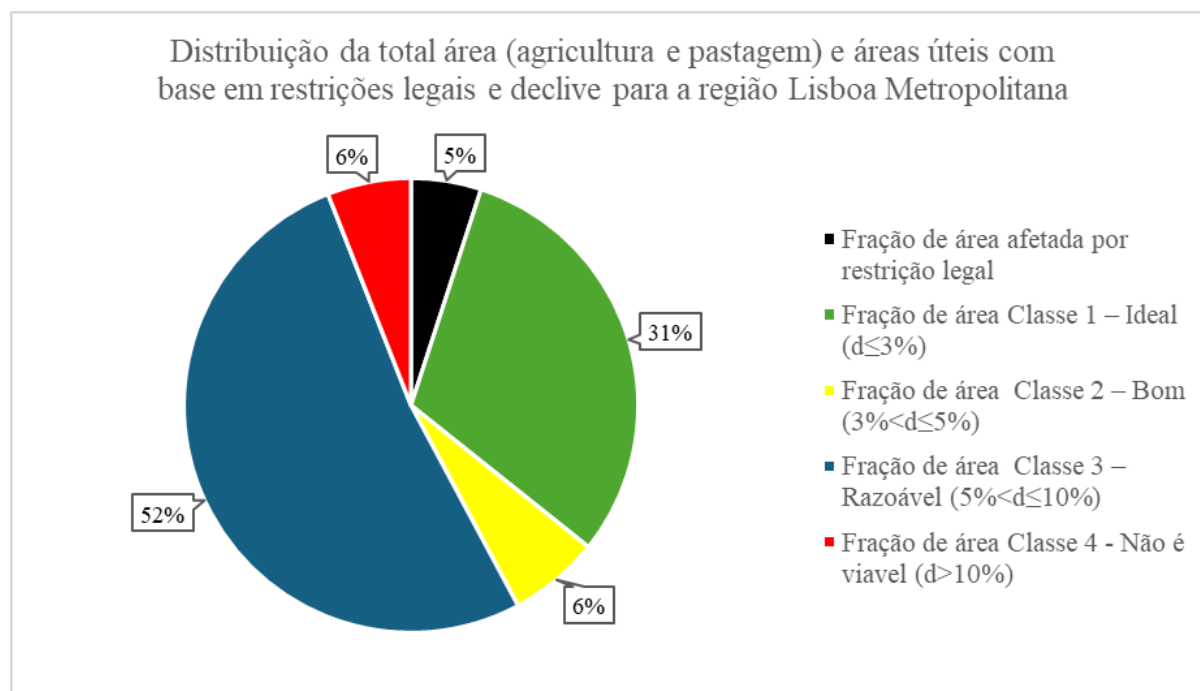


Figura 48: Distribuição da área total (agricultura e pastagem) e áreas úteis com base em restrições legais e classes de declives para a região de Lisboa Metropolitana.

A distribuição da área destinada à agricultura e pastagem na região de Lisboa Metropolitana, considerando as restrições legais e o declive do terreno, evidencia uma forte predominância de terrenos com inclinações moderadas a elevadas.

- A Classe 4 – Não é viável ($d > 10\%$) ocupa 6,0% da área, valor relativamente baixo em comparação com outras regiões.
- A fração de área afetada por restrição legal (RAN, REN e Rede Natura 2000) corresponde a 5,0%, indicando que o impacto das limitações ambientais e territoriais é relativamente reduzido na região, se comparado ao peso do critério topográfico.
- A Classe 1 – Ideal ($d \leq 3\%$) corresponde a 31,0%, constituindo uma proporção bastante expressiva, que reforça o potencial agrovoltaico da região em áreas planas e tecnicamente favoráveis.
- Já a Classe 2 – Bom ($3\% < d \leq 5\%$) apresenta 6,0%, contribuindo de forma complementar, embora pouco significativa no total regional.
- A Classe 3 – Razoável ($5\% < d \leq 10\%$) representa a maior parcela, correspondendo a 52,0% da área total, o que revela que mais da metade da superfície agrícola e de pastagem apresenta condições de inclinação que limitam parcialmente a implementação de sistemas agrovoltaicos, exigindo maior adaptação técnica.

4.1.4. Região Centro

1. Caracterização Geral da Região

A Região Centro de Portugal abrange uma vasta área de aproximadamente 2819,9 kha, exibindo uma diversidade paisagística que vai desde planícies agrícolas até áreas montanhosas. A região possui extensas áreas dedicadas à agricultura e pastagens, principalmente nas regiões internas e nos vales com maior potencial agrícola.

Conforme informações do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) e PVGIS, a radiação solar média anual varia de 1.700 a 2.000 kWh/m²/ano (GHI), o que cria condições favoráveis para combinar a produção fotovoltaica com o uso de terras agrícolas.

A Figura 49 mostra a localização da região Centro no âmbito do território de Portugal Continental.



Figura 49: Localização da região Centro no contexto do território continental português

2. Mapa das Áreas Elegíveis

A identificação de áreas de pastagem e agricultura, para análise do seu potencial para implementar um sistema agrovoltaico, foi realizada com base na Carta de Ocupação do Solo (COS 2023).

O mapa na Figura 50 mostra a distribuição das áreas ocupadas por agricultura e de pastagem na região Centro:

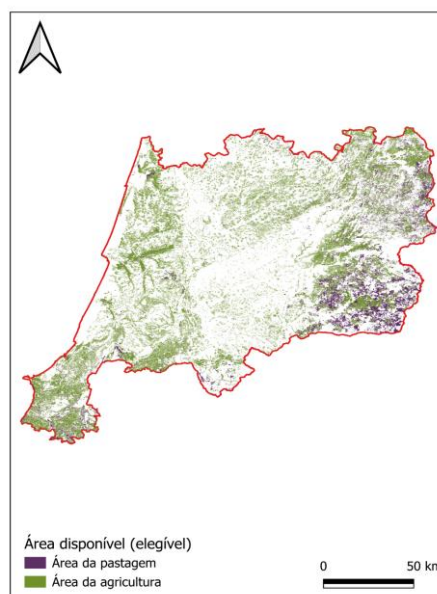


Figura 50: Mapa das áreas de Pastagem e Agricultura na região Centro

Essas duas categorias são associadas aos tipos de utilização de solo que permitem compatibilizar as atividades agrícolas com infraestruturas fotovoltaicas.

3. Mapa das áreas com restrições legais

À semelhança das outras regiões, as áreas afetadas pela Rede Natura 2000, RAN ou REN foram removidas das áreas úteis de pastagem e agricultura.

As Figura 51 e 52 são apresentados os mapas das áreas com restrições legais, a Rede Natura 2000, REN e RAN e a junção dos três, respectivamente.

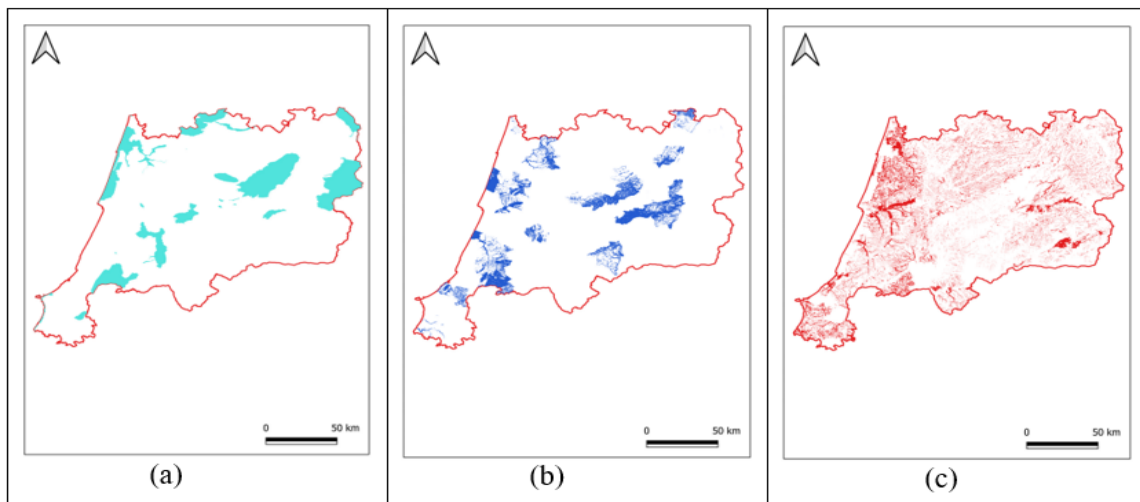


Figura 51: Mapa da Rede Natura 2000 (a); REN (b); e RAN (c)

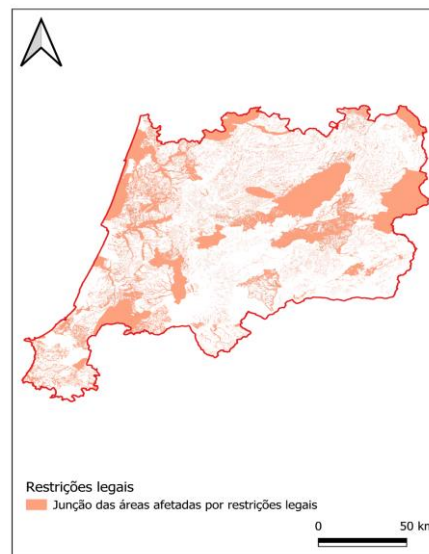


Figura 52: Sobreposição das áreas de restrição legal

4. Análise do Declive do Terreno

A partir do Modelo Digital de Elevação, foi possível excluir as áreas com declives superiores a 3% ,5% e a 10%, resultando nas áreas úteis desejadas. Para definir essas áreas úteis, consideraram-se como anteriormente três classes de declive do terreno: $d \leq 3\%$, $3\% < d \leq 5$ e $5 < d \leq 10\%$.

A Figura 53 é apresentada o mapa de declive do terreno na região do Centro, classificadas na quatro classe de declive considerados ($\leq 3\%$, ≤ 5 , $\leq 10\%$ e $>10\%$)

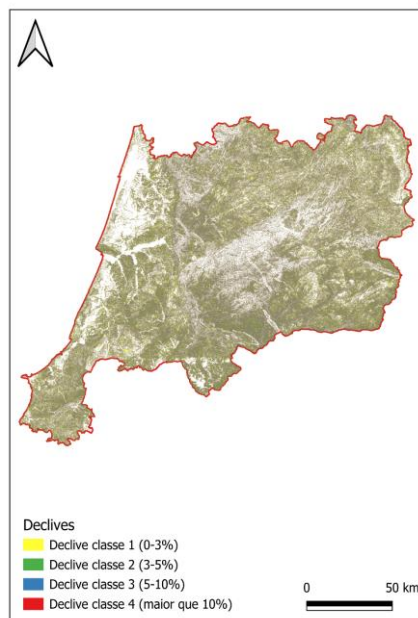


Figura 53: Mapa de declives de ($\leq 3\%$, ≤ 5 , $\leq 10\%$ e $>10\%$)

5. Mapa de áreas úteis

Ao excluir as áreas afetadas por restrições legais e declives superiores a 3%, 5% e 10%, obteve-se as áreas realmente úteis para sistemas agrovoltáicos.

As Figuras 54, 55 e 56 apresentam as áreas úteis de pastagem e agricultura na região Centro, com declives de até 3% ,5% e 10%, respectivamente.

a. Mapa das áreas úteis com declive inferior ou igual a 3%

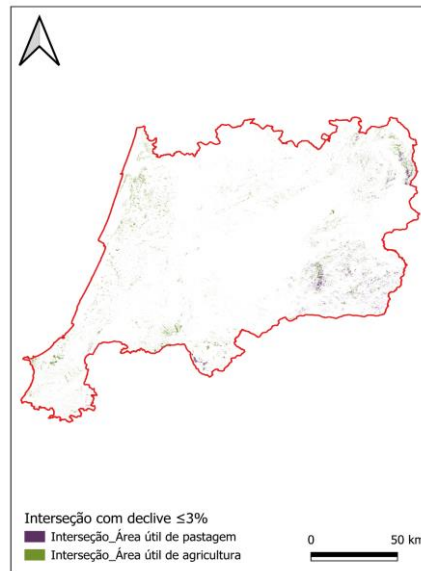


Figura 54; Mapa das áreas úteis (Pastagem e Agricultura) com declive inferior ou igual a 3%

b. Mapa das áreas úteis com declive inferior ou igual a 5%

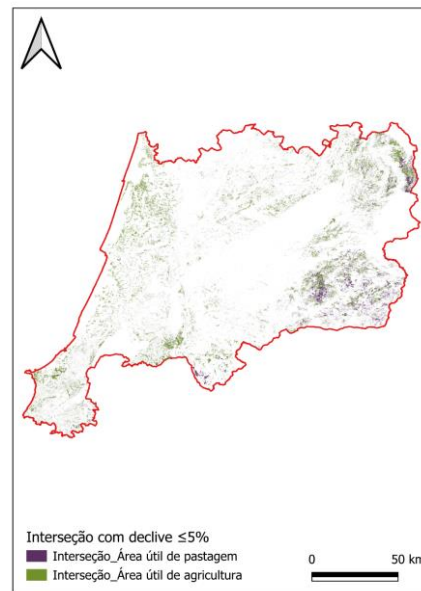


Figura 55: Mapa das áreas úteis (Pastagem e Agricultura) com declive inferior ou igual a 5%

c. Mapa das áreas úteis com declive inferior ou igual a 10%

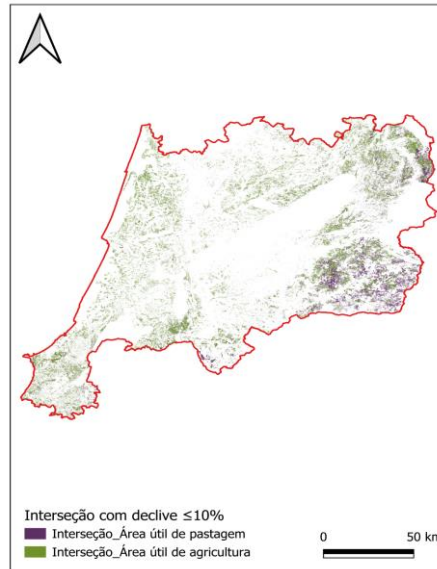


Figura 56: Mapa das áreas úteis (Pastagem e Agricultura) com declive inferior ou igual a 10%

6. Discussão dos Resultados, região Centro

Com uma extensão total de cerca de 2819,9 kha, a região Centro de Portugal exhibe uma configuração territorial diversificada, com vastas áreas agrícolas e regiões de relevo mais elevado, particularmente nas zonas interiores e montanhosas. A região apresenta condições significativas para a implementação de sistemas agrovoltaicos, especialmente nas áreas com declives mais suaves e com aptidão agrícola.

A análise multicritério, que avaliou as principais classes de uso do solo elegíveis (agricultura e pastagem), foi utilizada para determinar as áreas úteis, integrando restrições legais (RAN, REN e Rede Natura 2000) e declive dos terrenos ($\leq 3\%$, $\leq 5\%$ e $\leq 10\%$).

a. Área de Agricultura

A área total destinada à agricultura na região Centro é de 638,4 kha. Deste total:

- Áreas afetadas por restrições legais: 64,6 kha
- Áreas com declive superior a 10%: 357,7 kha

A distribuição das áreas úteis por classe de declive é apresentada na Tabela 8.

Tabela 8: Distribuição da área de agricultura e áreas úteis com base em restrições legais e declive para a região do Centro

Região	Total Área (kha) da região	Área de agricultura					
		Área total (kha)	Área (kha) afetada por restrição legal	Área útil (kha) Classe 1 – Ideal ($d \leq 3\%$)	Área útil (kha) Classe 2 – Bom ($3\% < d \leq 5\%$)	Área útil (kha) Classe 3 – Razoável ($5\% < d \leq 10\%$)	Área (kha) Classe 4 – Não é viável ($d > 10\%$)
Centro	2819,9	638,4	64,6	49,8	46,2	120,1	357,7

b. Área de Pastagem

A área total de pastagem na região é de 164,7 kha. Deste total:

- Áreas afetadas por restrições legais: 21,0 kha
- Áreas com declive superior a 10%: 61,3 kha

As áreas úteis de cada classe de declives são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9: Distribuição da área de pastagem e áreas úteis com base em restrições legais e declive para a região do Centro

Região	Total Área (kha) da região	Área de Pastagem					
		Área total (kha)	Área (kha) afetada por restrição legal	Área útil (kha) Classe 1 – Ideal ($d \leq 3\%$)	Área útil (kha) Classe 2 – Bom ($3\% < d \leq 5\%$)	Área útil (kha) Classe 3 – Razoável ($5\% < d \leq 10\%$)	Área (kha) Classe 4 – Não é viável ($d > 10\%$)
Centro	2819,9	164,7	21,0	18,0	19,2	45,3	61,3

c. Total da Área Elegível

Somando agricultura e pastagem, a área total elegível na região Centro é de 803,1 kha. Deste total:

- Áreas afetadas por restrições legais: 85,5 kha
- Áreas com declive superior a 10%: 419,0 kha

Portanto, a área total útil para implantação de sistemas agrovoltaicos é de:

- 67,8 kha para classe 1 ($d \leq 3\%$);
- 65,4 kha para classe 2 ($3\% < d \leq 5\%$);
- 165,4 kha para classe 3 ($5\% < d \leq 10\%$).

A Figura 57 apresenta a distribuição da área total (agricultura e pastagem) e áreas úteis com base em restrições legais e classes de declives para a região do Centro.

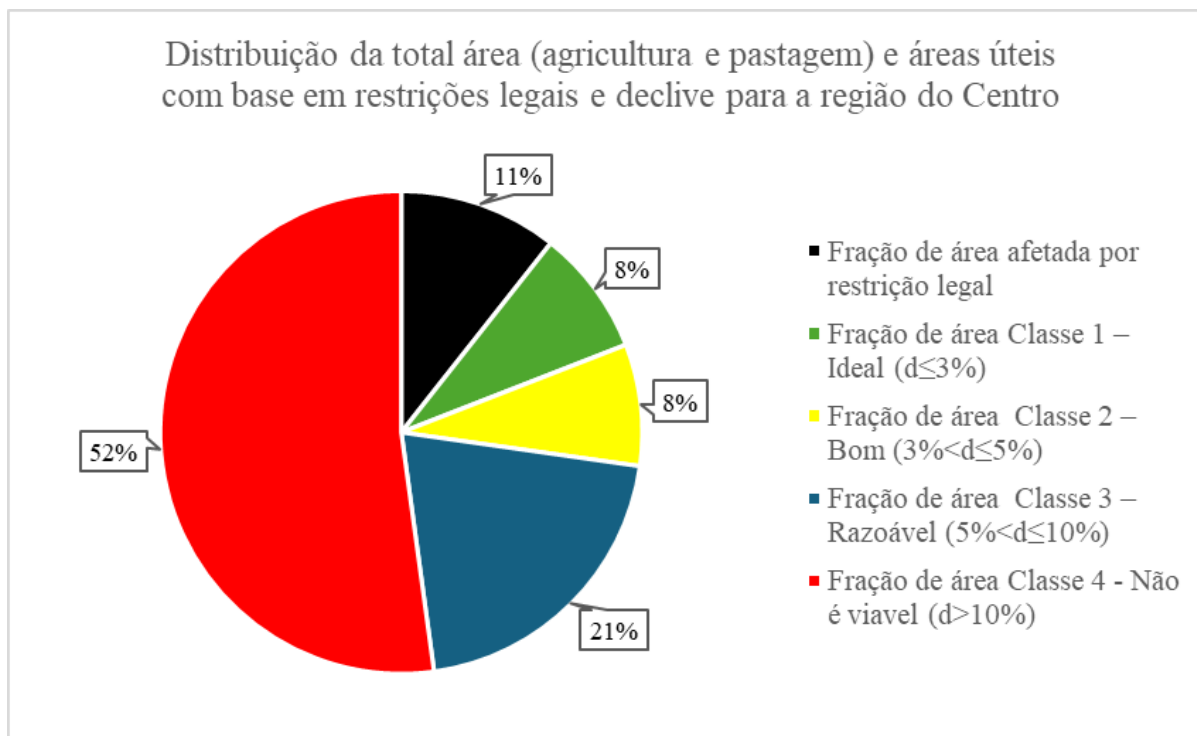


Figura 57: Distribuição da área total (agricultura e pastagem) e áreas úteis com base em restrições legais e classes de declives para a região do Centro.

A distribuição da área agrícola e de pastagem na região Centro, considerando as restrições legais e a topografia do terreno.

- A Classe 4 – Não é viável ($d > 10\%$) corresponde a 52,0% da área total, o que indica que mais da metade do território apresenta declives acentuados que inviabilizam a instalação de sistemas agrovoltáicos, constituindo o principal fator limitante da região.
- A fração de área afetada por restrição legal (RAN, REN e Rede Natura 2000) atinge 11,0%, demonstrando que, além do condicionamento topográfico, os fatores legais e de ordenamento territorial exercem também uma influência significativa no aproveitamento da região.
- A Classe 1 – Ideal ($d \leq 3\%$) representa apenas 8,0% da superfície agrícola e de pastagem.
- A Classe 2 – Bom ($3\% < d \leq 5\%$) perfaz 8,0%, valor pouco expressivo, mas que se soma à Classe 1, totalizando 16,5% de áreas tecnicamente viáveis (planas e suavemente inclinadas).
- A Classe 3 – Razoável ($5\% < d \leq 10\%$) ocupa 20,6%, refletindo um peso significativo de terrenos com inclinações moderadas, que ainda assim apresentam condicionantes técnicas importantes para a implementação de painéis fotovoltaicos.

4.1.5. Região Norte

1. Caracterização Geral da Região

A Região Norte de Portugal abrange uma área territorial de cerca de 2128,6 kha. É caracterizada por uma geografia montanhosa no interior e por vales férteis destinados à agricultura.

A média anual da radiação solar global horizontal (GHI) varia entre 1.400 e 1.700 kWh/m²/ano, valores um pouco abaixo da média nacional, porém ainda adequados para a utilização de energia fotovoltaica em conjunto com atividades agrícolas.

A Figura 58 mostra a localização da região Norte no território continental português.



Figura 58: Localização da região Norte no contexto do território continental português

2. Mapa das Áreas Elegíveis

Com base na Carta de Ocupação do Solo de 2023 (COS 2023), foram estabelecidas as áreas elegíveis para pastagem e agricultura na região Norte.

O mapa (Figura 59) apresenta as áreas elegíveis para pastagem e agricultura na região Norte:

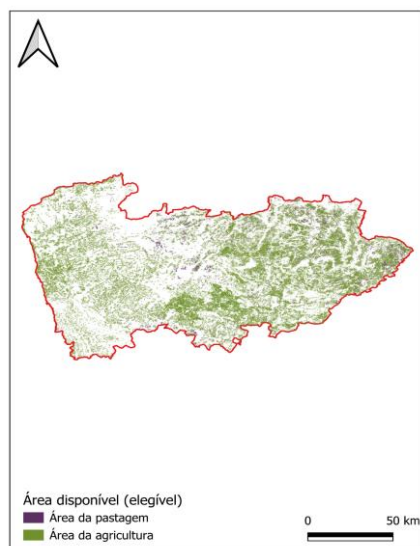


Figura 59: Mapa das áreas de Pastagem e Agricultura na região do Norte

3. Mapa das áreas com restrições legais

As regiões afetadas à Rede Natura 2000, RAN ou REN foram removidas da área elegível para instalações agrovoltáicas devido à sua proteção legal.

As figuras 60 e 61 apresentam os mapas das restrições legais, incluindo a Rede Natura 2000, REN e RAN e a junção dos três, respectivamente.

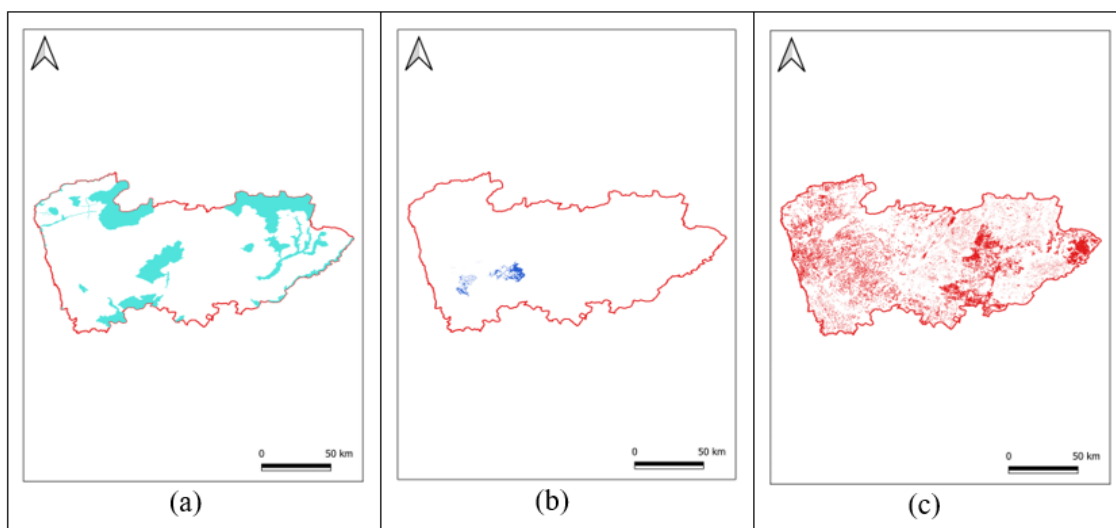


Figura 60: Mapa da Rede Natura 2000 (a); REN (b); e RAN (c)

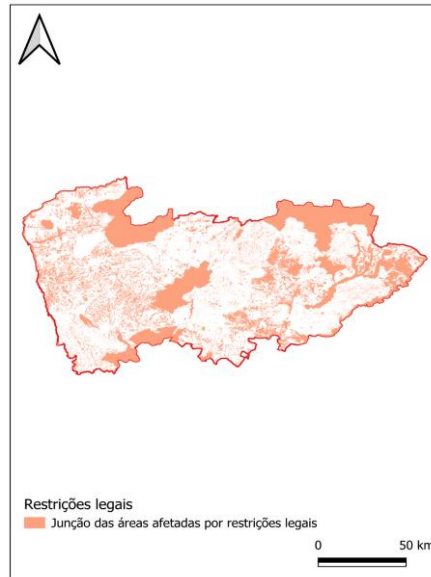


Figura 61: Sobreposição das áreas de restrição legal

4. Análise do Declive do Terreno

A identificação das áreas com declive até 3%, 5% e 10% foi efetuada utilizando o Modelo Digital de Elevação. Essa análise possibilitou a classificação do declive do terreno, de acordo com os intervalos de interesse para projetos agrovoltáicos já definidos.

A Figura 62 apresenta o mapa de declive do terreno na região Norte, dividido entre as quatro classes estabelecidas.

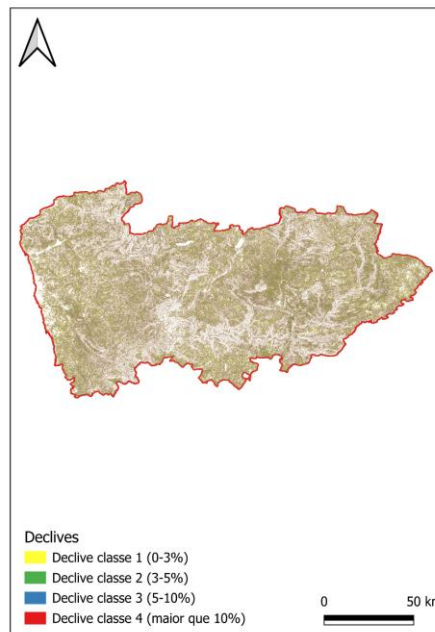


Figura 62: Mapa de declives de ($\leq 3\%$, $\leq 5\%$, $\leq 10\%$ e $>10\%$)

5. Mapa de Áreas Úteis

A determinação das áreas viáveis para o sistema agrovoltaico na região Norte foi efetuada através da sobreposição dos mapas de uso do solo, restrições legais e declives.

As Figuras 63, 64 e 65 apresentam as áreas úteis de pastagem e agricultura na região Norte, com declives de até 3% ,5% e 10%, respectivamente.

a. Mapa das áreas úteis com declive inferior ou igual a 3%

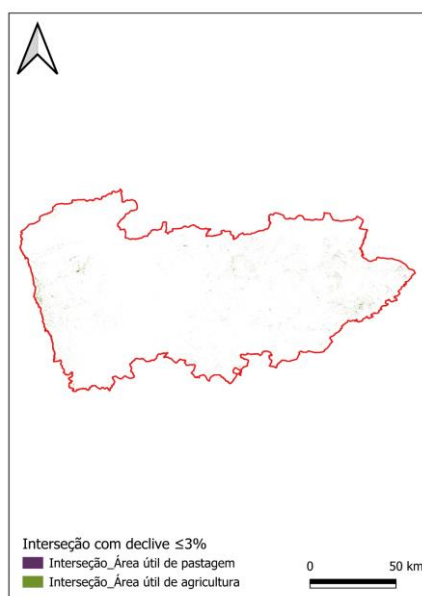


Figura 63: Mapa das áreas úteis (Pastagem e Agricultura) com declive inferior ou igual a 3%

b. Mapa das áreas úteis com declive inferior ou igual a 5%

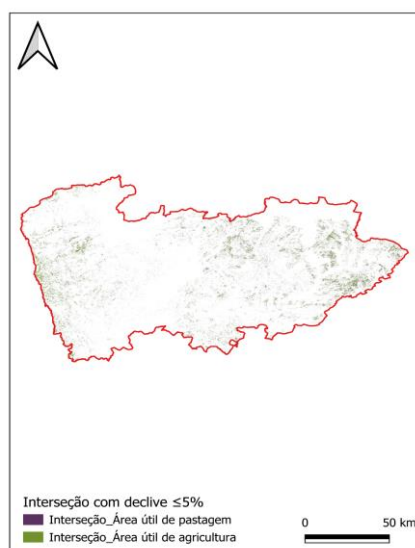


Figura 64: Mapa das áreas úteis (Pastagem e Agricultura) com declive inferior ou igual a 5%

c. Mapa das áreas úteis com declive inferior ou igual a 10%

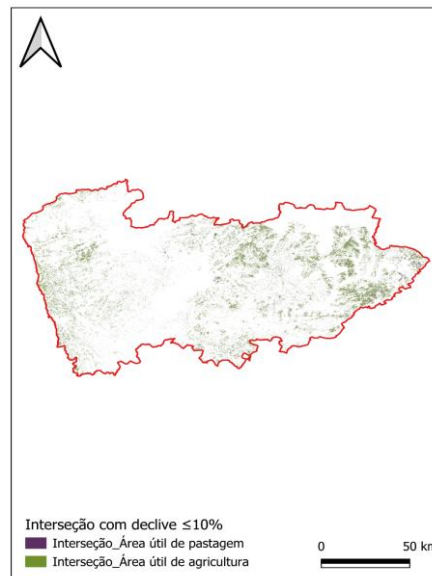


Figura 65: Mapa das áreas úteis (Pastagem e Agricultura) com declive inferior ou igual a 10%

6. Discussão dos Resultados – Região Norte

Com uma extensão total de cerca de 21286 kha, a Região Norte de Portugal é caracterizada por uma orografia consideravelmente acidentada, com grandes elevações e áreas de relevo irregular. Apesar dessas limitações naturais, é possível identificar regiões com potencial para a instalação de sistemas agrovoltaicos, especialmente em áreas agrícolas com declives mais suaves.

Na análise multicritério, que foi aplicada às áreas de agricultura e pastagem, levou-se em consideração o declive do terreno, e as principais restrições legais (RAN, REN e Rede Natura 2000) para determinar as áreas viáveis para projetos agrovoltaicos na região Norte.

a. Área Agrícola

A área agrícola total na região é de 620,1 kha. Deste total:

- Áreas afetadas por restrições legais: 65,2 kha
- Áreas com declive superior a 10%: 441,1 kha

As áreas úteis de cada classe de declives são apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10: Distribuição da área de agricultura e áreas úteis com base em restrições legais e declive para a região Norte

Região	Total Área (kha) da região	Área de agricultura					
		Área total (kha)	Área (kha) afetada por restrição legal	Área útil (kha) Classe 1 – Ideal ($d \leq 3\%$)	Área útil (kha) Classe 2 – Bom ($3\% < d \leq 5\%$)	Área útil (kha) Classe 3 – Razoável ($5\% < d \leq 10\%$)	Área (kha) Classe 4 – Não é viável ($d > 10\%$)
Norte	2128,6	620,1	65,2	17,2	20,0	76,6	441,1

b. Área de Pastagem

A área total destinada à pastagem é de 53,2 kha. Deste total:

- Áreas afetadas por restrições legais: 15,4 kha
- Áreas com declive superior a 10%: 27,2 kha

As áreas úteis de cada classe de declives são apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11: Distribuição da área de pastagem áreas úteis com base em restrições legais e declive para a região Norte

Região	Total Área (kha) da região	Área de Pastagem					
		Área total (kha)	Área (kha) afetada por restrição legal	Área útil (kha) Classe 1 – Ideal ($d \leq 3\%$)	Área útil (kha) Classe 2 – Bom ($3\% < d \leq 5\%$)	Área útil (kha) Classe 3 – Razoável ($5\% < d \leq 10\%$)	Área (kha) Classe 4 – Não é viável ($d > 10\%$)
Norte	2128,6	53,2	15,4	1,5	2,1	7,0	27,2

c. Total da área elegível

A área total (agricultura e pastagem) elegível é de 673,4 kha. Deste total:

- Áreas afetadas por restrições legais: 80,7 kha
- Áreas com declive superior a 10%: 468,4 kha

Portanto, a área total útil para implantação de sistemas agrovoltáicos é de:

- 18,7 kha para classe 1 ($d \leq 3\%$);
- 22,1 kha para classe 2 ($3\% < d \leq 5\%$);
- 83,6 kha para classe 3 ($5\% < d \leq 10\%$).

A Figura 66 apresenta a distribuição da área total de agricultura e pastagem, da região Norte, de acordo com as restrições legais, e classes de declives.

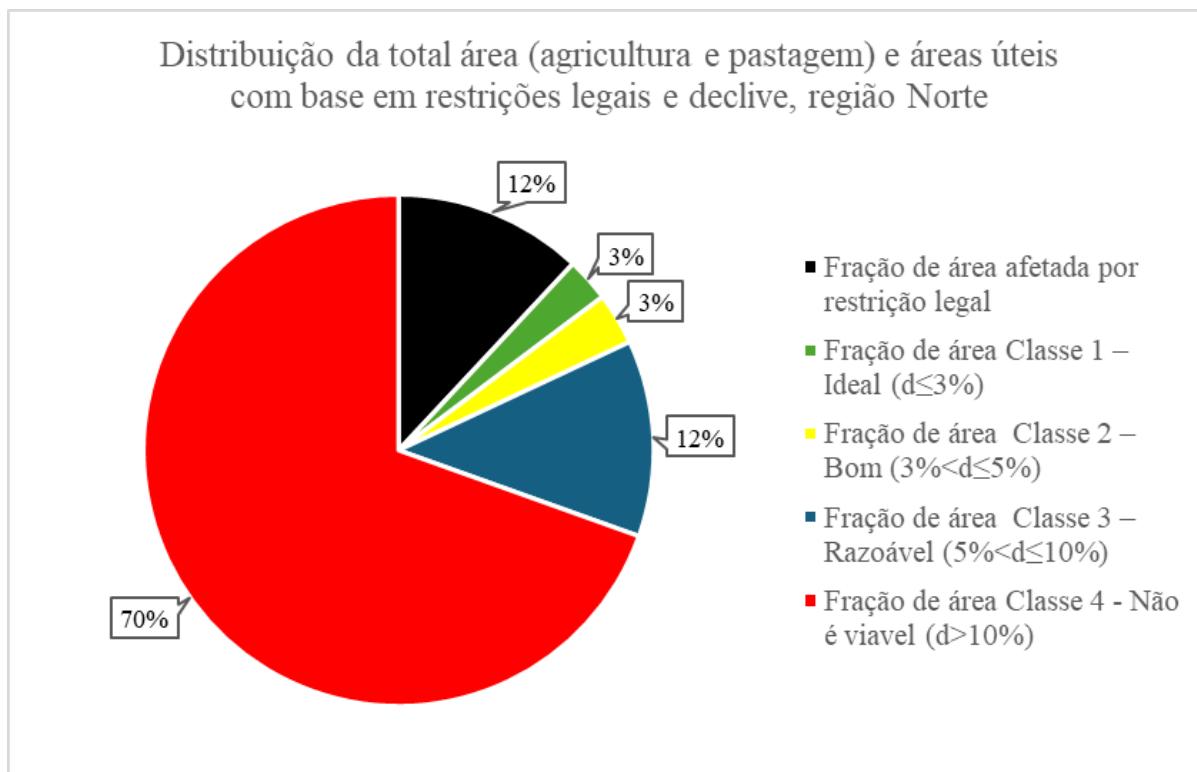


Figura 66: Distribuição da área total (agricultura e pastagem) e áreas úteis com base em restrições legais e classes de declives para a região do Norte.

A análise da aptidão agrovoltaica da região Norte evidencia fortes limitações impostas pela topografia, refletindo-se numa predominância de terrenos pouco adequados para este tipo de sistema.

- A Classe 4 – Não é viável ($d > 10\%$) representa 70,0% da área total, o que confirma que a maior parte do território apresenta declives elevados, inviabilizando a instalação de sistemas fotovoltaicos em associação com a atividade agrícola.
- A fração de área afetada por restrição legal (RAN, REN e Rede Natura 2000) corresponde a 12,0%, acrescentando uma camada adicional de limitação à disponibilidade de áreas aptas.
- As áreas tecnicamente mais favoráveis são bastante limitadas: a Classe 1 – Ideal ($d \leq 3\%$) corresponde a apenas 3,0%, enquanto a Classe 2 – Bom ($3\% < d \leq 5\%$) atinge 3,0%. Em conjunto, estas classes totalizam 6,0%, valor reduzido em comparação a outras regiões, o que reforça a escassez de terrenos planos ou suavemente inclinados no Norte.
- A Classe 3 – Razoável ($5\% < d \leq 10\%$) ocupa 12,4% do território, valor expressivo, mas ainda condicionado por inclinações significativas que aumentam os custos de infraestrutura e dificultam as operações agrícolas.

4.1.6. Discussão dos resultados

A análise geoespacial realizada mostrou uma significativa variação regional na disponibilidade de áreas aptas para a instalação de sistemas agrovoltáicos em Portugal Continental. A combinação de diversos fatores uso do solo (agricultura e pastagem), inclinação dos terrenos, e restrições legais (Reserva Agrícola Nacional, Reserva Ecológica Nacional e Rede Natura 2000) possibilitou uma identificação mais precisa das áreas com viabilidade técnica para a implementação de sistemas fotovoltaicos integrados às atividades agropecuárias.

Essa estratégia integrada permite uma avaliação territorial mais robusta, fornecendo suporte consistente para o planeamento e a tomada de decisões na execução de projetos agrovoltáicos. Ao considerar simultaneamente todos estes fatores, aumenta-se a precisão na identificação de áreas adequadas, o que favorece a elaboração de soluções sustentáveis, eficazes e que estejam em conformidade com as características regionais.

4.1.6.1. Área afetada por restrições legais (RN2000, RAN e REN)

A análise das áreas agrícolas e de pastagem afetadas por limitações legais (Rede Natura 2000, RAN e REN) revela uma distribuição desequilibrada entre as regiões estudadas (Figura 67).

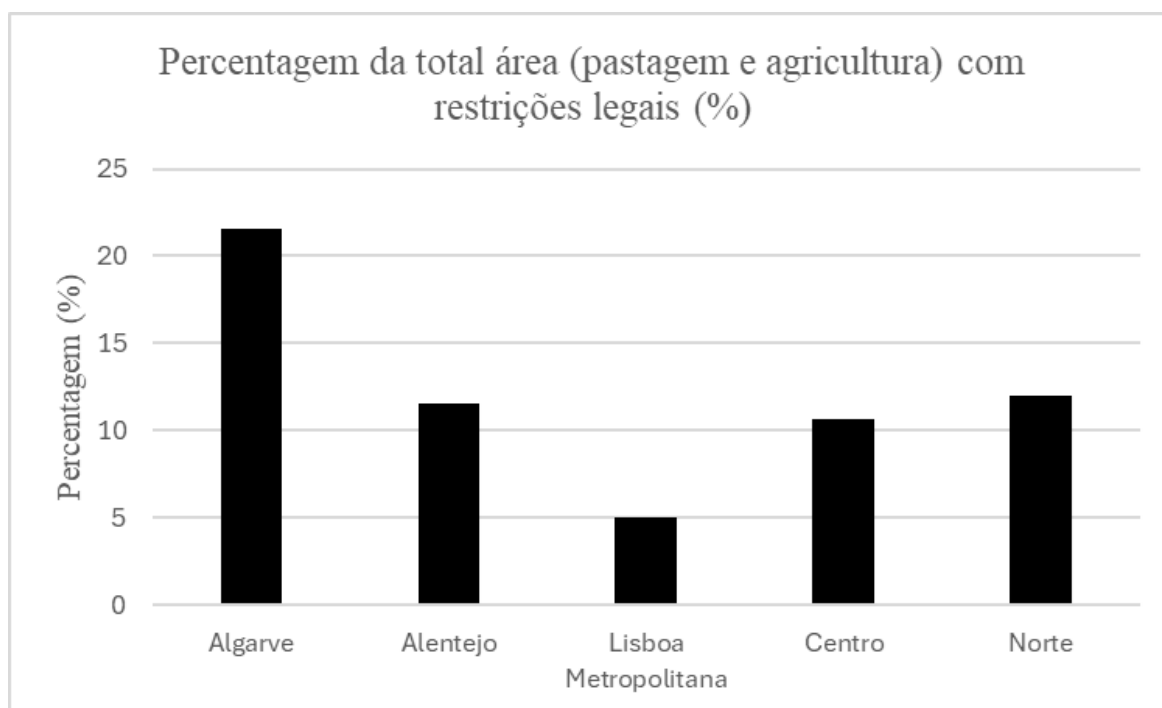


Figura 67: Percentagem de área de agricultura e de pastagem afetada por restrições legais (Rede Natura 2000, RAN e REN) em relação a área elegível de cada região.

A análise da percentagem da área de agricultura e de pastagem afetada por restrições legais (Rede Natura 2000, RAN e REN) em Portugal Continental mostra variações regionais significativas. A Figura 67 mostra a distribuição destas áreas:

- Algarve apresenta a maior percentagem de área impactada, com 22%, refletindo a forte presença de zonas de proteção ambiental na região.
- Alentejo e Norte registam ambos 12% de área condicionada, indicando limitações moderadas.
- O Centro apresenta 11%.
- Lisboa Metropolitana tem a menor percentagem, com apenas 5% da área agrícola e de pastagem sujeita a restrições legais.

4.1.6.2. Área de pastagem e agricultura com declive >10%

A análise das áreas agrícolas e de pastagem excluídos por terem por declives superiores a 10% indica que existem restrições topográficas significativas para a implementação de sistemas agrovoltáicos em Portugal Continental. As áreas de agricultura e de pastagem localizadas em terrenos com declive superior a 10% foram excluídas da análise por considerar que estes terrenos não adequados a projetos agrovoltáicos.

A Figura 68 mostra a percentagem da área total de agricultura e pastagem com declive superior a 10% em cada região do continente português.

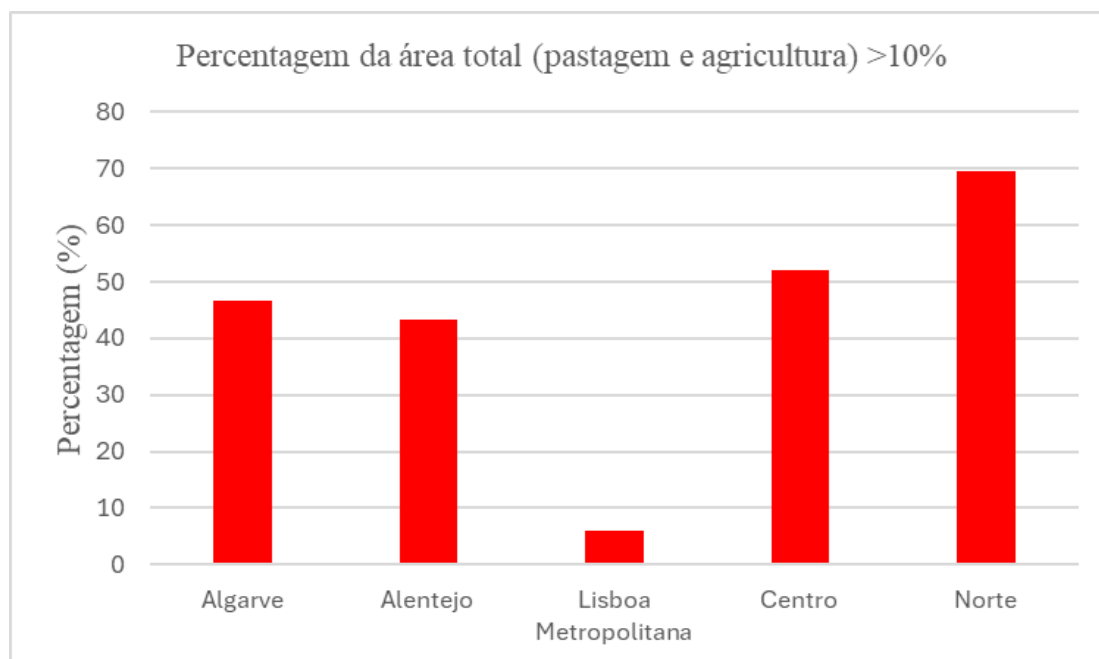


Figura 68: Percentagem da total área de agricultura e pastagem >10%

Observa-se que o Norte apresenta a maior área de exclusão (69,9%), refletindo a forte presença de relevo acentuado nesta região. Seguem-se o Centro (51,6%) e o Algarve (46,6%), ambos com valores também elevados. O Alentejo regista 43,0%, enquanto a área Metropolitana de Lisboa apresenta a menor percentagem de exclusão (6,1%).

A adoção de critérios mais rigorosos, como um declive inferior a 3%, está em conformidade com estudos técnicos que destacam a necessidade de assegurar a acessibilidade para máquinas agrícolas, estabilidade das estruturas e maximização da radiação incidente (Amaducci et al., 2018; Sekiyama & Nagashima, 2019). Em contrapartida, pesquisas internacionais, como as dos Estados Unidos da América (EPA & NREL, 2022) afirmam que inclinações de 5% até 10% ainda são adequadas para a instalação de painéis fotovoltaicos convencionais com fundações fixas.

Assim, ao definir o critério de declive, é necessário considerar o equilíbrio entre viabilidade técnica, custo de instalação e integração agrícola, levando em consideração o tipo de exploração rural e o modelo agrovoltáico utilizado.

4.1.6.3. Análise das áreas úteis das três classes de declive

Determinar a área útil com base no critério de declive é essencial para identificar regiões com maior viabilidade para a instalação de sistemas agrovoltáicos. A Figura 69 mostram a distribuição regional da área total (agrícolas e de pastagem) com três classes de declive (classe 1, $d \leq 3\%$; classe 2, $3\% < d \leq 5\%$ e classe 3, $5\% < d \leq 10\%$), que são consideradas adequadas para projetos agrovoltáicos em Portugal Continental.

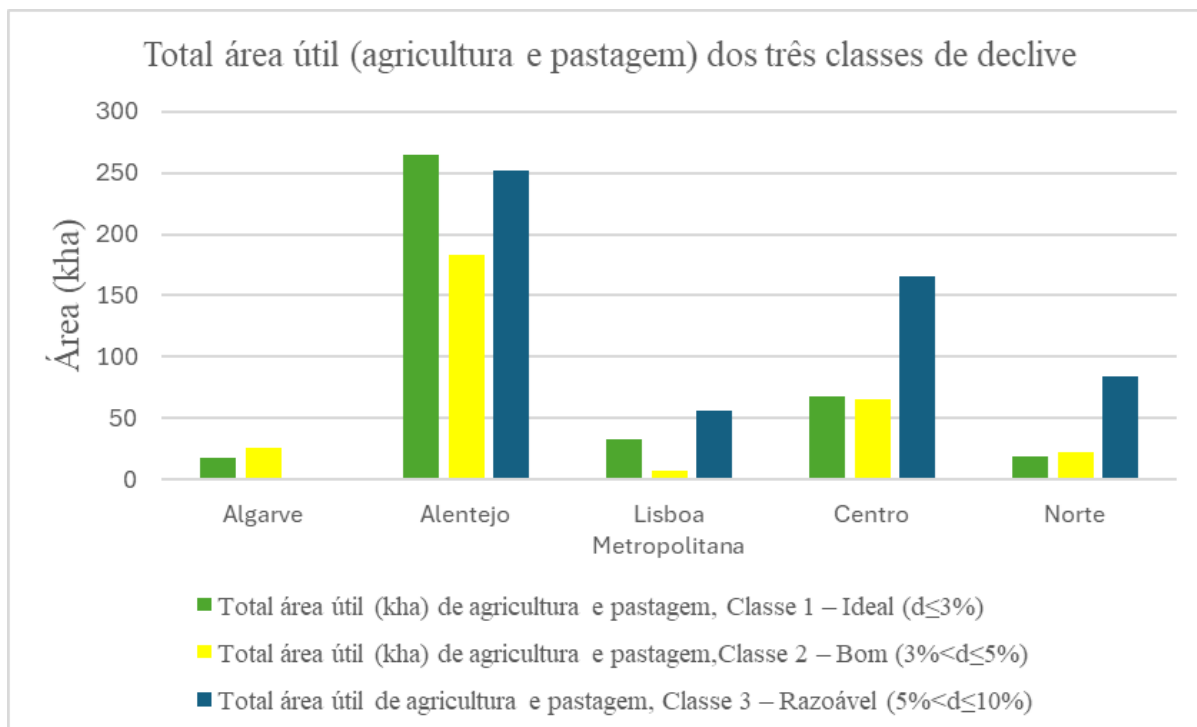


Figura 69: Área útil de agricultura e pastagem correspondente às três classes de declive.

A Figura 69 indica que, no Algarve, a disponibilidade da área para implementação de agrovoltáico é bastante restrita comparando com as outras regiões, com 18,1 mil hectares da classe 1 ($d \leq 3\%$), considerada ideal para implementação de projetos agrovoltáicos e 25,8 mil hectares da classe 2 ($3\% < d \leq 5\%$), considerada como boa, não havendo qualquer área da classe 3 ($5\% < d \leq 10\%$).

O Alentejo destaca-se como a região com maior potencial, tendo uma área total de terrenos considerados ideais (classe 1) para projetos agrovoltáicos de 265,1 mil hectares, 183,3 mil hectares da classe 2 categorizada como uma área boa e 251,4 mil hectares na classe 3 (a área razoável). Assim, o Alentejo não apenas tem uma ampla disponibilidade de áreas planas, mas também um número significativo de terrenos com declives suaves e razoáveis, reforçando o papel estratégico desta região no desenvolvimento do agrovoltáico em Portugal.

Na região de Lisboa Metropolitana, os valores são mais reduzidos: na classe que é a ideal para projetos agrovoltáicos oferece uma área total de 33,2 mil hectares, na classe 2 disponibiliza uma área total de 7,1 mil hectares, e 56,0 mil hectares na Classe 3.

A região do Centro apresenta um perfil mais equilibrado, com 67,8 mil hectares na classe 1 (área ideal para projetos agrovoltáicos), 65,4 mil hectares na classe 2 e 165,3 mil hectares na classe 3.

E por fim, o Norte evidencia uma menor disponibilidade das áreas úteis sobretudo nas classes 1 e 2, sendo a área de classe 1 de 18,7 mil hectares, e 22,1 mil hectares na classe 2. A classe que corresponde a terrenos com um potencial razoável é a que possui uma área mais elevada com 83,6 mil hectares. Embora menos expressiva em áreas planas, esta região tem um potencial relevante em áreas de classe 3.

Podemos notar que o Alentejo concentra o maior potencial em todas as classes de declive, seguido pelo Centro, cuja disponibilidade se destaca na Classe 3. O Norte e Lisboa Metropolitana apresentam potenciais mais modestos, enquanto o Algarve se evidencia pela menor representatividade do seu potencial, com áreas úteis bastante restritas em todas as classes.

A análise dos três limites de declive evidencia o impacto direto do critério topográfico na elegibilidade das áreas. O limite de 3% facilita a instalação e manutenção dos sistemas, permitindo a continuidade da atividade agrícola entre os painéis, um aspeto fundamental dos projetos agrovoltáicos (Amaducci et al., 2018). Entretanto, o critério de 5% e 10% amplia consideravelmente o número de opções, sem comprometer a viabilidade técnica em diversas situações, de acordo com estudos do NREL e da EPA, que indicam declives de até 5–10% como aceitáveis para instalações solares em solo (EPA & NREL, 2022).

Portanto, a definição do critério deve ser ajustada de acordo com o tipo de sistema agrovoltáico, a cultura agrícola e a estratégia de integração energia-agricultura utilizada. Regiões como o Alentejo, que têm uma topografia adequada e uma intensa atividade agrícola, destacam-se pelo elevado potencial para a implementação de projetos agrovoltáicos.

A utilização conjunta dos critérios permitiu a identificação de áreas com real viabilidade técnica, contribuindo para a criação de um planeamento territorial mais eficiente e sustentável. A utilização das ferramentas de SIG provou ser fundamental para a determinação exata dessas regiões, oferecendo uma ferramenta robusta para respaldar as políticas públicas de transição energética e planeamento territorial.

Em resumo, esta análise geoespacial enfatiza a importância de considerar simultaneamente fatores ambientais, legais e técnicos ao escolher locais para projetos agrovoltáicos, garantindo um equilíbrio entre a produção de energia renovável, a proteção ambiental e a valorização do solo agrícola.

4.2. Cálculo do potencial da capacidade de instalação de energia fotovoltaica e de produção de energia anual e análise dos resultados

A determinação do potencial de produção de energia é um passo fundamental na análise do potencial técnico de sistemas agrovoltaicos, possibilitando a quantificação da capacidade de produção de energia elétrica das áreas consideradas tecnicamente viáveis. Neste subcapítulo, apresenta-se a metodologia utilizada para determinar o potencial da capacidade de instalação de energia fotovoltaica, expressa em quilowatt-pico (kWp), com base na área útil identificada em cada região. A análise abrange diversos cenários de aplicação, comparando configurações aéreas (elevadas) e interespaciais (entre fileiras de culturas), além de considerar diferentes condições topográficas, com declives máximos de $\leq 3\%$, $\leq 5\%$ e $\leq 10\%$. Essa metodologia pretende considerar as especificidades do terreno e dos sistemas de montagem, possibilitando uma avaliação mais precisa da capacidade da instalação no contexto agrovoltaico.

4.2.1. Cálculo do potencial da capacidade de instalação de energia fotovoltaica e de produção de energia anual nas áreas úteis (Declives $\leq 3\%$, $\leq 5\%$ e $\leq 10\%$)

- Cálculo do potencial da capacidade de instalação de energia fotovoltaica e de produção de energia da configuração aérea

Para determinar o número de painéis FVs que é possível instalar num determinado terreno, obteve-se o quociente inteiro entre a área deste terreno e a área de um painel FV (equação 1e 2) foram utilizadas para calcular o potencial da capacidade de instalação de energia fotovoltaica nas regiões identificadas como adequadas (áreas úteis) com a configuração aérea e a estimativa da produção de energia para cada região foi simulado no PVSyst.

$$Nm = \text{Int}\left(\frac{Au}{Am}\right) \quad (\text{Eq1})$$

$$PPE = Nm * Pm \quad (\text{Eq2})$$

Tendo em conta que foram utilizados módulos bifaciais de 655 Wp, com dimensões de 1,303 × 2,384 m (área de 3,106 m² (Trinasolar, 2016), assumindo uma cobertura máxima do terreno de 35%, é possível instalar 1.125 módulos numa área de 10.000 m², o que resulta numa potência total instalada de 736,9 kWp (0,736 MWp). A estimativa da produção de energia anual para cada região, obtida com o software PVSyst.

As Figuras 70 e 71 mostram a distribuição do potencial da capacidade de instalação de energia fotovoltaica e a produção de energia anual com configuração aérea por região e por classe de declive.

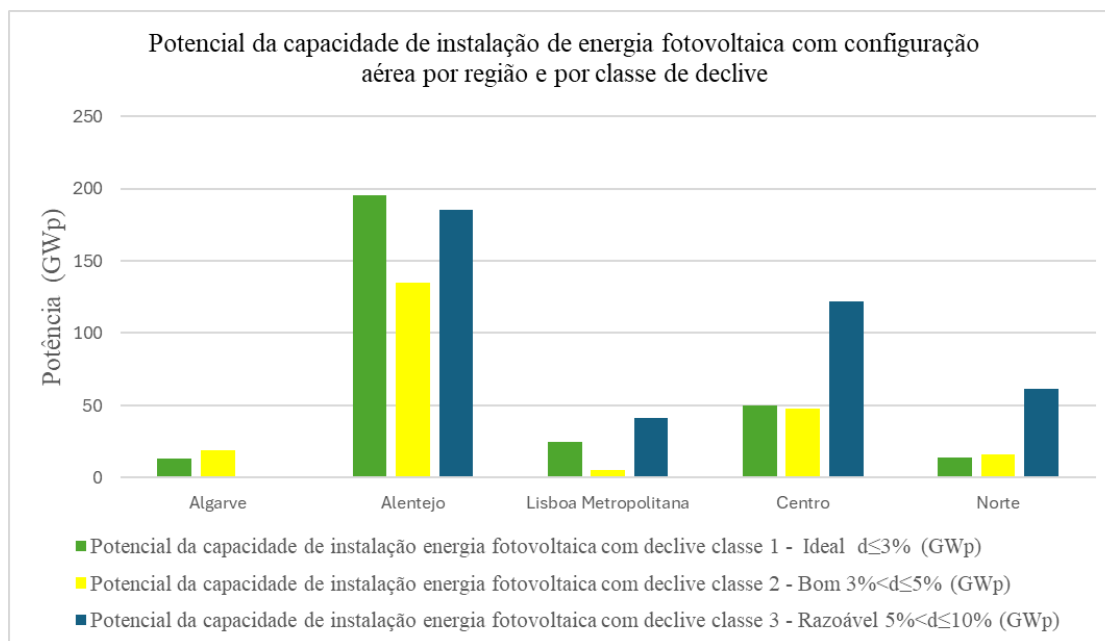


Figura 70: Potencial da capacidade de instalação de energia fotovoltaica de cada região nas áreas úteis (declive classe 1, 2 e 3) com configuração aérea

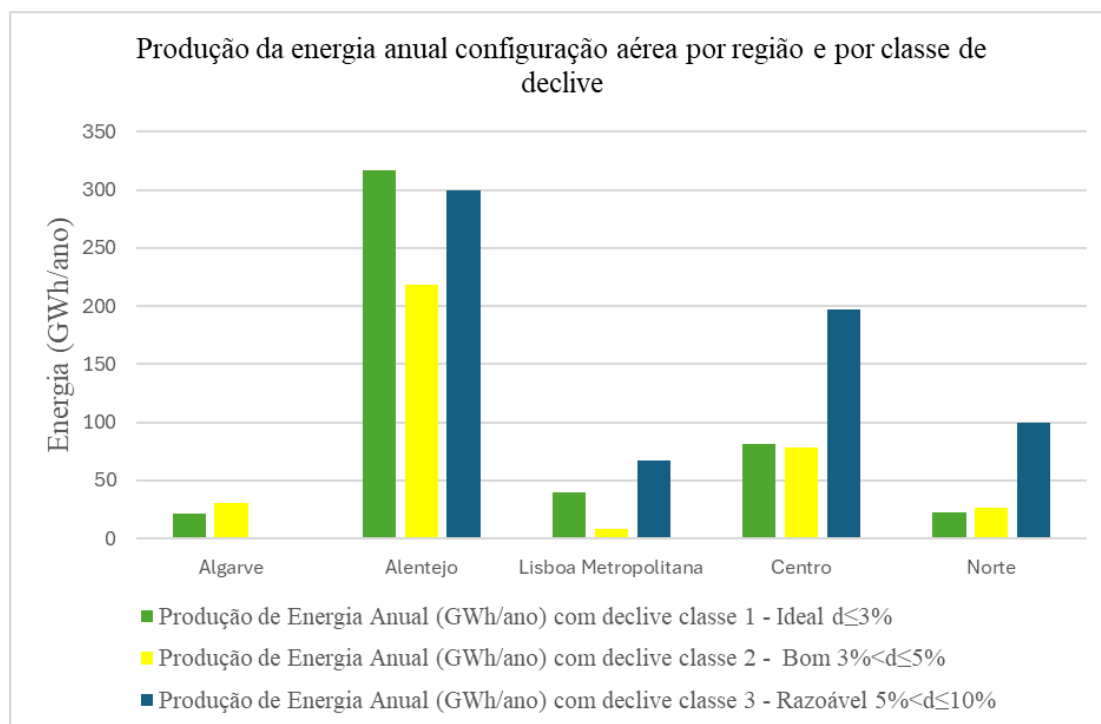


Figura 71: Produção da energia anual de cada região nas áreas úteis (declive classe 1, 2 e 3) com configuração aérea

As Figuras 70 e 71 apresentam a análise da capacidade de instalação de energia fotovoltaica e da produção anual de energia com configuração aérea em Portugal Continental revela variações significativas entre as regiões e as diferentes classes de declive.

❖ Algarve

- Declive classe 1: 13 GWp de capacidade de instalação de energia fotovoltaica e a produção de energia anual de 22 GWh/ano.
- Declive classe 2: 19 GWp de capacidade de instalação de energia fotovoltaica e a produção de energia anual de 31 GWh/ano.
- Declive classe 3: 0 GWp de capacidade de instalação de energia fotovoltaica e a produção de energia anual de 0 GWh/ano.

O Algarve tem uma capacidade moderada, mas proporcionalmente elevada em relação à sua área, destacando-se pelo potencial em terrenos com declive até 5%.

❖ Alentejo

- Declive classe 1: 195 GWp de capacidade de instalação e a produção anual de 316 GWh/ano.
- Declive classe 2: 135 GWp de capacidade de instalação e a produção anual de 219 GWh/ano.
- Declive classe 3: 185 GWp de capacidade de instalação e a produção anual de 300 GWh/ano.

O Alentejo concentra a maior capacidade de instalação fotovoltaica e produção anual, representando o maior potencial nacional devido à sua vasta extensão territorial e terrenos com baixa inclinação.

❖ Lisboa Metropolitana

- Declive classe 1: 24 GWp de capacidade de instalação e a produção anual de 40 GWh/ano.
- Declive classe 2: 5 GWp de capacidade de instalação e a produção anual de 8 GWh/ano.
- Declive classe 3: 41 GWp de capacidade de instalação e a produção anual de 67 GWh/ano.

A região apresenta crescimento significativo no potencial à medida que se aumenta a classe de declive, refletindo a menor disponibilidade de terrenos planos.

❖ Centro

- Declive classe 1: 50 GWp de capacidade de instalação e a produção anual de 81 GWh/ano.
- Declive classe 2: 48 GWp de capacidade de instalação e a produção anual de 78 GWh/ano.
- Declive classe 3: 122 GWp de capacidade de instalação e a produção anual de 197 GWh/ano.

O Centro destaca-se como a segunda região com maior potencial, especialmente quando considerados terrenos com declive de até 10%.

❖ Norte

- Declive classe 1: 14 GWp de capacidade de instalação e a produção anual de 22 GWh/ano.
- Declive classe 2: 16 GWp de capacidade de instalação e a produção anual de 26 GWh/ano.
- Declive classe 3: 62 GWp de capacidade de instalação e a produção anual de 100 GWh/ano.

Apesar de apresentar um relevo mais acidentado, o Norte demonstra grande incremento de potencial à medida que a inclinação máxima permitida aumenta.

Estender a área útil ao expandir o critério de declive de 3% para 5% e, posteriormente, para 10% gera ganhos consideráveis na potência instalada em todas as regiões, com destaque para o Alentejo e o Centro. Esses resultados reforçam a importância de critérios de elegibilidade mais flexíveis para otimizar a utilização energética das áreas disponíveis, especialmente em regiões com topografia variada, onde admitindo limite de inclinação mais elevado viabiliza tecnicamente determinados terrenos para a instalação de sistemas agrovoltáicos.

- Cálculo do potencial da capacidade de instalação de energia fotovoltaica e de produção de energia da configuração interespaial

A equação 2, mostrada a seguir, foi utilizada para calcular o potencial da capacidade de instalação de energia fotovoltaica nas regiões identificadas como áreas úteis com a configuração interespaial:

$$PPE = Nm * Pm \quad (Eq2)$$

Para estimar a produção de energia anual das áreas úteis com declives de até 3%, 5% e 10%, levando em consideração a configuração interespacial, foi efetuada uma simulação no software PVSyst. Após realizar a simulação em PVSyst, descobrimos que há um total de 651 módulos instalados por hectare. Isso resulta numa capacidade de instalação de 426,4 kWp (0,4 MWp) por hectare. A estimativa da produção de energia anual para cada região, obtida com o software PVSyst.

As Figuras 72 e 73 mostram a distribuição do potencial da capacidade de instalação de energia fotovoltaica e a produção de energia anual com configuração interespacial por região e por classe de declive.

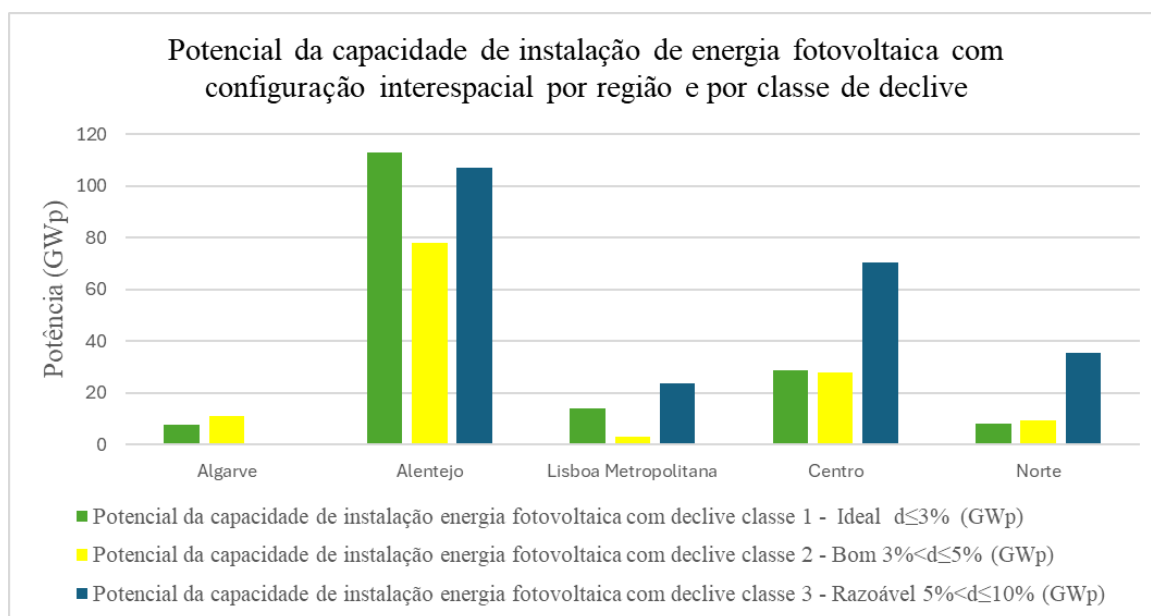


Figura 72: Potencial da capacidade de instalação de energia fotovoltaica de cada região nas áreas úteis (declive classe 1, 2 e 3) com configuração interespacial

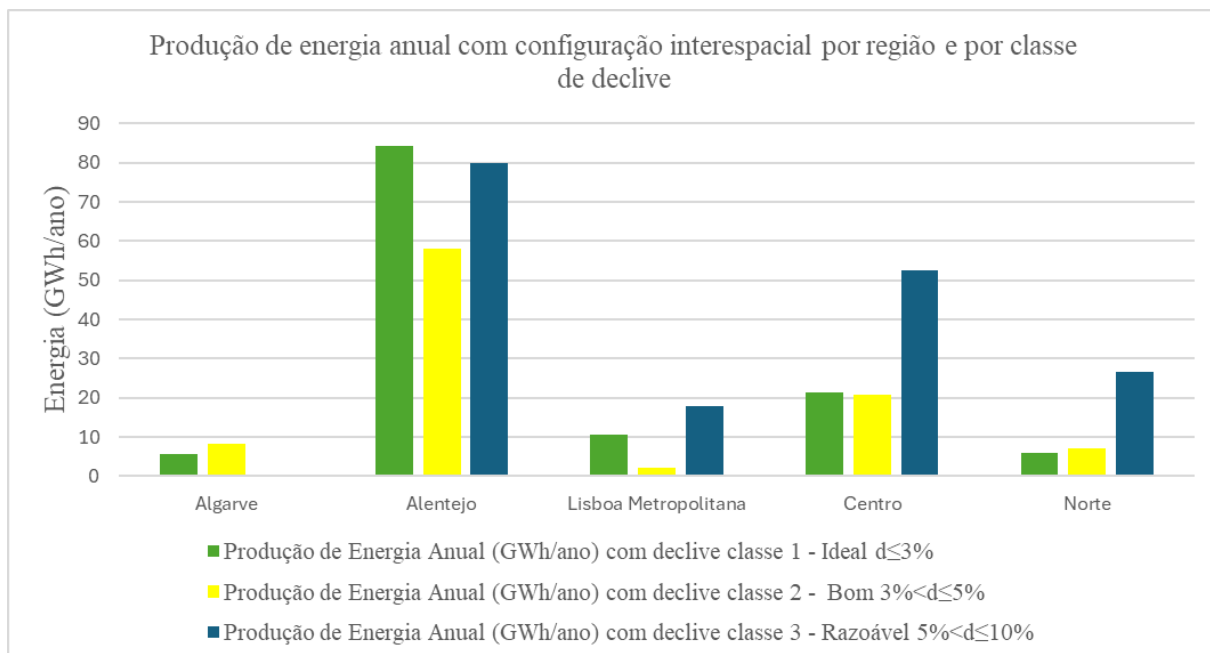


Figura 73: Produção da energia anual de cada região nas áreas úteis (declive classe 1, 2 e 3) com configuração interespacial

As Figuras 72 e 73 apresentam a análise da capacidade de instalação de energia fotovoltaica e da produção anual de energia com configuração interespacial em Portugal Continental revela variações significativas entre as regiões e as diferentes classes de declive.

❖ Algarve

- Declive classe 1: 8 GWp do potencial da capacidade de instalação de energia fotovoltaica e a produção de energia anual de 6 GWh/ano.
- Declive classe 2: 11 GWp do potencial da capacidade de instalação de energia fotovoltaica e a produção de energia anual de 0 GWh/ano.
- Declive classe 3: 0 GWp do potencial da capacidade de instalação de energia fotovoltaica e a produção de energia anual de 0 GWh/ano.

O Algarve apresenta crescimento significativo na capacidade instalada ao ampliar a inclinação aceitável.

❖ Alentejo

- Declive classe 1: 113 GWp do potencial da capacidade de instalação de energia fotovoltaica e a produção de energia anual de 84 GWh/ano.
- Declive classe 2: 78 GWp do potencial da capacidade de instalação de energia fotovoltaica e a produção de energia anual de 58 GWh/ano.

- Declive classe 3: 107 GWp do potencial da capacidade de instalação de energia fotovoltaica e a produção de energia anual de de 80 GWh/ano.

O Alentejo mantém-se como a região com maior potencial fotovoltaico nacional, com destaque para terrenos planos que concentram grande viabilidade para projetos de larga escala.

❖ Lisboa Metropolitana

- Declive classe 1: 14 GWp da potência de instalação e a produção de energia anual de 11 GWh/ano.
- Declive classe 2: 3 GWp da potência de instalação e a produção de energia anual de 2 GWh/ano.
- Declive classe 3: 24 GWp da potência de instalação e a produção de energia anual de 18 GWh/ano.

A região de Lisboa apresenta potencial significativo em declives intermediários (até 5%) e elevado crescimento em terrenos com inclinações até 10%.

❖ Centro

- Declive classe 1: 29 GWp da potência de instalação e a produção de energia anual de 22 GWh/ano.
- Declive classe 2: 28 GWp da potência de instalação e a produção de energia anual de 21 GWh/ano.
- Declive classe 3: 70 GWp da potência de instalação e a produção de energia anual de 52 GWh/ano.

A região Centro exibe uma expansão expressiva no potencial quando considerados terrenos com declive maior, tornando-se a segunda mais relevante após a região do Alentejo.

❖ Norte

- Declive classe 1: 8 GWp da potência de instalação e a produção de energia anual de 6 GWh/ano.
- Declive classe 2: 9 GWp da potência de instalação e a produção de energia anual de 7 GWh/ano.
- Declive classe 3: 36 GWp da potência de instalação e a produção de energia anual de 27 GWh/ano.

A região Norte apresenta forte incremento de potencial ao ampliar o declive máximo permitido.

Assim, ampliar o limite de inclinação de 3% para 5% e, posteriormente, para 10% resulta em ganhos relevantes na capacidade de produção de energia em todas as regiões. Essa flexibilidade nos critérios de inclinação potencializa o aproveitamento energético das áreas disponíveis e reforça a viabilidade da configuração interespacial em contextos com maior variabilidade topográfica.

4.2.2. Conclusão – Cálculo do potencial de instalação de capacidade FV e Análise dos Resultados

A análise do potencial de produção de energia revelou-se um passo fundamental para a avaliação do potencial técnico dos sistemas agrovoltáticos em Portugal Continental. A integração de critérios geoespaciais, como uso do solo, declive e restrições legais, com parâmetros estruturais e operacionais dos sistemas fotovoltaicos possibilitou uma análise regional detalhada da capacidade da instalação de energia FV (em GWp). Essa abordagem possibilitou a análise do impacto do relevo na técnica das áreas consideradas adequadas para o agrovoltático, para as duas configurações consideradas: aérea e interespacial.

A análise comparativa das configurações aérea e interespacial revelou diferenças significativas na eficácia da utilização do solo e no potencial de produção de energia. Com uma densidade de 1125 módulos por hectare, a configuração aérea exibiu os maiores níveis de capacidade instalada, e conseqüente mais potencial para a produção de energia, particularmente na região do Alentejo, onde atingiu 420,9 GWp para declives de até 5% e 517,8 GWp para declive de até 10%. Por outro lado, a configuração interespacial, que possui uma densidade de instalação menor (651 módulos por hectare), registou valores mais baixos, alcançando 242,0 GWp no Alentejo ($\leq 5\%$) e 298,0 GWp para declives até 10%. Apesar de ter um potencial da capacidade de instalação de energia FV menor, esse modelo se destaca por sua maior compatibilidade com práticas agrícolas que utilizam máquinas de grandes dimensões.

Além disso, a ampliação do critério de declive de $\leq 3\%$ para $\leq 5\%$ e $\leq 10\%$ gerou ganhos consideráveis em todas as regiões, especialmente no Alentejo e no Centro, devido à maior abundância de terrenos com inclinação elevada. Esse ponto enfatiza a necessidade de critérios mais flexíveis para maximizar o uso energético das áreas apropriadas.

Capítulo V

5.Considerações finais e Perspetivas futuras

Os sistemas agrovoltaicos são solução promissora que alcança múltiplos objetivos, contribuindo para a transição energética, para a adaptação às mudanças climáticas e para melhoria da produtividade agrícola, possibilitando a produção conjunta de alimentos e energia no mesmo local. Com seu elevado potencial solar e agricultura diversificada, Portugal é um país com condições favoráveis para a implementação desta tecnologia.

O principal objetivo deste estudo foi identificar, analisar e caracterizar as regiões com viabilidade técnica e legal para a implementação de sistemas agrovoltaicos em Portugal Continental, estimando a capacidade fotovoltaica (FV) que poderia ser instalada e a respectiva produção de energia anual. A abordagem utilizada, fundamentada numa análise espacial multicritério, demonstrou ser eficiente na identificação das regiões mais adequadas, levando em conta fatores como o uso do solo (COS 2023), restrições legais (RAN, REN, Rede Natura 2000) e a inclinação do terreno. Para garantir a conformidade com os princípios da sustentabilidade, legalidade e um uso eficiente dos recursos, esta análise integrada é essencial.

A análise geoespacial demonstrou variações consideráveis no potencial regional:

- A Região do Alentejo destaca-se como aquela que possui o maior potencial técnico para o agrovoltaico. A extensa área de planícies agrícolas e de pastagens, combinada com os níveis mais elevados de radiação solar em Portugal (>2.000 kWh/m²/ano) e uma baixa fração de área com restrições legais, proporciona um cenário propício para projeto de grande escala. A estimativa da produção de energia anual com a configuração aérea no Alentejo para: i) declive classe 1 é de 397 GWh/ano; ii) declive classe 2 é de 281 GWh/ano e iii) declive classe 3 é 156 GWh/ano. E para a configuração interespacial: i) classe 1 é 106 GWh/ano; ii) classe 2 é 75 GWh/ano e iii) classe 3 é 42 GWh/ano.
- Apesar de uma parte do seu território ter declives mais acentuados, a Região Centro possui um potencial significativo, principalmente em vales agrícolas e zonas aplanadas. A estimativa da produção de energia anual com a configuração aérea na região do Alentejo para: i) declive classe 1 é de 85 GWh/ano; ii) declive classe 2 é de 82 GWh/ano e iii) declive classe 3 é 100 GWh/ano. E para a configuração interespacial: i) classe 1 é 23 GWh/ano; ii) classe 2 é 22 GWh/ano e iii) classe 3 é 50 GWh/ano.

- Apesar de sua orografia mais acidentada, a Região Norte ainda disponibiliza aproximadamente 40 mil hectares com declive de até 5% em áreas agrícolas e de pastagem. Isso representa uma oportunidade estratégica para a integração agrícola e energética, mesmo com a radiação solar sendo um pouco inferior à média nacional (1400 a 1700 kWh/m²/ano). A estimativa da produção de energia anual com a configuração aérea na região do Alentejo para: i) declive classe 1 é de 22 GWh/ano; ii) declive classe 2 é de 27 GWh/ano e iii) declive classe 3 é 100 GWh/ano. E para a configuração interespacial: i) classe 1 é 6 GWh/ano; ii) classe 2 é 7 GWh/ano e iii) classe 3 é 26 GWh/ano.
- Embora o Algarve tenha altos níveis de radiação solar, seu potencial é mais limitado devido à urbanização ao longo da costa e ao relevo irregular no interior. As planícies intermediárias do barrocal e as áreas agrícolas do sotavento são as mais promissoras. A estimativa da produção de energia anual com a configuração aérea na região Alentejo para: i) declive classe 1 é de 13 GWh/ano; ii) declive classe 2 é de 10 GWh/ano e iii) declive classe 3 é 30 GWh/ano. E para a configuração interespacial: i) classe 1 é 3 GWh/ano; ii) classe 2 é 3 GWh/ano e iii) classe 3 é 8 GWh/ano.
- Embora tenha passado por uma intensa urbanização, a Área Metropolitana de Lisboa ainda preserva áreas agrícolas e pastagens periurbanas com viabilidade, principalmente quando se leva em conta o critério de declive de até 10%. A estimativa da produção de energia anual com a configuração aérea na região do Alentejo para: i) declive classe 1 é de 19 GWh/ano; ii) declive classe 2 é de 35 GWh/ano e iii) declive classe 3 é 61 GWh/ano. E para a configuração interespacial: i) classe 1 é 5 GWh/ano; ii) classe 2 é 9 GWh/ano e iii) classe 3 é 16 GWh/ano.

A análise do declive revelou ser um elemento fundamental:

- Para projetos com alta integração agroprodutiva, é recomendável adotar um critério de declive de até 3%, o que ajuda a minimizar a terraplanagem e a maximizar o uso do solo.
- Contudo, a ampliação para um declive de até 5% e 10% aumenta significativamente a área útil disponível em todas as regiões. A definição do limite ideal deve levar em conta o equilíbrio entre a viabilidade técnica, o custo de implementação e a integração na agricultura.

Em relação às configurações estruturais, a configuração aérea (1125 módulos/hectare) apresentou a maior capacidade do potencial de instalação de energia fotovoltaica, o que a torna vantajosa para otimizar a produção de energia em extensas áreas planas. A configuração interespacial (651 módulos/hectare), que apresenta menor densidade, se adapta melhor às práticas agrícolas mecanizadas. A decisão entre as duas opções depende das particularidades locais e dos propósitos do uso do solo (por exemplo a configuração interespacial utilizada nesse estudo, o espaço entre as fileiras foi de 14m e isso não é um padrão, pode se utilizar diferentes cenários que é mais rentável do ponto de vista de produção energética).

Este estudo contribui para preencher a lacuna de estudo técnico-científicas e mapeamentos sistemáticos em Portugal. No entanto, a falta de uma regulamentação específica para o agrovoltáico continua sendo um dos maiores desafios para a implementação e desenvolvimento dessas tecnologias no país. Isso dificulta a criação de diretrizes claras para a instalação, operação e integração dos sistemas agrovoltáicos nas práticas agrícolas atuais.

Para promover a implementação do agrovoltáico em Portugal e aproveitar ao máximo o seu potencial, as seguintes perspectivas futuras são essenciais:

- ❖ Desenvolvimento de um Quadro Legal e Regulatório Específico: É fundamental que Portugal crie um sistema jurídico específico para o agrovoltáico. Este quadro deve tratar de:
 - A caracterização jurídica formal do "uso duplo" do solo.
 - Métricas de desempenho e requisitos técnicos mínimos, incluindo a densidade de módulos, tipos de culturas mais adequadas e respetivos impactes no meio ambiente.
 - Mecanismos de licenciamento simplificados para projetos agrovoltáicos, diferenciando-os das explorações solares convencionais.
 - Incentivos e iniciativas de suporte que integrem os propósitos da transição energética à sustentabilidade na agricultura.
- ❖ Análises económicas detalhadas e modelos de negócio:
 - Executar estudos detalhados sobre a viabilidade económica da agrovoltáica em variados cenários agrícolas em Portugal, levando em conta os custos de

instalação e manutenção, os benefícios da diversificação de rendimentos para os produtores e a maximização do uso da água.

- Criar modelos de negócio ajustados às características regionais e às diversas categorias de explorações agrícolas (pequenas, médias e grandes).

❖ Estudo agronómico e microclimático de longa duração:

- Expandir os estudos de campo e projetos-piloto para as várias regiões agroclimáticas de Portugal, analisando o rendimento de uma gama mais ampla de culturas (hortícolas, leguminosas, frutíferas, aromáticas etc.) sob variados níveis de sombreamento e arranjos de painéis.
- Para otimizar a escolha e o manejo das culturas, é necessário aprofundar o entendimento dos efeitos microclimáticos dos painéis solares na temperatura do solo e do ar, na velocidade do vento, na humidade e na evapotranspiração.

❖ Desenvolvimento de ferramentas de suporte à decisão:

- Criar plataformas informativas e instrumentos de suporte à decisão baseados em SIG, que integram dados agronómicos, energéticos, económicos e regulatórios, visando simplificar o planeamento e a execução de projetos agrovoltaicos por agricultores, investidores e autoridades políticas.

Ao abordar essas perspectivas futuras, pode ajudar Portugal fortalecer sua posição na transição energética, garantindo que o crescimento da energia solar ocorra de forma harmoniosa com a produção agrícola, o que contribuirá para um desenvolvimento rural mais sustentável e resiliente.

Referencia

ADEME – Agence de la Transition Écologique. (2021). *Caractériser les projets photovoltaïques sur terrains agricoles et l'agrivoltaïsme*. La librairie ADEME. <https://librairie.ademe.fr/energies/4992-caracteriser-les-projets-photovoltaïques-sur-terrains-agricoles-et-l-agrivoltaïsme.html>

Agência Portuguesa do Ambiente (APA). (2020). *Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050)*. <https://apambiente.pt/roteiro-neutralidade-carb%C3%B3nica-2050>

Agenzia per le Erogazioni in Agricoltura [AGEA]. (2023). *Guida agli incentivi agrivoltaici in Italia*. Agenzia per le Erogazioni in Agricoltura. <https://www.agea.gov.it/portale-agea/>

Amaducci, S., Yin, X., & Colauzzi, M. (2018). Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production. *Applied Energy*, 220, 545–561. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.081>

Barron-Gafford, G. A., Pavao-Zuckerman, M. A., Minor, R. L., Sutter, L. F., Barnett-Moreno, I., Blackett, D. T., Thompson, M., Dimond, K., Gerlak, A. K., Nabhan, G. P., & Macknick, J. E. (2019). Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus in drylands. *Nature Sustainability*, 2(9), 848–855. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0364-5>

Bellini, E. Cells, C. S. (2020, outubro 2). Agrivoltaics for pear orchards. *Pv Magazine International*. <https://www.pv-magazine.com/2020/10/02/agrivoltaics-for-pear-orchards/>

Bundesnetzagentur. (2023). *Renewable Energy Sources Act (EEG)*. <https://www.bundesnetzagentur.de/>

Bunge, L. (2024). *Agrivoltaic – Assessment and guidelines for a pilot in Alentejo*.

Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Algarve (CCDR Algarve). (2020). *Diagnóstico Regional do Algarve*. <https://www.ccdr-alg.pt/site/categoria/algarve2020>

Comissão Europeia. (2020). *Farm to Fork Strategy: For a fair, healthy and environmentally friendly food system*. https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en

Comissão Nacional do Território (CNT). (2025). *Reserva Ecológica Nacional (REN)*. <https://cnt.dgterritorio.gov.pt/ren-pagina>

Deboutte, G. (2023a, março 13). Agrivoltaics for fodder. *Pv Magazine International*. <https://www.pv-magazine.com/2023/03/13/agrivoltaics-for-fodder/>

Deboutte, G. (2023b, outubro 31). BayWa re starts building agrivoltaic project in France. *Pv Magazine International*. <https://www.pv-magazine.com/2023/10/31/baywa-re-starts-building-agrivoltaic-project-in-france/>

Decade, T. E. of the trackers, has joined forces with I. to install agrivoltaic power plants on, Hazards, I. O. to P. F. from W., & Deboutte, global warming G. (2023, dezembro 6). French

olive oil sector seeks relaunch via agrivoltaics. *Pv Magazine International*. <https://www.pv-magazine.com/2023/12/06/french-olive-oil-sector-seeks-relaunch-via-agrivoltaics/>

DGEG – Direção-Geral de Energia e Geologia. (2020). *Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC 2030)*. <https://www.dgeg.gov.pt/pt/destaques/pnec-2030/>

DGT. (2024). *COSc2023 – Carta de Ocupação do Solo Conjuntural de 2023 | DGT*. <https://www.dgterritorio.gov.pt/COSc2023-Carta-de-Ocupacao-do-Solo-Conjuntural-de-2023>

DIN – Deutsches Institut für Normung. (2021). *DIN SPEC 91434:2021—Agri-photovoltaic systems—Requirements for primary agricultural use*. https://webstore.ansi.org/standards/din/dinspec914342021?srsltid=AfmBOoq1E_dFbnCHwZB1XbRg1jaJndulIckJcMXMzfRe1tCaTSJqj8XP

Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (DGADR). (2025). *Reserva Agrícola Nacional (RAN)*. <https://www.dgadr.gov.pt/pt/reserva-agricola-nacional-ran>

Directiva 2009/147/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, 2009, CONSIL, EP, 020 OJ L (2009). <http://data.europa.eu/eli/dir/2009/147/oj/por>

Diretiva 92/43/CEE do Conselho das Comunidades Europeias, 1992, 92/43/CEE, CONSIL, 206 OJ L (1992). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:31992L0043>

Dupraz, C., Marrou, H., Talbot, G., Dufour, L., Nogier, A., & Ferard, Y. (2011). Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. *Renewable Energy*, 36(10), 2725–2732. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.005>

EDIA – Empresa de Desenvolvimento e Infraestruturas do Alqueva. (2023). *Relatório EFMA 2022*. EDIA, S.A. <https://www.edia.pt/en/>

EPA & NREL. (2022). *Best practices for siting solar photovoltaics on municipal solid waste landfills*.

European Environment Agency. (2023). *EU Digital Elevation Model (EU-DEM)*. <https://land.copernicus.eu/en/products/products-that-are-no-longer-disseminated-on-the-clms-website>

Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. (2021). *APV-RESOLA – Agrophotovoltaic—A Contribution to Resource-Efficient Land Use*. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. <https://www.ise.fraunhofer.de/en/research-projects/apv-resola.html>

Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. (2025). *Model Region Agri-PV BaWü*. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. <https://www.ise.fraunhofer.de/en/research-projects/agri-pv-bawue.html>

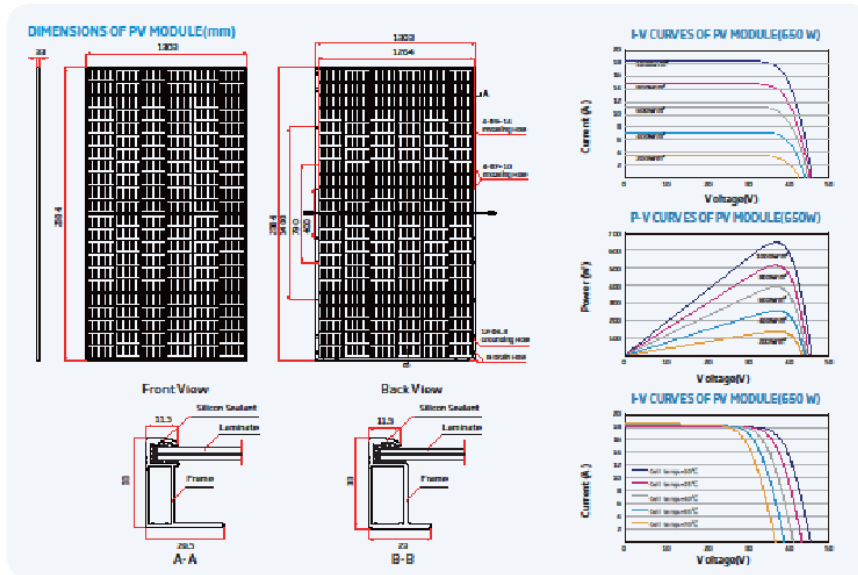
- Fraunhofer ISE. (2018, junho 20). *Agrophotovoltaics Goes Global: From Chile to Vietnam*. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. <https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/press-releases/2018/agrophotovoltaik-goes-global-from-chile-to-vietnam.html>
- Fraunhofer ISE. (2021, março 9). *Agrivoltaics: Where are we heading?* *Pv Magazine International*. <https://www.pv-magazine.com/magazine-archive/agrivoltaics-where-are-we-heading/>
- Fraunhofer ISE. (2023). *Agrivoltaics—Electricity and Agriculture*. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. <https://www.ise.fraunhofer.de/en/business-areas/solar-power-plants-and-integrated-photovoltaics/integrated-photovoltaics/agrivoltaics.html>
- Fraunhofer ISE. (2024). *Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and Energy Transition*. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/agrivoltaics-opportunities-for-agriculture-and-the-energy-transition.html>
- Goetzberger, A., & Zastrow, A. (1982). On the Coexistence of Solar-Energy Conversion and Plant Cultivation. *International Journal of Solar Energy*, 1(1), 55–69. <https://doi.org/10.1080/01425918208909875>
- Gouvernement de la France. (2022). *Plan d'action pour le développement de l'agrivoltaïsme*. info.gouv.fr. <https://www.info.gouv.fr/politiques-prioritaires/planifier-et-accelerer-la-transition-ecologique/decupler-la-puissance-photovoltaique-francaise-d-ici-a-2050>
- Governo de Portugal, D. da. (2020, setembro 4). *Resolução do Conselho de Ministros n.º 86/2020 – Agenda de Inovação para a Agricultura 2020–2030*. Diário da República. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/resolucao-conselho-ministros/86-2020-142923300>
- Grow, S. P. C. to, & Rollet, needed less water C. (2020, março 31). A good year for solar: Agrivoltaics in vineyards. *Pv Magazine International*. <https://www.pv-magazine.com/2020/03/31/a-good-year-for-solar-agrivoltaics-in-vineyards/>
- IDAE – Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2022). *Estrategia de energías renovables y uso del suelo agrícola*. <https://www.idae.es/>
- IEA. (2020, novembro 10). *Renewables 2020 – Analysis*. IEA. <https://www.iea.org/reports/renewables-2020>
- INESC TEC. (2022). *Projeto piloto agrovoltaico na vinha: Relatório técnico*. INESC TEC. <https://www.inesctec.pt/pt>
- Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF). (2025). *Rede Natura 2000*. <https://www.icnf.pt/conservacao/redenatura2000/aredenatura2000>
- Instituto Nacional de Estatística (INE). (2021). *Estatísticas agrícolas 2020*. https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=ine_main&xpid=INE

- Instituto Superior de Agronomia (ISA). (2024). *Projeto Agrovoltáico na Vinha do ISA*. https://www.isa.ulisboa.pt/vida-no-isa/destaques/noticias/20240227-projeto-agrovoltáico-na-vinha-do-isa?utm_source=chatgpt.com
- Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC). (2023). *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (1.^a ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera. (2023). *Relatório do estado do clima em Portugal – 2022*. <https://www.ipma.pt/pt/index.html>
- Joint Research Centre (JRC). (2024, setembro 23). *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)*. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en
- Ludt, B. (2021, junho 10). Largest agrivoltaic research project in U.S. advances renewable energy while empowering local farmers. *Solar Power World*. <https://www.solarpowerworldonline.com/2021/06/largest-agrivoltaic-research-project-in-u-s-advances-renewable-energy-while-empowering-local-farmers/>
- Marrou, H., Guilioni, L., Dufour, L., Dupraz, C., & Wery, J. (2013). Microclimate under agrivoltaic systems: Is crop growth rate affected in the partial shade of solar panels? *Agricultural and Forest Meteorology*, 177, 117–132. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.04.012>
- Meza, developing tracker systems with control algorithms specially designed for specific crops E. (2023, dezembro 27). Turkey launches agrivoltaics research project. *Pv Magazine International*. <https://www.pv-magazine.com/2023/12/27/turkey-launches-agrivoltaics-research-project/>
- Ministério da Agricultura. (2021, maio 15). *Aviso para a instalação de painéis fotovoltaicos em explorações agrícolas com uma dotação de 10 milhões de euros*. <https://www.portugal.gov.pt/pt/gc22/comunicacao/comunicado?i=aviso-para-a-instalacao-de-paineis-fotovoltaicos-em-exploracoes-agricolas-com-uma-dotacao-de-10-milhoes-de-euros>
- Ministério da Agricultura. (2022). *Plano Estratégico da Política Agrícola Comum—PEPAC Portugal*. <https://www.gpp.pt/index.php/pepac/pepac-plano-estrategico-da-pac-2023-2027>
- Ministério do Ambiente e da Ação Climática. (2020). *Plano Nacional Energia e Clima 2030*. <https://apambiente.pt/>
- Ministério dos Negócios Estrangeiros. (2025). Sobre Portugal. *Portal do Governo*. <https://portaldiplomatico.mne.gov.pt/sobre-portugal>
- Ministero della Transizione Ecologica. (2022). *Linee guida per l'Agrovoltáico in Italia*. Ministero dell' Ambiente e della Sicurezza energetica. <https://www.mase.gov.it/portale/-/impianti-agri-voltaici-pubblicate-le-linee-guida-1>

- Next2Sun. (2025). *Vertical Agri-PV from Next2Sun for dual land use*.
- PDR 2020. (2022). *Programa de Desenvolvimento Rural – Relatório Final de Execução*. <http://www.pdr-2020.pt/Centro-de-informacao/Relatorios-de-Execucao>
- Pereira, S., Abreu, E., Iakunin, M., Canhoto, P., & Salgado, R. (2019, novembro 25). *Estimativa do potencial fotovoltaico no Sul de Portugal através de simulações do modelo Meso-NH para um ano meteorológico típico* [Lecture]. Universidade de Évora. <https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/37232>
- Powerfultree. (2025). *CIFP San Gabriel, Aranda de Duero: Primer piloto agrovoltaico de España con estructura elevada sobre viñedo*.
- PVsyst SA. (2024). *PVsyst 8*. <https://www.pvsyst.com/pvsyst-8/>
- QGIS Project. (2024, junho 21). *Changelog for QGIS 3.38*. <https://qgis.org/project/visual-changelogs/visualchangelog338/>
- r.e, B., & Bellini, G. have designed special monocrystalline solar panels for five pilot agrivoltaic projects they are deploying in the N. T. testing weather-resistant 260 W. glass-glass panels with different transparency levels E. (2020, julho 23). *Special solar panels for agrivoltaics*. *Pv Magazine International*. <https://www.pv-magazine.com/2020/07/23/special-solar-panels-for-agrivoltaics/>
- República, D. da. (2025). <https://diariodarepublica.pt/dr/error>. Diário da República. <https://diariodarepublica.pt/dr/error>
- RVO – Netherlands Enterprise Agency. (2024). *Stimulation of sustainable energy production and climate transition (SDE++)*. RVO.NL. <https://english.rvo.nl/en/subsidies-financiering/sde>
- Sekiyama, T., & Nagashima, A. (2019). *Solar Sharing for Both Food and Clean Energy Production: Performance of Agrivoltaic Systems for Corn, A Typical Shade-Intolerant Crop*. *Environments*, 6(6), 65. <https://doi.org/10.3390/environments6060065>
- Simões, S. G., Simões, T., Barbosa, J. & outros. (2023). *Estimativa de potenciais técnicos de energia renovável em Portugal... LNEG, Amadora, Portugal*.
- SolarPower Europe. (2021). *Agrisolar Best Practice Guidelines*. SolarPower Europe. <https://www.solarpowereurope.org/insights/thematic-reports/agrisolar-best-practice-guidelines>
- Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Wein- und Obstbau Weinsberg. (2025). *Modellregion Agri-PV BW*. Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Wein- und Obstbau Weinsberg. <https://www.agripv-bw.de/teilprojekte/lvwo-weinsberg/>
- STEAG. (2021, março 9). *A photovoltaic partner for agriculture*. <https://www.steag-iqony-group.com/en/press-release/09-03-2021-a-photovoltaic-partner-for-agriculture>

- Sun'Agri. (2025). Viticulture: Piolenc. *Sun'Agri*. <https://sunagri.fr/en/project/piolencs-experimental-plot/>
- Toledo, Carlos; Scognamiglio, Alessandra. (2021). *Agrivoltaic Systems Design and Assessment: A Critical Review, and a Descriptive Model towards a Sustainable Landscape Vision (Three-Dimensional Agrivoltaic Patterns)*. 13(12), 6871. <https://doi.org/10.3390/su13126871>
- TozziGreen. (2025). Development & Construction. *Tozzigreen*. <https://www.tozzigreen.com/en/renewable-energies/development-construction/>
- Trinasolar. (2016, setembro 8). *US/product*. Trinasolar. <https://www.trinasolar.com/us/product>
- Trommsdorff, M., Campana, P. E., Macknick, J., Solas, Á. F., Gorjian, S., & Tsanakas, I. (2025). *Dual Land Use for Agriculture and Solar Power Production: Overview and Performance of Agrivoltaic Systems*. <https://iea-pvps.org/key-topics/dual-land-use-agriculture-solar-power-production/>
- Trommsdorff, M., Hopf, M., Hörnle, O., Berwind, M., Schindele, S., & Wydra, K. (2023). Can synergies in agriculture through the integration of solar energy reduce the cost of agrivoltaics? An economic analysis in apple farming. *Applied Energy*, 350, 121619. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121619>
- TSE, F. solar developer, BFC, in association with A., & Deboutte, has unveiled the initial results of a pilot study in F. on how solar panels can affect soybean growth G. (2023, janeiro 19). PV developer reveals results of soybean agrivoltaic pilot project. *Pv Magazine International*. <https://www.pv-magazine.com/2023/01/19/thursday-5-results-of-soybean-agrivoltaic-pilot-project/>
- Valle, B., Simonneau, T., Sourd, F., Pechier, P., Hamard, P., Frisson, T., Ryckewaert, M., & Christophe, A. (2017). Increasing the total productivity of a land by combining mobile photovoltaic panels and food crops. *Applied Energy*, 206, 1495–1507. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.09.113>
- Wageningen University & Research, C. Jjls. C. + S. (2021, junho 11). *Wageningen Solar Research Programme*. WUR. <https://www.wur.nl/en/research-results/research-institutes/environmental-research/projects/wageningen-solar-research-programme.htm>
- Weselek, A., Ehmann, A., Zikeli, S., Lewandowski, I., Schindele, S., & Högy, P. (2019). Agrophotovoltaic systems: Applications, challenges, and opportunities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(4), 35. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0581-3>
- World Bank Group & Solargis. (2025). *Global Solar Atlas – Portugal: Solar resource and photovoltaic power potential*. <https://globalsolaratlas.info/download/portugal>

Anexo I – Ficha técnica do painel fotovoltaico



ELECTRICAL DATA (STC)

Peak Power Watts-Pmax (Wp)*	645	650	655	660	665
Power Tolerance-Pmax (W)	0 ~ +5				
Maximum Power Voltage-Vmp (V)	37.5	37.7	37.9	38.1	38.3
Maximum Power Current-Imp (A)	17.23	17.27	17.31	17.35	17.39
Open Circuit Voltage-Voc (V)	45.3	45.5	45.7	45.9	46.1
Short Circuit Current-Isc (A)	18.31	18.35	18.40	18.45	18.50
Module Efficiency- η_m (%)	20.8	20.9	21.1	21.2	21.4

*refer to irradiance 1000W/m², ambient temperature 25°C, air mass 1.5, 10% irradiance ratio.

Electrical characteristics with different power bins (reference to 10% irradiance ratio)

Total Equivalent power -Pmax (Wp)	600	606	701	706	712
Maximum Power Voltage-Vmp (V)	37.5	37.7	37.9	38.1	38.3
Maximum Power Current-Imp (A)	18.44	18.48	18.52	18.56	18.60
Open Circuit Voltage-Voc (V)	45.3	45.5	45.7	45.9	46.1
Short Circuit Current-Isc (A)	19.59	19.63	19.69	19.74	19.79

Irradiance ratio (rear/front)

10%

rear/front/typical

ELECTRICAL DATA (NOCT)

Maximum Power-Pmax (Wp)	488	492	496	499	504
Maximum Power Voltage-Vmp (V)	34.9	35.1	35.2	35.4	35.6
Maximum Power Current-Imp (A)	13.98	14.01	14.05	14.10	14.15
Open Circuit Voltage-Voc (V)	42.7	42.9	43.0	43.2	43.4
Short Circuit Current-Isc (A)	14.75	14.79	14.83	14.87	14.91

NOCT: irradiance 800W/m², ambient temperature 45°C, wind speed 1m/s.

MECHANICAL DATA

Solar Cells	Monocrystalline
No. of cells	132 cells
Module Dimensions	2384*1303*33mm(93.86*51.30*1.30 inches)
Weight	38.3 kg (84.4 lb)
Front Glass	2.0 mm (0.08 inches) High Transmittance Low Iron Tempered Glass
Encapsulant material	PVE/EVA
Back Glass	2.0 mm (0.08 inches) Heat Strengthened Glass (White Grid Glass)
Frame	33mm(1.30 inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4-Dump [®] (0.005 inches ²), Part no.: 55W-250 mm(13.78/11.02 inches), Length can be customized
Connector	MC4EVO2/TS4*

*refer to specific connector for specific connector.

TEMPERATURE RATINGS

NOCT Temperature (operating temperature)	43°C (±2°C)	MAXIMUM RATINGS	Operational Temperature	-40~+85°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.34%/°C	Maximum System Voltage	1500V DC (IEC)	
Temperature Coefficient of Voc	-0.25%/°C	Maximum System Current	1500V DC (UL)	
Temperature Coefficient of Isc	0.04%/°C	Max Series Fuse Rating	35A	

WARRANTY

12-year Product Workmanship Warranty
30-year Power Warranty
2% first-year degradation
0.45%/Annual Power Attenuation

refer to specific warranty for details.

PACKAGING CONFIGURATION

Modules per box: 22 pieces
Modules per 40' container: 504 pieces



CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.

© 2022 Trina Solar Co., Ltd. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

Version number: TSM_EN_2022_A

www.trinasolar.com