



# COACLIMATERISK

O IMPACTO DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E  
MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO PARA AS PRINCIPAIS  
CULTURAS AGRÍCOLAS NA REGIÃO DO VALE DO CÔA

QTA QAS TULHAS





# COACLIMATERISK

O IMPACTO DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E  
MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO PARA AS PRINCIPAIS  
CULTURAS AGRÍCOLAS NA REGIÃO DO VALE DO CÔA

## EQUIPA DE INVESTIGAÇÃO

**HELDER FRAGA**  
INVESTIGADOR RESPONSÁVEL  
CITAB | UNIVERSIDADE DE  
TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

**JOÃO SANTOS**  
CITAB | UNIVERSIDADE DE  
TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

**AURELIANO MALHEIRO**  
CITAB | UNIVERSIDADE DE  
TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

**JOSÉ MOUTINHO-PEREIRA**  
CITAB | UNIVERSIDADE DE  
TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

**HENRIQUE TRINDADE**  
CITAB | UNIVERSIDADE DE  
TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

**LIA DINIS**  
CITAB | UNIVERSIDADE DE  
TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

**TERESA R. FREITAS**  
BOLSEIRA DE INVESTIGAÇÃO  
CITAB | UNIVERSIDADE DE  
TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

**OILIAM STOLARSKI**  
BOLSEIRO DE INVESTIGAÇÃO  
CITAB | UNIVERSIDADE DE  
TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

**DIOGO RODRIGUES**  
BOLSEIRO DE INVESTIGAÇÃO  
CITAB | UNIVERSIDADE DE  
TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

**NATHALIE GUIMARÃES**  
BOLSEIRA DE INVESTIGAÇÃO  
FCT | CITAB | UNIVERSIDADE DE  
TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

**ANDRÉ FONSECA**  
COLABORADOR DO PROJETO  
CITAB | UNIVERSIDADE DE  
TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

**BRUNO NAVARRO**  
(IN MEMORIAM; 1977-2021)  
FUNDAÇÃO CÔAPARQUE

**AIDA CARVALHO**  
FUNDAÇÃO CÔAPARQUE

**DOMINGOS LOPES**  
FUNDAÇÃO CÔAPARQUE

**LUÍS LUÍS**  
FUNDAÇÃO CÔAPARQUE

**LILIANA BRÁS**  
FUNDAÇÃO CÔAPARQUE

**ALDINA REGALO**  
FUNDAÇÃO CÔAPARQUE

**ANTÓNIO GRAÇA**  
SOGRAPE - VINHOS S.A.

**NATACHA FONTES**  
SOGRAPE - VINHOS S.A.

**IGOR GONÇALVES**  
ADVID - ASSOCIAÇÃO PARA O  
DESENVOLVIMENTO DA VITICULTURA  
DURIENSE

**LUÍS MARCOS**  
ADVID - ASSOCIAÇÃO PARA O  
DESENVOLVIMENTO DA VITICULTURA  
DURIENSE

**JOÃO CEREJEIRA**  
ESCOLA DE ECONOMIA E GESTÃO  
DA UNIVERSIDADE DO MINHO

**RITA SOUSA**  
ESCOLA DE ECONOMIA E GESTÃO  
DA UNIVERSIDADE DO MINHO

**ÂNGELO SIL**  
COLABORADOR DO PROJETO  
UNIVERSIDADE DO MINHO

## ENTIDADES PARTICIPANTES

**utad** UNIVERSIDADE  
DE TRÁS-OS-MONTES  
E ALTO DOURO

**CITAB**

**Fundação CoaParque**



**SOGRAPE**

**ADVID**  
Cluster da Vinha e do Vinho  
Vine and Wine Cluster



**Universidade do Minho**

## TIRAGEM

100 Exemplares

## ISBN

Versão Impressa:  
978-989-704-530-1;

## FINANCIAMENTO

**FCT** Fundação  
para a Ciência  
e a Tecnologia

**GOVERNO DE  
PORTUGAL**

Versão Eletrónica:  
978-989-704-531-8;

## DESIGN EDITORIAL E PRODUÇÃO GRÁFICA



**TWF**

DESIGN STUDIO

TWOFOLD DESIGN STUDIO

<https://twofold.pt>

Braga | Portugal

[geral@twofold.pt](mailto:geral@twofold.pt)





# AGRADECIMENTOS

O livro *“CoaClimateRisk - O impacto das alterações climáticas e medidas de adaptação para as principais culturas agrícolas na região do Vale do Côa”* resulta da simbiose entre o profissionalismo e a devoção de todos os colaboradores do projeto com o mesmo nome. Assim, é essencial agradecer à entidade Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) que financiou as atividades realizadas no decorrer do projeto CoaClimateRisk, com recurso a fundos nacionais e com a referência COA/CAC/0030/2019. Estamos gratos à Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD) e ao Centro de Investigação e Tecnologias Agroambientais e Biológicas (CITAB; UIDB/04033/2020), por todas as condições e suporte concedidos para que pudéssemos realizar as nossas funções. Aos parceiros do projeto, ADVID - Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense e a SOGRAPE Vinhos S.A. direcionamos um agradecimento especial pela partilha de dados e conhecimento. Ao longo destes 3 anos, a Fundação CôaParque acompanhou as nossas atividades de forma incansável. Por todo o empenho na realização das tarefas, direcionamos um agradecimento sincero aos colegas da Universidade do Minho. Aos colaboradores do projeto (CEECIND/00447/2017, 2022.02317.CEECIND), em especial aos bolseiros, que ajudaram a levar o projeto a bom porto (Bolsa FCT UI/BD/150727/2020). Por último, mas não menos importante, a nossa gratidão vai para os consultores do projeto, Dr. Marco Moriondo e Dr. Daniel Molitor, pelo aconselhamento prestado durante a execução das tarefas.

Somos gratos a todos aqueles que de uma forma direta ou indireta contribuíram para que este projeto e este livro se materializassem. É um orgulho disponibilizar esta obra a todos aqueles que de alguma forma se interessam pela temática e que estão abertos ao conhecimento.



## .I | PREFÁCIO

Em Portugal, o setor agrícola tem uma elevada importância económica, social e cultural. O Vale do Côa, no nordeste de Portugal, tem fortes ligações a este setor. Na região do Côa, as vinhas e os olivais representam cerca de 10% da área total. As pastagens são responsáveis por 6% e as culturas cerealíferas, como trigo e milho, representam 12%. Outras culturas importantes incluem a castanha (1%) e a amêndoa (1%). Estes números destacam o facto de que a agricultura é a base económica desta região, considerada Património da Humanidade pela UNESCO desde 1998.

As culturas agrícolas acima mencionadas são altamente influenciadas por factores climáticos. No entanto, espera-se que no futuro, as alterações climáticas tenham impactos significativos na agricultura. Ao longo do último século, as temperaturas aumentaram significativamente na Europa, enquanto a precipitação e a disponibilidade de água diminuíram significativamente no sul da Europa. Além disso, as projeções futuras para o Vale do Côa estão em linha com estas tendências, uma vez que o aquecimento significativo e a aumento da aridez são projetados para as próximas décadas. Atualmente, verões quentes e secos do Mediterrâneo já limitam a adequação das culturas agrícolas, principalmente devido à escassez de água durante o verão, fazendo com que essas culturas sejam particularmente vulneráveis. Embora as alterações climáticas possam representar uma ameaça importante, são também uma oportunidade para desenvolver medidas de adaptação sustentáveis. A sua implementação pode mitigar significativamente os impactos da mudança climática sobre essas culturas e sobre a economia regional/nacional, em geral.

A nossa proposta visa avaliar os impactos das alterações climáticas, sobre as principais culturas agrícolas no Vale do Côa. Para este propósito, um conjunto de modelos climáticos regionais de última geração, forçados por cenários de emissão de gases de efeito estufa recém-desenvolvidos, serão usados para desenvolver projeções climáticas de alta qualidade. Isso permitirá uma zonagem bioclimática de alta resolução (com uma resolução espacial de cerca de 1 km) das culturas selecionadas em climas atuais e futuros (até 2100). Essa zonagem revelará não apenas a adequação atual, mas também futura, de uma determinada região a uma cultura específica. Posteriormente, serão utilizados modelos dinâmicos de culturas para avaliar os impactos das alterações climáticas na produtividade potencial das culturas (e possivelmente noutros parâmetros) à escala local. Em seguida, a análise de impacto económico estabelecerá uma ligação entre as atividades

económicas que contribuem para o PIB regional, definindo indicadores diretos e indiretos de influência climática (por exemplo, volumes de vendas e níveis de custo). Esse elo será a base para construir macro-cenários regionais socioeconómicos que representem a exposição às mudanças climáticas das diversas atividades socioeconómicas.

Com base na nossa experiência anterior em zonagem bioclimática da vinha e olival e suas projeções de alterações climáticas para a Europa e Portugal, bem como na modelação da produtividade destas culturas em Portugal, pretendemos aplicar estas metodologias inovadoras noutras culturas importantes. Além disso, este projeto visa desenvolver/aplicar novas metodologias de modelação de culturas. Novas simulações de modelos climáticos de última geração, cenários de emissão e modelos de culturas precisam ser testados. O estudo das medidas de adaptação também será da maior importância neste projeto. Como tal, várias medidas de adaptação serão simuladas em climas futuros, como a rega, coberto vegetal, e seleção de variedades. Estes fornecerão uma medida da resposta às mudanças climáticas pela aplicação de medidas de adaptação. Como exemplo, o projeto atual responderá à questão de quanta água de rega será necessária para cada cultura no futuro, e usando modelos hidrológicos, responderemos se essa água estará disponível na bacia hidrográfica.

A informação fornecida por este projeto é da maior relevância para as partes interessadas do sector agrícola do Vale do Côa, uma vez que permitirá desenvolver e promover medidas adequadas para mitigar os riscos das alterações climáticas. Estas partes interessadas já estão em estreita cooperação com o projeto, como os parceiros do projeto do sector agro-alimentar, ADVID - Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense e SOGRAPE Vinhos S.A, e a Fundação Côa Parque, que visa valorizar o património natural do Vale do Côa. Além disso, o projeto tem uma equipa multidisciplinar com várias parcerias nacionais e internacionais, incluindo dois consultores internacionais (Unifi and LIST). Esta área de investigação também segue as políticas da UE para promover medidas sustentáveis para minimizar os impactos negativos das alterações climáticas nas principais atividades socioeconómicas. As culturas selecionadas abrangem setores vitais, da agricultura à indústria e às empresas, já ameaçados pelas mudanças climáticas.



ÍNDICE

Agradecimentos			IV
Prefácio			VI
01. A Região do Côa	» 01	.1 A Região	02
		.2 Demografia	04
		.3 Clima	06
		.4 Solo	08
		.5 Hidrologia	08
		.6 Turismo	09
		.7 Agricultura	10
		.8 O Projeto CoaClimateRisk	12
		.9 Referências	15
		02. As alterações climáticas e a agricultura	» 16
.2 Impacto na Agricultura	22		
.3 Referências	23		
03. Vinha e Olival	» 24	.1 Introdução	26
		.2 Vinha e olival na região do Côa	28
		.3 Modelos de culturas da vinha e olival	28
		.4 Dados de clima, solos e práticas culturais	29
		.5 Impacto das alterações climáticas na vinha e olival	30
		.6 Discussão e conclusões	32
		.7 Referências	35
04. Amendoeira	» 38	.1 Introdução	40
		.2 Descrição do amendoal na região	41
		.3 Método estatístico <i>Stepwise</i>	42
		.4 Variáveis meteorológicas e projeção climática futura	43
		.5 Modelo de Produção	44
		.6 Aplicação do modelo de produção no futuro	46
		.7 Discussão e Conclusão	47
		.8 Referências	49

05. Castanheiro	» <a href="#">52</a>	.1 Introdução	<a href="#">54</a>
		.2 Distribuição do castanheiro no Côa	<a href="#">56</a>
		.3 Variáveis meteorológicas e das projeções climáticas	<a href="#">57</a>
		.4 Índices Bioclimáticos	<a href="#">57</a>
		.5 Zonas bioclimáticas do castanheiro no presente e futuro	<a href="#">59</a>
		.6 Discussão e Conclusões	<a href="#">64</a>
		.7 Referências	<a href="#">66</a>
06. Pastagens	» <a href="#">68</a>	.1 Introdução	<a href="#">70</a>
		.2 Modelação do vigor das pastagens	<a href="#">72</a>
		.3 Caracterização do vigor atual	<a href="#">74</a>
		.4 Mudanças futuras no vigor	<a href="#">74</a>
		.5 O impacto das mudanças climáticas no vigor das pastagens	<a href="#">76</a>
		.6 Potenciais medidas de adaptação para pastagens	<a href="#">77</a>
		.7 Considerações finais	<a href="#">78</a>
		.8 Referências	<a href="#">79</a>
07. Extremos climáticos	» <a href="#">82</a>	.1 Introdução	<a href="#">84</a>
		.2 Dados climáticos históricos, projeções futuras e correção de viés	<a href="#">85</a>
		.3 Índices climáticos e análise de componentes principais	<a href="#">86</a>
		.4 Índices extremos de precipitação	<a href="#">87</a>
		.5 Impactos e estratégias de adaptação	<a href="#">92</a>
		.6 Conclusões	<a href="#">93</a>
		.7 Referências	<a href="#">94</a>
08.Impactos económicos	» <a href="#">96</a>	.1 Introdução	<a href="#">98</a>
		.2 Alterações climáticas e adequação de medidas de gestão no sector vitivinícola	<a href="#">99</a>
		.3 Capacidade de oferta do ecossistema em áreas vinhateiras e relevância para o sector vitivinícola	<a href="#">100</a>
		.4 Conclusões	<a href="#">103</a>
		.5 Referências	<a href="#">105</a>
09. Considerações Finais	» <a href="#">106</a>	.1 Alterações climáticas no Côa e medidas de adaptação	<a href="#">108</a>
		.2 Referências	<a href="#">113</a>



ÍNDICE DE FIGURAS		Página
Figura 1.1	Localização da região do Côa em Portugal (esquerda), localização dos municípios e rios principais que compõem a região do Côa (direita)	<a href="#">02</a>
Figura 1.2	Diagrama ombrotérmico médio da região do Côa (acima). Temperatura média anual (abaixo-esquerda), precipitação acumulada anual (abaixo-direita). Calculadas a partir da base de dados Iberia01 (Herrera et al., 2019)	<a href="#">07</a>
Figura 1.3	Carta geológica da região do Côa (tipo de rocha)	<a href="#">08</a>
Figura 1.4	Bacia hidrográfica da região do Côa (esquerda). Rio Côa (direita). Créditos: Nathalie Guimarães	<a href="#">09</a>
Figura 1.5	Principais culturas agrícolas na região do Côa, de acordo com a base de dados “Carta de Ocupação e Uso do Solo” (COS, 2018)	<a href="#">12</a>
Figura 1.6	Tarefas do projeto CoaClimateRisk	<a href="#">14</a>
Figura 2.1	Aumento da temperatura média global observada e simulada (factores naturais + humanos e factores apenas naturais). Linha azul – temperatura aferida por métodos indiretos; linha vermelha – temperatura aferida por métodos diretos. Fonte (IPCC, 2022)	<a href="#">18</a>
Figura 2.2	Alteração na temperatura média do planeta de acordo com os diferentes cenários futuros (IPCC, 2022)	<a href="#">19</a>
Figura 2.3	Índice de termicidade (cima) e índice de aridez (baixo) para Portugal, no presente e no cenário RCP8.5 (IPCC, 2022)	<a href="#">20</a>
Figura 2.4	Temperatura média anual e precipitação anual acumulada na região do Côa para os cenários futuros: RCP4.5 (acima) e RCP8.5 (abaixo) (IPCC, 2022)	<a href="#">21</a>
Figura 3.1	Localização da vinha e olival na região do Côa	<a href="#">28</a>
Figura 3.2	Produtividade potencial do olival (esquerda) e da vinha (direita) no presente e nos cenários futuros: RCP4.5 e RCP8.5	<a href="#">31</a>
Figura 4.1	Distribuição da amendoeira na região do Côa e na região agrária de Trás-os-Montes	<a href="#">42</a>
Figura 4.2	Produtividade (t) real e simulada para o período de 1986 a 2021, de acordo com o método <i>stepwise (forwards &amp; backwards)</i>	<a href="#">44</a>
Figura 4.3	Evolução das variáveis climáticas selecionadas pelo modelo: precipitação na 2º quinzena de maio (acima-esquerda– passado; acima-centro – futuro; acima-direita – diferença entre o futuro e o passado), radiação da 1º quinzena de janeiro e radiação da 1ºquinzena de maio	<a href="#">46</a>
Figura 4.4	Aplicação do modelo de produção (t) da amendoeira, para os períodos histórico (1991–2005 e 2006–2020) e futuro (2021–2035, 2036–2050, 2051–2065 e 2066–2080)	<a href="#">47</a>
Figura 5.1	Distribuição do castanheiro na região do Côa	<a href="#">56</a>
Figura 5.2	Percentagem média de ocorrência de (acima-esquerda) graus-dias de crescimento entre 1900–2400°C, (acima-centro) temperatura média anual 8–15°C, (abaixo-esquerda) dias de Verão com temperatura máxima inferior a 32°C, (abaixo-centro) precipitação anual acumulada 600–1600 mm, e (direita) <i>Chestnut Suitability Index</i> , para o período de base (1989–2005)	<a href="#">60</a>

Figura 5.3	Percentagem média de ocorrência de (acima-esquerda) graus-dias de crescimento entre 1900–2400°C, (acima-centro) temperatura média anual 8–15°C, (abaixo-esquerda) dias de Verão com temperatura máxima inferior a 32°C, (abaixo-centro) precipitação anual acumulada 600–1600 mm, e (direita) <i>Chestnut Suitability Index</i> , para o período de base (RCP4.5; 2041–2060)	<a href="#">61</a>
Figura 5.4	Percentagem média de ocorrência de (acima-esquerda) graus-dias de crescimento entre 1900–2400°C, (acima-centro) temperatura média anual 8–15°C, (abaixo-esquerda) dias de Verão com temperatura máxima inferior a 32°C, (abaixo-centro) precipitação anual acumulada 600–1600 mm, e (direita) <i>Chestnut Suitability Index</i> , para o período de base (RCP4.5; 2041–2060)	<a href="#">62</a>
Figura 5.5	Percentagem média de ocorrência de (acima-esquerda) graus-dias de crescimento entre 1900–2400°C, (acima-centro) temperatura média anual 8–15°C, (abaixo-esquerda) dias de Verão com temperatura máxima inferior a 32°C, (abaixo-centro) precipitação anual acumulada 600–1600 mm, e (direita) <i>Chestnut Suitability Index</i> , para o período de base (RCP4.5; 2061–2080)	<a href="#">63</a>
Figura 5.6	Percentagem média de ocorrência de (acima-esquerda) graus-dias de crescimento entre 1900–2400°C, (acima-centro) temperatura média anual 8–15°C, (abaixo-esquerda) dias de Verão com temperatura máxima inferior a 32°C, (abaixo-centro) precipitação anual acumulada 600–1600 mm, e (direita) <i>Chestnut Suitability Index</i> , para o período de base (RCP8.5; 2061–2080)	<a href="#">64</a>
Figura 6.1	Distribuição das áreas da região do Côa que desde 2007 são descritas como pastagem melhoradas e/ou espontâneas	<a href="#">72</a>
Figura 6.2	Variabilidade temporal do NDVI (“ <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> ”) das pastagens da região do Côa para os 263 meses, contados a partir de fevereiro de 2000 (acima) e visualização do SPEI (“ <i>Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index</i> ”) mensal (SPEI-1) para o período de 2000 a 2021 (abaixo)	<a href="#">73</a>
Figura 6.3	Vigor das pastagens na região do Côa para o conjunto de dados do passado recente (2000-2021), adaptado pelo modelo final (esquerda), e para o RCP4.5 (centro) e RCP8.5 (direita), obtido a partir da média dos valores NDVI. O vigor foi organizado em classes pelo método dos quantis e a representação da distribuição espacial é o resultado da interpolação (método “ <i>kriging</i> ”) entre o NDVI (resolução espacial de 0,1 graus) e o Modelo Digital de Elevação (MDE, resolução espacial de 30 m)	<a href="#">75</a>
Figura 7.1	Índice de Dias Secos Consecutivos para os períodos 1981–2010 (esquerda) e 2041–2070 (direita)	<a href="#">87</a>
Figura 7.2	Índice de Precipitação Simples para os períodos 1981–2010 (esquerda) e 2041–2070 (direita)	<a href="#">88</a>
Figura 7.3	Índice de dias com precipitação acima de 20 mm para os períodos 1981–2010 (esquerda) e 2041–2070 (direita)	<a href="#">89</a>
Figura 7.4	Índice de Dias Consecutivos de Verão para os períodos 1981–2010 (esquerda) e 2041–2070 (direita)	<a href="#">90</a>
Figura 7.5	Índice de Noites Tropicais para os períodos 1981–2010 (esquerda) e 2041–2070 (direita)	<a href="#">91</a>
Figura 7.6	Índice de Intervalo de Temperatura Extrema para os períodos 1981–2010 (esquerda) e 2041–2070 (direita)	<a href="#">92</a>
Figura 8.1	Perceção do nível de capacidade de fornecimento (média) e relevância do fornecimento (média) deserviços de ecossistemas pelas áreas vitivinícolas do Vale do Côa para os próximos 10 anos	<a href="#">101</a>
Figura 9.1	Plataforma interativa online ( <a href="http://coaclimaterisk.utad.pt">http://coaclimaterisk.utad.pt</a> )	<a href="#">111</a>



ÍNDICE DE QUADROS		Página
Quadro 1.1	População por concelho na região do Côa em 2020 e alteração desde 2011. Fonte: PORDATA (2022)	06
Quadro 7.1	Descrição dos índices climáticos e respetivas unidades	86
Quadro 8.1	Perceção da aplicação e adequação das medidas de gestão em sistemas vitivinícolas da região do Vale do Côa de acordo com a sua aplicação ao nível da planta, campo de cultivo/terreno e paisagem para o período atual (últimos 10 anos) e futuro (próximos 10 anos) (%)	100
Quadro 9.1	Compilação dos resultados obtidos no decorrer do projeto	109

AUTORIA IMAGENS		Página
Ana M. Marques, ©Adobe Stock Photos		45, 109
Antonio Ciero, ©Adobe Stock Photos		52
António Duarte, ©Adobe Stock Photos		24
António Jerónimo		II, 11,38
Bruno Ismael Alves, ©Adobe Stock Photos		34
CaptainMCCity, ©Adobe Stock Photos		59
Diana, ©Adobe Stock Photos		96
Juan Carlos Munoz, ©Adobe Stock Photos		100, 104
Paulo Marujo		5
Raalves, ©Adobe Stock Photos		IV
Renato Martinho, ©Adobe Stock Photos		1
Rui, ©Adobe Stock Photos		68
Sancha Campos, ©Adobe Stock Photos		16, 51, 82, 106
Tiago Fernandez, ©Adobe Stock Photos		XII





# 01 | A REGIÃO DO CÔA

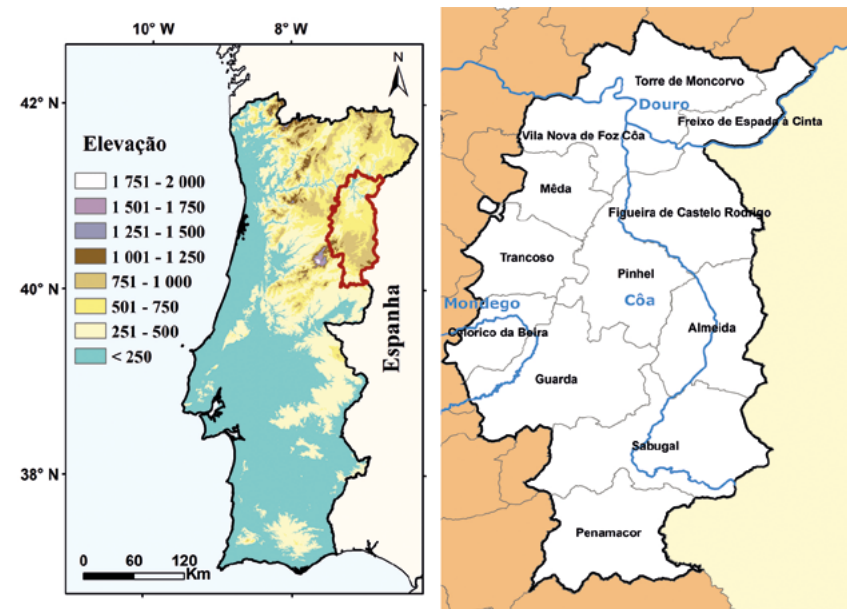




## .1 | A REGIÃO

A região do Côa, situada no nordeste de Portugal (Fig. 1.1), é conhecida pelos seus recursos naturais, pelas gravuras rupestres, e pela beleza do vale do rio Côa. O sustento da população local está intrinsecamente ligado à agricultura tradicional. Assim a região é envolvida por extensos olivais, vinhas, amendoais, entre outras espécies, que decoram a região a cada ciclo. No vale dos rios Côa e Douro (Fig. 1.2), no início da primavera, as amendoeiras florescem e a verdura das pastagens aumenta. Durante o verão, as árvores vão investindo no crescimento dos frutos. No final do verão e início de outono, as primeiras uvas e amêndoas são colhidas. Já em pleno outono, as vinhas cobrem-se com folhas de tons avermelhados e as castanhas são colhidas. Na última estação do ano, o inverno, as pessoas reúnem-se para a colheita da azeitona.

Figura 1.1 – Localização da região do Côa em Portugal (esquerda), localização dos municípios e rios principais que compõem a região do Côa (direita).



Esta região destaca-se pelo reconhecimento nacional e mundial. É constituinte da Região Demarcada do Douro e é Património Mundial da Humanidade, atribuído pela UNESCO (Côaparque, 2022). A distinção dada pela UNESCO refere-se à arte rupestre, que define





a região pela sua unicidade e incomparabilidade. Assim, desde o Paleolítico superior o ser humano tem registado as suas vivências, como é comprovado pelas gravuras encontradas nas rochas de xisto, que delimitam o leito do Côa (Fig. 1.3). Essas gravuras são testemunhos da vitalidade e mestria dos nossos antepassados, que deixaram uma extensa galeria de arte, que regista também o período Neolítico e da Idade do Ferro (Côaparque, 2022).

O vale do rio Côa é um local único no mundo por apresentar manifestações artísticas de ar livre inseríveis em diversos momentos da Pré-História, considerado o mais importante conjunto de figurações paleolíticas de ar livre até hoje conhecido. Este conjunto rupestre distribui-se ao longo de dois eixos fluviais principais: o rio Côa, numa extensão de cerca de 30 km e também o rio Douro, ao longo de cerca de 15 km. Até ao momento, mais de mil rochas com manifestações rupestres foram encontradas em mais de 70 locais distintos.

A descoberta pública da arte rupestre na região ocorreu em 1994, pelo arqueólogo Nelson Rebanda, durante a construção da barragem do Côa (Côaparque, 2022). No entanto, as pessoas da região já conheciam a existência dessas gravuras, mas não conhecia a sua antiguidade. Como resultado, a construção da barragem foi descontinuada para preservar a arte rupestre do vale do Côa. Em 1996, o governo português criou o Parque Arqueológico do Vale do Côa, para proteger e preservar essas manifestações artísticas. A classificação como Patrimônio Mundial pela UNESCO, em 2 de dezembro de 1998, foi um marco na história da Arte Rupestre, da Arqueologia e do Patrimônio Cultural em Portugal.

## .2 | DEMOGRAFIA

A região do Côa é uma área com uma densidade populacional relativamente baixa e é ocupada principalmente por pequenas comunidades rurais. O concelho com maior população é o da Guarda (sudoeste da região), seguido de Sabugal (sul da região) (Quadro 1.1). De acordo com dados estatísticos, a população da região do Côa tem vindo a diminuir nos últimos anos (PORDATA, 2022). Esta diminuição está associada a factores como: envelhecimento, reduzida natalidade e migração para áreas urbanas mais populosas. Torre de Moncorvo foi o concelho que perdeu maior população nos últimos 10 anos, e o concelho da Guarda foi o que perdeu menos população. De facto, o índice de envelhecimento da região é elevado, com uma proporção significativa de pessoas com mais de 65 anos. A maioria da população da região do Côa é de origem portuguesa e a língua oficial é o português. Há também uma pequena comunidade de estrangeiros, principalmente de países da Europa e da América do Sul.





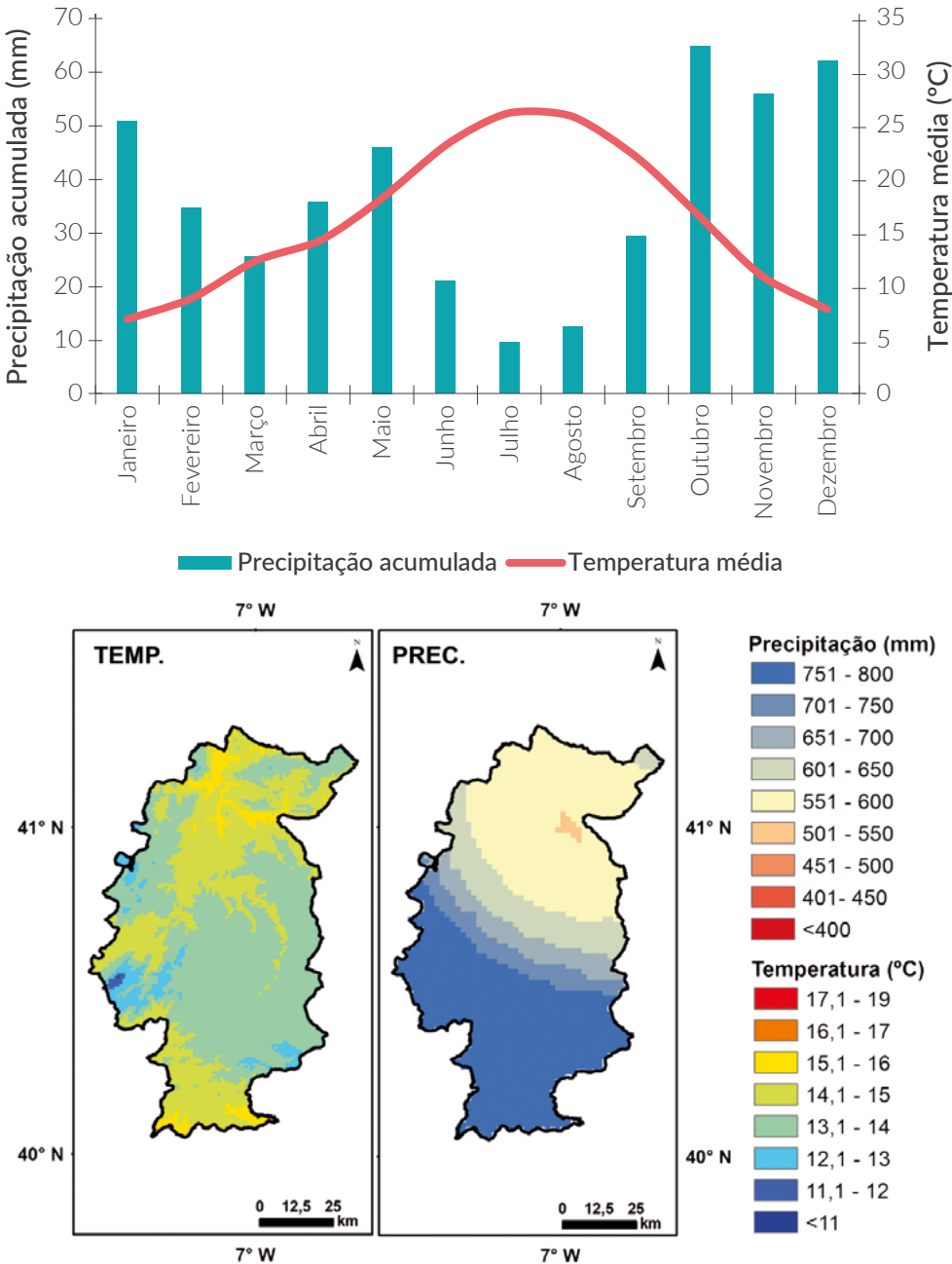
Quadro 1.1 – População por concelho na região do Côa em 2020 e alteração desde 2011.  
Fonte: PORDATA (2022).

Concelho	População residente (2020)	Alteração (2011-2020)
Torre de Moncorvo	6.826	-20,4
Freixo de Espada à Cinta	3.216	-14,9
Vila Nova de Foz Côa	6.304	-13,8
Mêda	4.630	-11
Figueira de Castelo Rodrigo	5.148	-17,8
Pinhel	8.092	-15,9
Trancoso	8.413	-14,8
Almeida	5.887	-18,7
Guarda	40.117	-5,7
Sabugal	11.280	-10,1
Penamacor	4.768	-16,1
Celorico da Beira	6.583	-14,4

.3 | CLIMA

A região do Côa é caracterizada por um clima temperado do subtipo mediterrânico, com invernos frios, e verões quentes e secos. Dentro da região é observado uma distinção entre a parte norte, mais seca e quente e a parte sul, mais húmida e fria. A temperatura média anual da região do Côa varia entre os 12°C a 15°C (Fig. 1.4 baixo-esquerda) e a precipitação está entre os 500 a 600 mm (Fig. 1.4 baixo-direita) (Herrera et al., 2019). Os invernos são geralmente frios, com temperaturas médias que alternam entre 0°C e 10°C (Fig. 1.4 acima). As chuvas são mais frequentes durante esta estação. Os verões são geralmente quentes, com temperaturas médias que variam entre 25°C e 35°C. A precipitação é menor durante esta estação, e os dias quentes e secos podem levar a condições de seca. A primavera e o outono são estações intermediárias, com temperaturas médias mais amenas e precipitação moderada. O relevo acentuado do vale do Côa, também tem elevada influencia no microclima da região, condicionando o tipo de vegetação aí existente. No geral, as condições climáticas na região do Côa podem ser bastante variáveis.

Figura 1.2 – Diagrama ombrotérmico médio da região do Côa (acima). Temperatura média anual (abaixo-esquerda), precipitação acumulada anual (abaixo-direita). Valores calculados a partir da base de dados Iberia01 (Herrera et al., 2019)





## .4 | SOLO

Os solos contribuem para definir as características peculiares da região do Côa. Esta é constituída principalmente por solos graníticos e xistosos (LNEC, 2010). Além disso, pode haver algumas áreas com solos de rocha metamórfica e granítica, nas margens do rio, dependendo da geologia local (Fig. 1.5). Os solos argilosos aparecem numa distribuição reduzida, tal com os quartzitos. Os solos do rio Côa são maioritariamente sedimentares (fluviais e aluviais).

Figura 1.3 – Carta geológica da região do Côa (tipo de rocha).



## .5 | HIDROLOGIA

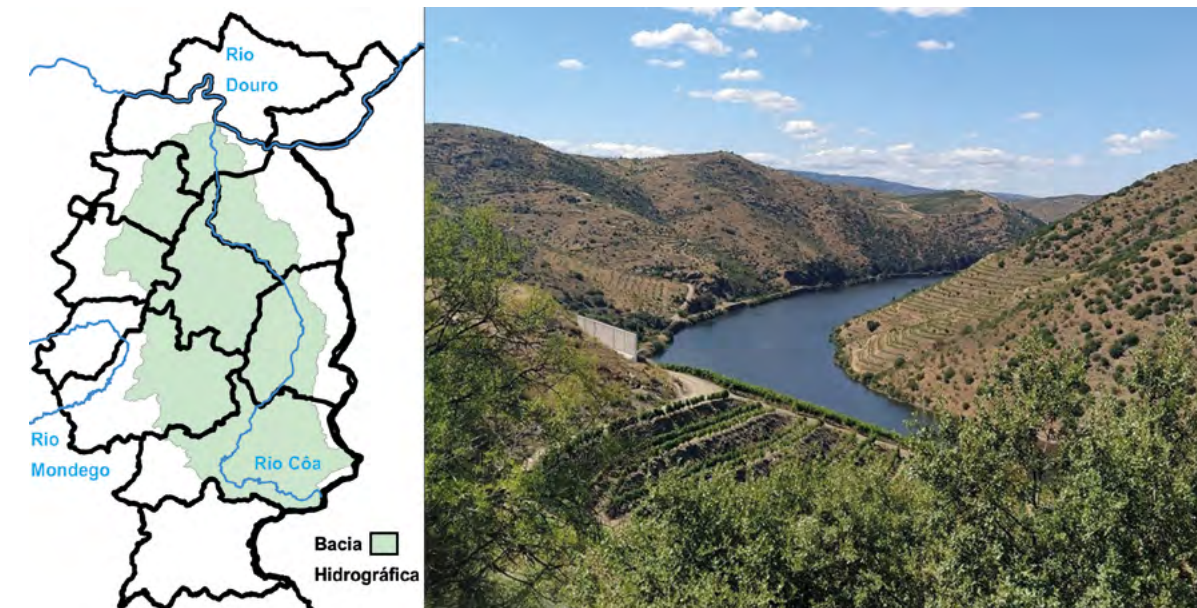
A hidrografia da região do Côa é distinguida pelo principal curso de água, o rio Côa. O rio nasce nas montanhas da Serra da Estrela, a mais elevada de Portugal, e desagua no rio Douro. A bacia hidrográfica do rio Côa tem cerca de 2.850 km<sup>2</sup> e é formada por vários afluentes menores (Fig. 1.6).

Ao longo de seu curso, o rio forma um vale profundo e característico, com encostas íngremes, devido à ação erosiva, que ocorre ao longo do tempo. Além do rio Côa, a região do Côa também conta com alguns cursos de água menores, como o rio Olo, o rio Bestança e o rio

Rabagão, todos eles afluentes do rio Côa. Esses rios e ribeirões também contribuem para moldar a paisagem da região e são importantes para a agricultura e pesca.

Os solos do rio Côa são principalmente fluviais e aluviais. Eles são formados pela deposição de sedimentos transportados pelo rio, como areia, cascalho, argila e limo. Esses solos são geralmente ricos em nutrientes e bem drenados, mas podem ser sujeitos a inundações sazonais.

Figura 1.4 – Bacia hidrográfica da região do Côa (esquerda). Rio Côa (direita). Créditos: Nathalie Guimarães



## TURISMO | .6

As principais atrações turísticas da região são as gravuras rupestres do vale do Côa, que datam de cerca de 22.000 a.C., que representam uma das mais importantes manifestações artísticas pré-históricas da Europa. As gravuras, que podem ser vistas em vários sítios arqueológicos ao longo do rio Côa, incluem figuras de animais e seres humanos que foram esculpidos ou desenhados nas rochas graníticas.

Além das pinturas rupestres, a região do Côa também é conhecida pelas suas características naturais. O Parque Natural do Vale do Côa é uma área protegida que abrange parte da bacia



do rio Côa e inclui um grande número de espécies animais e vegetais raras e endémicas. O Parque é frequentemente utilizado em contextos de caminhadas, passeios de barco e observação de aves, e é um importante destino para os amantes da natureza.

A região também é rica em património cultural e histórico. Alguns dos principais exemplos incluem os restos da antiga cidade romana de Cauca, que era um importante centro de mineração de prata no século I a.C., bem como as ruínas do Mosteiro de São João de Tarouca, um monumento religioso de grande relevância na Idade Média. Além disso, a região é conhecida pela sua gastronomia, com destaque para as amêndoas, figos, azeite, mel e vinho, que são as principais especialidades de Vila Nova de Foz Côa, conhecida como Capital da Amendoeira em Flor (Fig. 1.7).

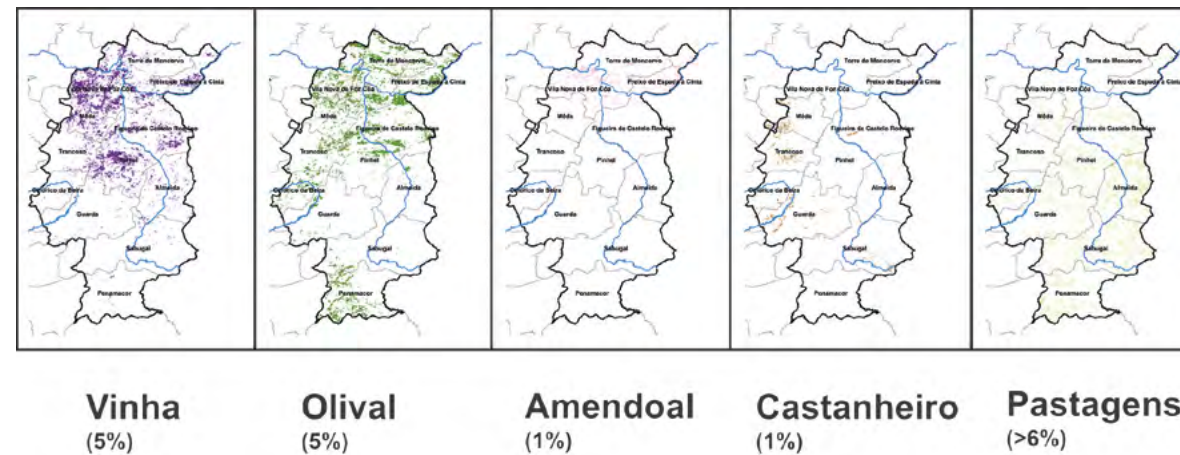
## .7 | AGRICULTURA

A região do Côa tem fortes ligações ao setor agrário, com tradições centenárias. Nesta região, a agricultura tem uma forte importância económica, social e cultural, contribuindo para o produto interno bruto regional e para o sustento dos seus habitantes. De facto, a agricultura é a base económica desta região, considerada Património da Humanidade pela UNESCO desde 1998. Na região do Côa, a vinha e o olival representam mais de 10% da área total de ocupação do solo (Fig. 1.8). Os mercados do vinho e do azeite representam uma forte fonte de rendimento para a maioria dos habitantes destas zonas. Além disso, parte da região do Côa está inserida na Região Demarcada do Douro (mais concretamente na sub-região do Douro Superior), uma conceituada DOP (denominação de origem protegida) e uma marca de vinho reconhecida mundialmente. Outras culturas, como a amendoeira, o castanheiro e os pastos fazem também parte da subsistência agronómica desta região, embora em menor escala. Assim, a amendoeira representa cerca de 1% da área da região, onde se destaca Vila Nova de Foz Côa como sendo considerada a Capital da Amendoeira em Flor, cujo reconhecimento para a agricultura local contribui também para o setor do turismo da região. O castanheiro, cerca de 1% da área total, é outra cultura de especial importância económica, pela qualidade das castanhas aqui produzidas. A região do Côa também é muito propícia para a produção de forragem. Nesse sentido, as pastagens, com quase 6% da área total são fundamentais para a sustentabilidade da região, especialmente usadas na alimentação de especialmente ovinos e bovinos.





**Figura 1.5** – Principais culturas agrícolas na região do Côa, de acordo com a base de dados “Carta de Ocupação e Uso do Solo” (COS, 2018).



## .8 | O PROJETO COACLIMATERISK

O projeto CoaClimateRisk (2020–2023), é um projeto científico, financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, desenvolvido com o intuito de avaliar os impactos das alterações climáticas, sobre as principais culturas agrícolas (vinha, olival, amendoeira, castanheiro e pastagens) na região do Côa. Liderado pelo Doutor Hélder Fraga, é composto por uma equipa multidisciplinar, e conta com parceiros de várias instituições nacionais e internacionais. A Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro é a instituição de base. A ADVID (Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense) e a SOGRAPE Vinhos S.A. são os parceiros mais próximos ao setor agroalimentar, que trabalham diariamente com produtores e com os desafios da produção. A Fundação CôaParque, que visa valorizar o património natural da região do Côa, é um constituinte essencial do projeto. Ainda, o projeto conta com a Universidade do Minho, especializada em estudos socioeconómicos e com dois consultores internacionais (Unifi – Itália e LIST – Luxemburgo). Este projeto foi elaborado de acordo com as políticas da UE, para promover medidas sustentáveis para minimizar os impactos negativos das alterações climáticas nas principais atividades socioeconómicas.

Como tem sido referenciado nos capítulos anteriores, as culturas agrícolas têm um elevado interesse económico, social e cultural para a região do Côa. E o clima tem vindo a apresentar algumas alterações nos padrões de temperatura e precipitação. Ao longo do último século, as temperaturas têm vindo a aumentar, enquanto a precipitação e a disponibilidade de água diminuem significativamente (IPCC, 2014). Os verões quentes e secos têm limitado a sustentabilidade das culturas agrícolas, principalmente devido à escassez de água durante o verão, fazendo com que essas culturas sejam particularmente vulneráveis (Fraga et al., 2016). As projeções futuras indicam que ocorrerá um aquecimento significativo e um aumento da aridez para as próximas décadas (Fraga et al., 2021). As alterações climáticas representam uma possível ameaça para o setor agrícola, sendo fundamental perceber a distribuição do clima no futuro e desenvolver medidas de adaptação que sejam úteis para o setor agrícola (Fraga et al., 2020). A implementação destas medidas tem como objetivo mitigar significativamente os impactos da mudança climática sobre essas culturas e sobre a economia regional/nacional, em geral.

Assim, o projeto visa desenvolver/aplicar metodologias de modelação de culturas, aplicar simulações de modelos climáticos de última geração e desenvolver medidas de adaptação. Para estudar os padrões climáticos, o projeto CoaClimateRisk, avaliou distintos Modelos Climáticos Regionais (RCMs) de última geração, forçados por cenários de emissão de gases de efeito estufa recém desenvolvidos, que são a base de construção das projeções climáticas de alta qualidade obtidas. Estas projeções climáticas são úteis para diversas análises, entre as quais a zonagem bioclimática de alta resolução das principais culturas na região, em climas atuais e futuros (até 2100). A técnica de zonagem bioclimática possibilita a observação da distribuição das espécies vegetais no período presente e no futuro. São, também, utilizados modelos dinâmicos de culturas para avaliar os impactos das alterações climáticas na produtividade potencial das culturas (e possivelmente noutros parâmetros) à escala local. Um estudo complementar, de elevado interesse, é a análise de impacto económico que avalia as atividades económicas que contribuem para o PIB regional e define indicadores diretos e indiretos da influência do clima (por exemplo, volumes de vendas e níveis de custo). O projeto CoaClimateRisk está estruturado para apresentar macro-cenários regionais socioeconómicos que representem a exposição às mudanças climáticas das diversas atividades socioeconómicas. Ao longo dos 3 anos, o plano do projeto foi realizado de acordo com as Tarefas (Fig. 1.9) pré-estabelecidas. Todas as tarefas do projeto estão interligadas e sequenciadas, para que os resultados fossem obtidos de forma estruturada e coerente.





Deste modo, o presente livro é a compilação dos distintos resultados obtidos, ao longo da execução do projeto. No capítulo 2 é analisado de forma preliminar o clima e alterações climáticas. No capítulo 3 são abordadas as culturas da vinha e do olival, seguido da amendoeira (capítulo 4), do castanheiro (capítulo 5) e das pastagens (capítulo 6). O tema do impacto dos extremos climáticos na região do Côa é explorado no capítulo 7. No capítulo 8 são analisados os impactos económicos das alterações climáticas na região. Por fim, no capítulo 9 abordam-se os pontos mais importantes deste extenso estudo.

Côaparque, 2022. Coaparque Foundation Website.

COS, 2018. Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS) de Portugal Continental para 2018. Direção-Geral do Território. In: D.-G.d. Território (Editor).

Fraga, H., García de Cortázar Atauri, I., Malheiro, A.C. and Santos, J.A., 2016. Modelling climate change impacts on viticultural yield, phenology and stress conditions in Europe. *Global Change Biol.*, 22(11): 3774-3788.

Fraga, H., Moriondo, M., Leolini, L. and Santos, J.A., 2021. Mediterranean Olive Orchards under Climate Change: A Review of Future Impacts and Adaptation Strategies. *Agronomy-Basel*, 11(1).

Fraga, H., Pinto, J.G., Viola, F. and Santos, J.A., 2020. Climate change projections for olive yields in the Mediterranean Basin. *Int. J. Clim.*, 40: 769-781.

Herrera, S. et al., 2019. Iberia01: a new gridded dataset of daily precipitation and temperatures over Iberia. *Earth Syst. Sci. Data*, 11(4): 1947-1956.

IPCC, 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

LNEC, 2010. Carta Geológica de Portugal.

PORDATA, 2022. Estatísticas, gráficos e indicadores.



## 02 | AS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E A AGRICULTURA

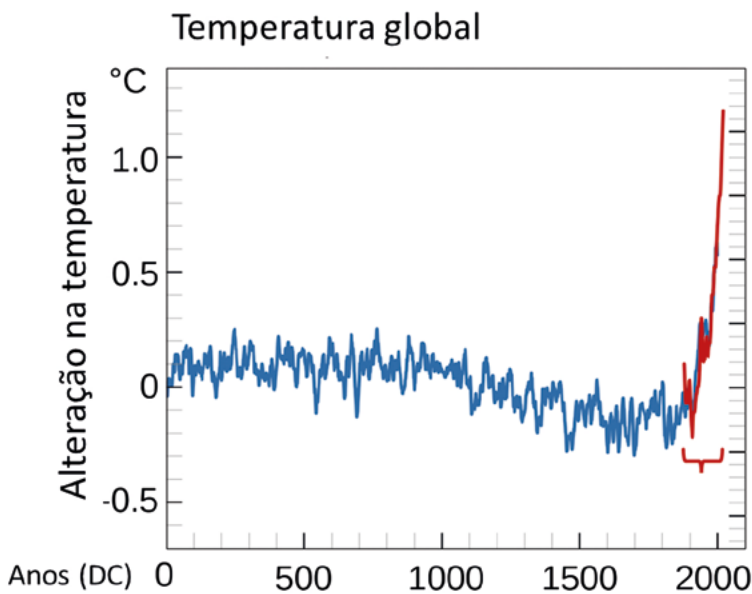




.1 | CENÁRIOS FUTUROS

As alterações climáticas são uma das maiores ameaças ambientais, sociais e económicas da atualidade. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2022) diz que o aquecimento global é evidente. Observações históricas confirmam o aumento da temperatura global do planeta, que leva ao derretimento da neve e do gelo e por consequência o aumento do nível do mar. A causa deste aquecimento global pode estar associada ao aumento da concentração dos gases de efeito estufa, causados pelas atividades humanas (Fig. 2.1).

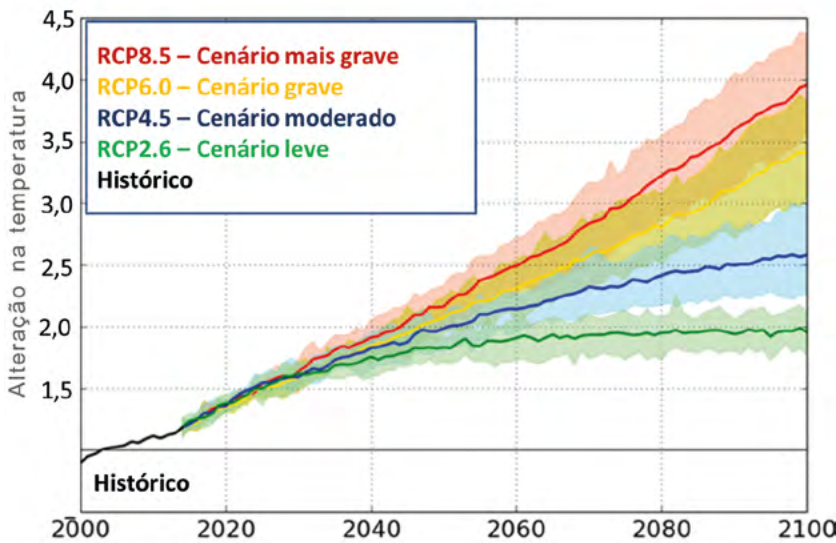
Figura 2.1 – Aumento da temperatura média global observada e simulada (factores naturais + humanos e factores apenas naturais). Linha azul – temperatura aferida por métodos indiretos; linha vermelha – temperatura aferida por métodos diretos. Fonte (IPCC, 2022).



Nos últimos 150 anos, a temperatura média mundial aumentou quase 0,8°C, e na Europa cerca de 1°C. Os últimos anos foram os mais quentes quando a temperatura da superfície da Terra foi medida instrumentalmente (desde 1850). O IPCC desenvolveu um conjunto de cenários futuros, denominados os RCP (“Representative Concentration Pathways”) ou os mais recentes SSP (“Shared Socioeconomic Pathways”) (Fig. 2.2). Estes cenários, com maior ou menor probabilidade de ocorrência, vão desde impactos menos gravosos (RCP2.6),

impactos moderados (RCP4.5) até impactos mais severos (RCP8.5). Como exemplo, no RCP4.5, assume-se que as emissões de CO<sub>2</sub> aumentam até meio do século XXI, diminuindo posteriormente, enquanto no RCP8.5 as emissões de CO<sub>2</sub> continuam a aumentar até ao final do século (IPCC, 2013). Estes cenários indicam que se não forem tomadas medidas globais para limitar as emissões dos gases de efeito de estufa, prevê-se um aumento da temperatura média da superfície da Terra de 1,8°C a 4°C, até 2100 (Fig. 2.2). Isso significa que o aumento da temperatura desde a era pré-industrial seria mais de 2°C. Além desse limite, podem ocorrer mudanças irreversíveis e catastróficas.

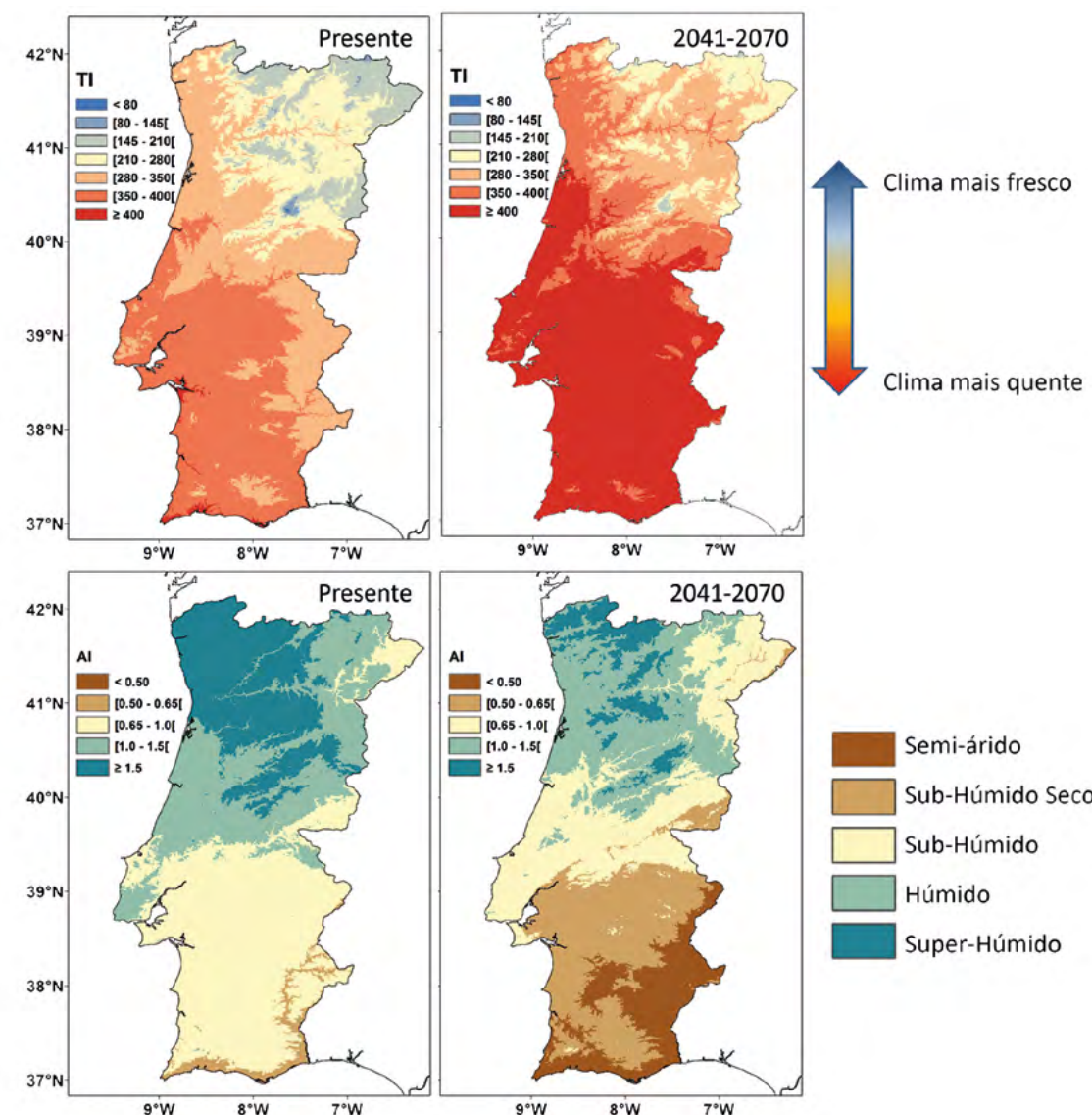
Figura 2.2 – Alteração na temperatura média do planeta de acordo com os diferentes cenários futuros. Fonte (IPCC, 2022).



Os efeitos das alterações climáticas já estão a ser observados por todo o globo. Para além do aumento da temperatura, eventos climáticos extremos, como ondas de calor, secas e inundações, também devem aumentar em frequência e intensidade. No caso da precipitação prevê-se uma redução nos valores. No sul da Europa, é esperado um aumento da temperatura conjugado com a diminuição da precipitação (Haylock et al., 2008).

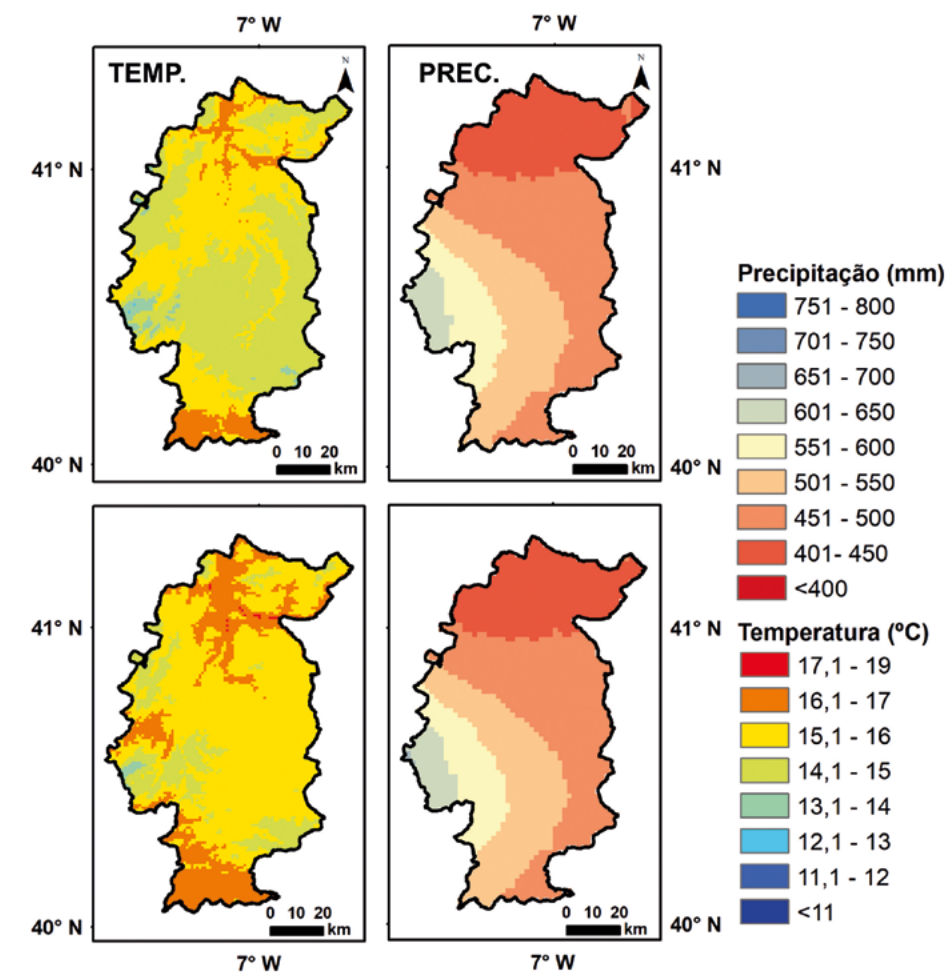


**Figura 2.3** – Índice de termicidade (cima) e índice de aridez (baixo) para Portugal, no presente e no cenário RCP8.5 (IPCC, 2022).



Portugal está em linha com as tendências do sul da Europa, sendo esperado um aumento significativo da temperatura (Fig. 2.3 cima) e um aumento da secura (Fig. 2.3 baixo), com severidades distintas dependendo do cenário futuro (Costa et al., 2017). A região do Côa, já atualmente bastante quente e seca, principalmente no Verão deve seguir estas tendências. Prevê-se uma diminuição da precipitação total anual (embora esteja previsto um aumento da chuva no inverno) e um aumento da temperatura média (Fig. 2.4).

**Figura 2.4** – Temperatura média anual e precipitação anual acumulada na região do Côa para os cenários futuros: RCP4.5 (acima) e RCP8.5 (abaixo) (IPCC, 2022).





As alterações climáticas afetam os ecossistemas naturais, a saúde humana e os recursos hídricos. Sectores empresariais como a agricultura sofrem as consequências mais negativas (Howden et al., 2007; Reidsma et al., 2010). As plantas precisam de solo, água, luz solar e calor adequados para crescer (Eitzinger et al., 2009). Contudo, as temperaturas mais altas já afetaram a duração da estação de crescimento em grande parte da Europa, com a floração e as datas de colheita vários dias e até semanas antes, e essas mudanças continuarão (Tubiello and Fischer, 2007). A norte da Europa, a produtividade agrícola pode aumentar devido a uma estação de crescimento mais longa e menos geadas (Fraga et al., 2016). Além disso, temperaturas elevadas e estações de crescimento mais longas permitem que novas plantas cresçam. No entanto, no sul da Europa, ondas de calor, chuvas reduzidas e pouca água disponível provavelmente reduzirão a produtividade das culturas (Fraga et al., 2020; Fraga et al., 2019). São também esperadas maiores flutuações anuais de produtividade devido a eventos climáticos extremos e outros factores, como pragas e doenças (Baker et al., 2000). Em certas áreas da região mediterrânea, algumas culturas de verão podem mudar para o cultivo de inverno devido ao calor extremo e ao stresse hídrico durante os meses de verão (Tubiello et al., 2002). Esta questão complexa requer uma abordagem política coerente e integrada para a mudança climática, energia e segurança alimentar. Devido às mudanças climáticas e à competição por recursos naturais escassos, a agricultura deve-se transformar e usar os recursos de maneira muito mais eficiente, reduzindo ainda mais seu impacto ambiental (Tubiello and Fischer, 2007). Medidas de adaptação às alterações climáticas necessitam de ser planeadas atempadamente por forma a poderem ser implementadas de uma forma sustentável pelos agentes do sector agrícola. Nesse sentido, a investigação da interação entre o clima, as alterações climáticas e as culturas agrícolas promovem a geração de conhecimento essencial para este sector e deve ser cada vez mais valorizada.

Baker, R.H.A. et al., 2000. The role of climatic mapping in predicting the potential geographical distribution of non-indigenous pests under current and future climates. *Agric Ecosyst Environ*, 82(1-3): 57-71.

Costa, R., Fraga, H., Fernandes, P.M. and Santos, J.A., 2017. Implications of future bioclimatic shifts on Portuguese forests. *Reg Environ Change*, 17(1): 117-127.

Eitzinger, J. et al., 2009. Applications of agroclimatic indices and process oriented crop simulation models in European agriculture. *Idojaras*, 113(1-2): 1-12.

Fraga, H., García de Cortázar Atauri, I., Malheiro, A.C. and Santos, J.A., 2016. Modelling climate change impacts on viticultural yield, phenology and stress conditions in Europe. *Global Change Biol.*, 22(11): 3774-3788.

Fraga, H., Molitor, D., Leolini, L. and Santos, J.A., 2020. What Is the Impact of Heatwaves on European Viticulture? A Modelling Assessment. *Applied Sciences*, 10(9): 3030.

Fraga, H., Pinto, J.G. and Santos, J.A., 2019. Climate change projections for chilling and heat forcing conditions in European vineyards and olive orchards: a multi-model assessment. *Clim Change*, 152(1): 179-193.

Haylock, M.R. et al., 2008. A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006. *J. geophys. Res.*, 113(D20): D20119.

Howden, S.M. et al., 2007. Adapting agriculture to climate change. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 104(50): 19691-19696.

IPCC, 2022. Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3-33, doi:10.1017/9781009325844.001.

Reidsma, P., Ewert, F., Lansink, A.O. and Leemans, R., 2010. Adaptation to climate change and climate variability in European agriculture: The importance of farm level responses. *Eur J Agron*, 32(1): 91-102.

Tubiello, F.N. and Fischer, G.I., 2007. Reducing climate change impacts on agriculture: Global and regional effects of mitigation, 2000-2080. *Technol. Forecast. Soc. Change*, 74(7): 1030-1056.

Tubiello, F.N., Rosenzweig, C., Goldberg, R.A., Jagtap, S. and Jones, J.W., 2002. Effects of climate change on US crop production: simulation results using two different GCM scenarios. Part I: Wheat, potato, maize, and citrus. *Clim Res*, 20(3): 259-270.



An aerial photograph of a hillside covered in terraced vineyards and olive groves. The terraces are built into the slope, with rows of grapevines and olive trees. A dirt road runs along the top of the hill. The text "03 | VINHA E OLIVAL" is overlaid on the left side of the image.

## 03 | VINHA E OLIVAL



## .1 | INTRODUÇÃO

A vinha e o olival são duas culturas de elevada importância a nível mundial. A Europa compreende alguns dos maiores produtores mundiais de uvas e azeitonas (Eurostat, 2014). A videira tem uma forte importância socioeconómica e cultural, devido ao próspero setor vitivinícola. A área de vinha na Europa é de cerca de 3 Mha, sendo Espanha (33%), França (26%), Itália (23%) e Portugal (6%), entre os países com maiores áreas (OIV, 2017). A área de olival representa cerca de 4,6 Mha na Europa (Eurostat, 2014), sendo que a produção de azeitona também se concentra nos países mediterrâneos, como Espanha (53%), Itália (24%), Grécia (15%) e Portugal (7%).

Na região do Côa, a vinha e o olival representam mais de 10% da área total de solo ocupado (Fig. 3.1). Os mercados do vinho e do azeite representam uma forte fonte de rendimento para a maioria dos habitantes desta região. Além disso, parte da região do Côa está inserida na Região Demarcada do Douro (mais especificamente na sub-região do Douro Superior), uma conceituada DOP (denominação de origem protegida) e uma “marca” de vinho reconhecida mundialmente. É sabido que tanto a oliveira como a videira são plantas altamente influenciadas por factores climáticos. Dadas as especificidades climáticas da região do Côa, estas culturas são particularmente adequadas para estas áreas. No entanto, prevê-se que as alterações climáticas tenham impactos significativos (Fraga et al., 2020a; Fraga et al., 2021; Fraga et al., 2020c; Leolini et al., 2020; Yang et al., 2021a). Os verões quentes e secos são limitantes para estas culturas, principalmente devido aos escassos recursos hídricos. A vinha e a oliveira são consideradas culturas bastante tolerantes à seca, com um requisito mínimo de precipitação anual de cerca de 350 mm (Fraga et al., 2020b; Ponti et al., 2014). No entanto, as mudanças climáticas podem ameaçar este equilíbrio delicado, caso não se implementem medidas de adaptação adequadas.

Os modelos de cultura estão cada vez mais a tornar-se em instrumentos padrão para apoiar a tomada de decisões na área agrícola (Campbell et al., 2016; Challinor and Wheeler, 2008; Paz et al., 2007; Semenov and Doblas-Reyes, 2007). Modelos de cultura mecanísticos/dinâmicos de última geração tentam essencialmente simular o crescimento e desenvolvimento da planta, integrando dados climáticos, características da planta e do solo e práticas de manejo (Moriondo et al., 2015; Olesen et al., 2011; Rosenzweig et al., 2014; van Ittersum et al., 2013). Apesar de serem aplicados a uma grande variedade de culturas em todo o mundo (ex. trigo, milho, arroz), os modelos de culturas ainda não são amplamente utilizados para videiras ou oliveiras, talvez devido à natureza perene destas culturas (Aguilera et al., 2015; Garcia-

Mozo et al., 2008; Moriondo et al., 2001; Orlandi et al., 2012; Oteros et al., 2014; Quiroga and Iglesias, 2009). No entanto, nas últimas décadas, alguns esforços foram desenvolvidos nessa linha de investigação e esses modelos estão sendo mais ativamente desenvolvidos e usados pelo sector (Cesaraccio et al., 2004; Cola et al., 2014; Coucheney et al., 2015; De Melo-Abreu et al., 2004; Gu, 2016; Maselli et al., 2012; Moriondo et al., 2019; Valade et al., 2014; Villaobos et al., 2006; Viola et al., 2012). Dada a sua grande complexidade, os modelos de culturas são continuamente atualizados com novos conhecimentos científicos e estão se tornando cada vez mais confiáveis e robustos.

O uso de conjuntos de dados climáticos de alta resolução espacial é de grande importância para o uso do modelo de cultura, pois é necessário capturar adequadamente a variabilidade ambiental dentro e entre as regiões, particularmente em termos de mudanças ambientais e agrícolas (IPCC, 2001). Isso é particularmente relevante para regiões com gradientes climáticos acentuados, como por exemplo regiões montanhosas, onde conjuntos de dados de baixa resolução podem não representar as condições microclimáticas da cultura. Na região do Côa, as vinhas e os olivais estão geralmente dispostos nos vales e estão muito dependentes da elevação, declive e orientação, que representam a complexidade da topografia do Côa (Fig. 3.1). Os efeitos meteorológicos locais são factores importantes que controlam tanto o desenvolvimento quanto a distribuição espacial dessas culturas. As diversas condições microclimáticas locais devem ser levadas em consideração para produzir resultados confiáveis do modelo de cultura.

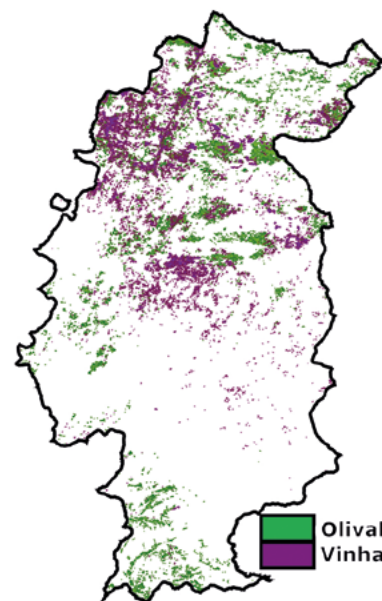
No presente estudo, é realizada uma avaliação dos impactos das alterações climáticas no rendimento potencial das oliveiras e vinhas na região do Côa. Para esse propósito, dois modelos dinâmicos de culturas diferentes são usados com conjuntos de dados espaciais de última geração para clima, solo, terreno e plantas. Dois cenários futuros, um cenário mais moderado e um cenário mais severo, são usados. As diferenças entre os rendimentos potenciais do passado recente e do futuro são discutidas, bem como possíveis medidas de adaptação para neutralizar os impactos negativos das mudanças climáticas.



## .2 | VINHA E OLIVAL NA REGIÃO DO CÔA

A região do Côa situa-se no norte de Portugal perto da fronteira com Espanha (Fig. 3.1). Para avaliar a distribuição dos olivais e vinhas na região do Côa, foi utilizado o conjunto de dados de cobertura do solo (COS2018). No que diz respeito às áreas de cultivo de olival e vinha (Fig. 3.1), a região possui aproximadamente 28 x 10<sup>3</sup> ha e 25 x 10<sup>3</sup> ha, respetivamente (COS, 2018). Relativamente à distribuição espacial, é evidente que estas duas culturas ocupam nichos muito semelhantes, embora a área de vinha esteja mais concentrada na zona norte da região, estando também as áreas da região vinícola do Douro Superior DOP. Na parte central da região, que é uma zona de maior altitude, encontram-se apenas vinhas, ao passo que, nas zonas mais a sul da região do Côa, encontram-se olivais.

Figura 3.1 – Localização da vinha e olival na região do Côa.



## .3 | MODELOS DE CULTURAS DA VINHA E OLIVAL

Dois modelos de culturas diferentes foram usados no presente capítulo, que já foram usados em vários outros estudos para avaliação de impacto de mudanças climáticas (Fraga et al., 2020a; Viola et al., 2012; Yang et al., 2021b). Esses modelos são executados

diariamente simulando o desenvolvimento do crescimento da cultura desde o início até o final da estação de crescimento e requerem um grande número de parâmetros que descrevem as condições locais, como características do perfil do solo (por exemplo, profundidade do solo, textura, porosidade); parâmetros culturais (por exemplo, índice de área foliar, início e fim da estação de crescimento) e variáveis meteorológicas diárias (por exemplo, precipitação, temperatura máxima e mínima).

Para a modelação da oliveira, o modelo dinâmico desenvolvido por Viola et al. (2012) foi usado (doravante modelo dinâmico olival). Este é um modelo de cultura que depende muito da disponibilidade de água (Viola et al., 2012), usado anteriormente em avaliações de alterações climáticas (Moriondo et al., 2015). Como este modelo requer alguns dados específicos (principalmente início e fim da estação de crescimento), outro modelo foi acoplado, desenvolvido por Orlandi et al. (2013). Este modelo fornece o início anual e o fim do ciclo vegetativo com base em um “índice de estação de crescimento” bioclimático das oliveiras.

A modelação da vinha foi baseada no modelo de cultura STICS (Brisson et al., 2008). Este modelo bem estabelecido foi desenvolvido pelo Instituto Nacional Francês de Pesquisa para Agricultura e Meio Ambiente (INRAE) e foi aplicado com sucesso para simular uma ampla variedade de culturas (Coucheney et al., 2015), incluindo a vinha (Fraga et al., 2015; García de Cortazar-Atauri, 2006; Valdes-Gomez et al., 2009). Além disso, este modelo de cultura também foi usado anteriormente para avaliação do impacto das mudanças climáticas em várias culturas (Brisson and Levrault, 2010; Courault and Ruget, 2001; Gonzalez-Camacho et al., 2008).

## DADOS DE CLIMA, SOLOS E PRÁTICAS CULTURAIS | .4

As variáveis climáticas diárias exigidas pelos modelos de cultura incluem: temperatura máxima, temperatura mínima, radiação solar, precipitação, velocidade do vento, humidade relativa e níveis de CO<sub>2</sub>. Todas essas variáveis foram obtidas de conjuntos de dados EURO-CORDEX (Jacob et al., 2014) para o período do passado recente (1981–2005) e o período futuro (2041–2070) em dois cenários climáticos distintos, ou seja, um cenário climático mais moderado (RCP4.5) e outro mais severo (RCP8.5). Para isso, um ensemble de dados de quatro modelos climáticos globais-regionais (GCM-RCM) foram obtidos do projeto EURO-CORDEX (Jacob et al., 2014) com uma resolução espacial de 12,5 km. Os modelos climáticos foram: “CNRM-CERFACS – SMHI-RCA4” do “Centre National de Recherches Météorologiques”; o “IPSL-



CM5A-MR – SMHI-RCA4” do “Institut Pierre Simon Laplace”; o “MOHC-HadGEM2 – SMHI-RCA4” do “Met Office Hadley Centre”; e o “MPI-M-MPI – SMHI-RCA4” do “Max Planck Institute”. Os dois cenários diferentes e quatro modelos GCM-RCM são importantes para aferir a incerteza que está associada à modelação climáticas no futuro. Dado que a resolução espacial de 12,5 km não é suficiente para captar essa heterogeneidade climática numa pequena região como o Côa, estes dados foram reduzidos para resolução espacial de 1 km usando uma metodologia de regressão linear multivariada, com latitude, longitude e elevação como variáveis independentes (Fick and Hijmans, 2017). Posteriormente, metodologias de correção de viés foram aplicadas usando a metodologia “Quantile Mapping” (Cofiño et al., 2017) para corrigir possíveis viés na abordagem de redução de escala.

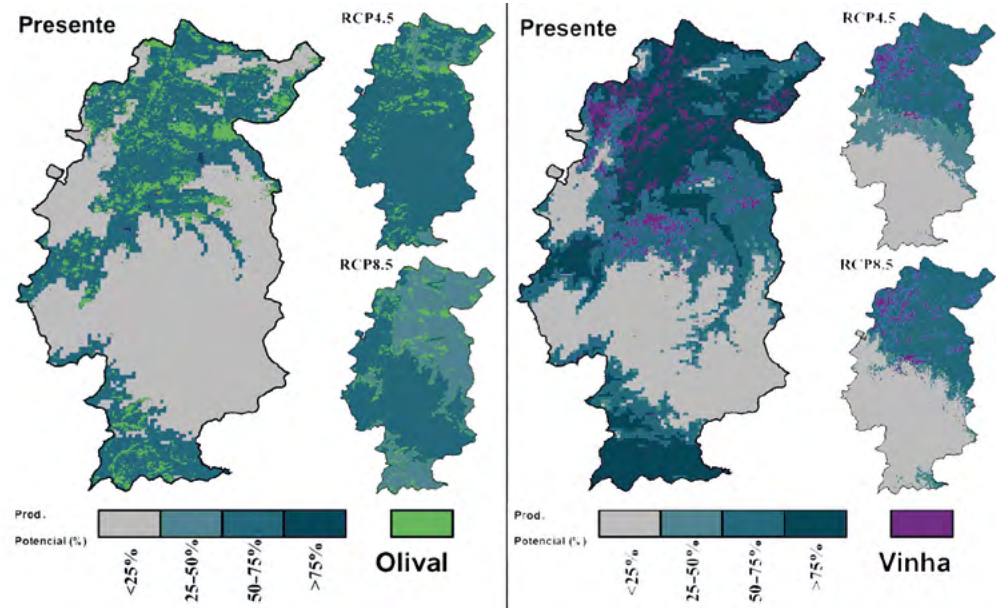
Os dados de solo exigidos pelos modelos de cultura foram obtidos do “Harmonized World Soil Dataset” (HWSD; FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC, 2012). As características do solo do HWSD estão disponíveis em duas camadas (profundidades 0–0,3 m e 0,3–1,0 m). Propriedades adicionais do solo foram estimadas usando funções de pedo-transferência (Bouma, 1989). Os dados topográficos foram obtidos a partir do modelo digital de elevação da DGT “Direção Geral do Território” com resolução espacial de 10 metros (<https://www.dgterritorio.gov.pt/cartografia/cartografia-topografica/modelos-digitais-do-terreno>). Relativamente às práticas de cultivo, foi necessário aplicar uma abordagem de modelação abrangente em larga escala, em toda a região do Côa. Assim, algumas suposições foram feitas sobre variedades usadas e práticas culturais. No entanto, estas suposições estão fundamentadas pelo auxílio de especialistas do sector e bibliografia.

.5 | IMPACTO DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NA VINHA E OLIVAL

Os modelos de culturas usam as variáveis diárias de entrada descritas e fornecem estimativas anuais de rendimentos potenciais. Os resultados são representados em quatro classes: 0–25% (produtividade baixa), 25–50% (produtividade média-baixa), 50–75% (produtividade média-alta) e 75–100% (alta produtividade).

No que diz respeito aos rendimentos potenciais do olival do passado recente (Fig. 3.2 esquerda), é visível que o modelo dinâmico da oliveira apresenta uma concordância muito boa com a distribuição dos olivais na região do Côa.

Figura 3.2 – Produtividade potencial do olival (esquerda) e da vinha (direita) no presente e nos cenários futuros: RCP4.5 e RCP8.5.



Esta é uma indicação clara de que o modelo é adequado para modelar os rendimentos potenciais desta cultura. No passado recente, o modelo projeta que as áreas de alto potencial de rendimento são muito limitadas. Com efeito, quase toda a região está dividida em duas classes de rendimento. As áreas mais a norte e mais a sul da região do Côa apresentam rendimentos potenciais moderadamente elevados, enquanto a parte central da região apresenta rendimentos potenciais baixos. Como já foi referido, nestas áreas de baixo potencial de rendimento quase não existem atualmente olivais. Estas são também zonas de grande altitude, que podem de facto apresentar condições desafiantes para as oliveiras, devido às baixas temperaturas noturnas (danos causados pelas geadas).

Em climas futuros, os padrões de rendimentos potenciais no Côa podem mudar drasticamente. Para ambos os cenários, os modelos de cultura mostram um aumento dos rendimentos potenciais nas áreas de alta altitude do Côa central. Isso pode de facto ser um efeito de temperaturas mais altas no clima futuro, melhorando as condições para a disseminação da oliveira. Pelo contrário, apesar desta melhoria das condições de cultivo nas zonas onde a aptidão para o olival é atualmente reduzida, nas restantes zonas os rendimentos potenciais tendem a diminuir.



Este impacto é mais pronunciado no RCP8.5, onde algumas áreas tendem a diminuir para rendimentos baixos a moderados em climas futuros.

No que diz respeito aos resultados do modelo STICS para a vinha, também há uma clara concordância entre os rendimentos potenciais modelados e a distribuição atual da cobertura vegetal da videira (Fig. 3.2 direita). O maior potencial de rendimento encontra-se na região norte do Côa, na sub-região vitivinícola do Douro Superior. Uma área de elevada produção de vinha encontra-se também no extremo sul da região do Côa, que não é atualmente povoada por vinhas. Isso pode ser resultado de uma limitação do próprio modelo STICS. Apesar desta desvantagem, é claramente demonstrado que o Côa apresenta atualmente rendimentos de moderado alto a alto potencial nas vinhas atuais.

Para o futuro, o modelo de cultivo mostra um resultado diferente para as videiras do que para as oliveiras. De facto, prevê-se que a produtividade da vinha diminua em todas as áreas de vinha do Côa. Prevê-se que todas as áreas diminuam em termos de rendimentos potenciais, novamente mais severamente sob RCP8.5. Em algumas regiões do Oeste, a queda é realmente severa, passando de rendimentos moderadamente altos para rendimentos baixos.

## .6 | DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O presente capítulo centra-se na aplicação de dois modelos de cultura a olivais e vinhas na região do Côa, para avaliar a produtividade potencial no presente (1981–2005) e futuro (2041–2070). Para esse propósito, os dois modelos de culturas foram combinados com conjuntos de dados de clima, solo de última geração. Os resultados da modelação para o passado recente identificam boa adequação das principais áreas produtoras em termos de produtividade potenciais e mostram uma concordância geral entre essas áreas e a cobertura atual do terreno para oliveiras e videiras.

Aplicadas a cenários de alterações climáticas, as projeções do modelo de cultura indicam diferentes impactos para essas duas culturas. A viticultura, atualmente estabelecida no Côa, sofrerá muitas alterações até meados do século XXI, devido à diminuição dos rendimentos potenciais projetados para a região. Embora não seja previsível a ocorrência de um cenário catastrófico, algumas áreas ainda podem sofrer grandes quedas no rendimento. No entanto, para a maior parte da região, incluindo parte da sub-região vitícola do Douro Superior, os rendimentos potenciais projetados situar-se-ão ainda na classe moderada, em ambos os cenários futuros.

Para a olivicultura, os impactos futuros parecem ser menos negativos. Grande parte da zona central da região do Côa, que até ao momento apresentava pouca aptidão para a produção de azeitona, muito provavelmente devido às baixas temperaturas nas cotas mais elevadas, tenderá a melhorar as suas condições climáticas para o cultivo da oliveira. De facto, temperaturas abaixo de -5°C tendem a danificar ramos de oliveira e limitar significativamente o seu desenvolvimento (Moriondo et al., 2015). As temperaturas mais elevadas no futuro tenderão a ser geralmente favoráveis, tornando estas regiões mais propícias para a cultura da oliveira. Estes resultados confirmam que a oliveira está particularmente adaptada a condições quentes e secas, tendo desenvolvido estratégias chave de sobrevivência. O pequeno tamanho da folha, alta refletância foliar e posições adaptadas à luz solar promovem diminuição da interceção da radiação e dissipação do calor (Brito et al., 2019). A oliveira também pode suportar valores muito negativos do potencial hídrico, e.g. potencial hídrico do caule até 8,0 MPa (Moriani et al., 2003). Além disso, a redistribuição hidráulica nas raízes da oliveira (permitindo que as raízes superficiais permaneçam ativas durante o verão) já foi documentada recentemente no sul de Portugal (Ferreira et al., 2018). Muitas outras estratégias da oliveira para melhorar a adaptabilidade à seca também foram relatadas anteriormente (Brito et al., 2019).

Refira-se, no entanto, que ambas as culturas, olival e vinha, são consideradas resilientes ao clima (Gambetta et al., 2020). Portanto, são um recurso valioso para reduzir a degradação dos solos e a desertificação na região do Côa. Para atingir este objetivo, deve-se dar atenção à promoção e adoção de medidas de adaptação nestes dois importantes setores. Uma das principais medidas de adaptação a climas mais quentes e secos no futuro é a melhoria da eficiência do uso da água nas culturas (Chaves et al., 2007; Dinis et al., 2017). A preparação do solo, com ou sem cobertura vegetal, também pode potencialmente aumentar a eficiência do uso da água e a humidade do solo (Bahar and Yasasin, 2010; Fraga and Santos, 2018). A escassez e a competição hídrica serão alguns dos principais problemas no futuro, e políticas sustentáveis de irrigação e agricultura inteligente também devem ser privilegiadas nesta região que já lida com stresse hídrico excessivo (Fraga et al., 2012).

Para se adaptar às alterações climáticas, os produtores/agricultores têm um papel crítico na tomada de decisões. Particularmente numa região do Côa, onde predominam as pequenas propriedades, o papel do agricultor é considerado crucial. Por exemplo, quando se planeia um novo olival ou uma nova vinha, é importante levar em consideração os estudos de alterações climáticas para as próximas décadas. Assim, especial atenção deve ser dada a uma seleção adequada da variedade/clone/porta-enxerto, tendo em conta não só o clima atual, mas também as projeções futuras. O material vegetal resistente à seca e ao calor deve



ser cuidadosamente selecionado, para melhor se adequar às características climáticas da região (Fraga et al., 2017; Santos et al., 2018).

No que diz respeito às novas áreas potenciais para o cultivo de oliveiras, esta pode ser vista como uma medida de longo prazo, uma vez que é possível a deslocação das culturas para cotas mais altas, para escapar ao stress estival (Orlandi et al., 2012). É evidente que o planeamento adequado e atempado de medidas de adaptação deve ser adotado pelos setores do azeite e do vinho. A adoção destas medidas deverá, no entanto, ser explorada em cada olival e vinha tendo em conta as especificidades de cada local.



REFERÊNCIAS | .7

Aguilera, F. et al., 2015. Airborne-pollen maps for olive-growing areas throughout the Mediterranean region: spatio-temporal interpretation. *Aerobiologia*, 31(3): 421-434.

Bahar, E. and Yasasin, A.S., 2010. The yield and berry quality under different soil tillage and clusters thinning treatments in grape (*Vitis vinifera* L.) cv. Cabernet-Sauvignon. *Afr J Agr Res*, 5(21): 2986-2993.

Brisson, N., Launay, M., Mary, B. and Beaudoin, N., 2008. Conceptual Basis, Formalisations and Parameterization of the STICS Crop Model. Editions Quae, Versailles, France, 297 pp.

Brisson, N. and Levrault, F., 2010. Climate change, agriculture and forests in France: simulations of the impacts on the main species. The Green Book of the CLIMATOR project (2007–2010). Green Book Climator. ADEME, Angers, 336.

Brito, C., Dinis, L.T., Moutinho-Pereira, J. and Correia, C.M., 2019. Drought Stresse Effects and Olive Tree Acclimation under a Changing Climate. *Plants-Basel*, 8(7).

Campbell, B.M. et al., 2016. Reducing risks to food security from climate change. *GLOBAL FOOD SECURITY-AGRICULTURE POLICY ECONOMICS AND ENVIRONMENT*, 11: 34-43.

Cesaraccio, C., Spano, D., Snyder, R.L. and Duce, P., 2004. Chilling and forcing model to predict bud-burst of crop and forest species. *Agric For Meteorol*, 126(1–2): 1-13.

Challinor, A.J. and Wheeler, T.R., 2008. Crop yield reduction in the tropics under climate change: Processes and uncertainties. *Agric For Meteorol*, 148(3): 343-356.

Chaves, M.M. et al., 2007. Deficit irrigation in grapevine improves water-use efficiency while controlling vigour and production quality. *Ann Appl Biol*, 150(2): 237-252.

Cofiño, A.S. et al., 2017. The ECOMS User Data Gateway: Towards seasonal forecast data provision and research reproducibility in the era of Climate Services. *Climate Services*.

Cola, G. et al., 2014. Description and testing of a weather-based model for predicting phenology, canopy development and source–sink balance in *Vitis vinifera* L. cv. Barbera. *Agric For Meteorol*, 184(0): 117-136.

COS, 2018. Carta de Uso e Ocupação do Solo. In: D.-G.d.T. (DGT) (Editor).

Coucheney, E. et al., 2015. Accuracy, robustness and behavior of the STICS soil–crop model for plant, water and nitrogen outputs: Evaluation over a wide range of agro-environmental conditions in France. *Environ. Model. Software*, 64(0): 177-190.

Courault, D. and Ruget, F., 2001. Impact of local climate variability on crop model estimates in the south-east of France. *Clim Res*, 18(3): 195-204.

De Melo-Abreu, J.P. et al., 2004. Modelling olive flowering date using chilling for dormancy release and thermal time. *Agric For Meteorol*, 125(1–2): 117-127.

Dinis, L.T. et al., 2017. Improvement of grapevine physiology and yield under summer stresse by kaolin-foliar application: water relations, photosynthesis and oxidative damage. *Photosynthetica*.

Eurostat, 2014. Agricultural production - orchards.

FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC, 2012. Harmonized World Soil Database (version 1.2). FAO, Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria.

Ferreira, M.I., Green, S., Conceicao, N. and Fernandez, J.E., 2018. Assessing hydraulic redistribution with the compensated average gradient heat-pulse method on rain-fed olive trees. *Pl. Soil*, 425(1-2): 21-41.

Fick, S.E. and Hijmans, R.J., 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *Int. J. Clim.*, 37(12): 4302-4315.

Fraga, H. et al., 2015. Modeling Phenology, Water Status, and Yield Components of Three Portuguese Grapevines Using the STICS Crop Model. *Am J Enol Vitic*, 66(4): 482-491.

Fraga, H., Costa, R. and Santos, J.A., 2017. Multivariate Clustering of Viticultural Terroirs in the Douro Winemaking Region. *Ciência Téc. Vitiv.*, 32(2): 142-153.

Fraga, H., Molitor, D., Leolini, L. and Santos, J.A., 2020a. What Is the Impact of Heatwaves on European Viticulture? A Modelling Assessment. *Applied Sciences*, 10(9): 3030.



Fraga, H., Moriondo, M., Leolini, L. and Santos, J.A., 2021. Mediterranean Olive Orchards under Climate Change: A Review of Future Impacts and Adaptation Strategies. *Agronomy-Basel*, 11(1).

Fraga, H., Pinto, J.G. and Santos, J.A., 2020b. Olive tree irrigation as a climate change adaptation measure in Alentejo, Portugal. *Agric Water Manag*, 237.

Fraga, H., Pinto, J.G., Viola, F. and Santos, J.A., 2020c. Climate change projections for olive yields in the Mediterranean Basin. *Int. J. Clim.*, 40(2): 769-781.

Fraga, H. and Santos, J.A., 2018. Vineyard mulching as a climate change adaptation measure: Future simulations for Alentejo, Portugal. *Agric Sys*, 164: 107-115.

Fraga, H., Santos, J.A., Malheiro, A.C. and Moutinho-Pereira, J., 2012. Climate Change Projections for the Portuguese Viticulture Using a Multi-Model Ensemble. *Ciência Téc. Vitiv.*, 27(1): 39-48.

Gambetta, G.A. et al., 2020. The physiology of drought stresse in grapevine: towards an integrative definition of drought tolerance. *J Exp Bot*, 71(16): 4658-4676.

Garcia-Mozo, H. et al., 2008. Olive flowering phenology variation between different cultivars in Spain and Italy: modeling analysis. *Theor Appl Clim*, 95(3): 385.

García de Cortazar-Atauri, I., 2006. Adaptation du modèle STICS à la vigne (Vitis vinifera L.). Utilisation dans le cadre d'une étude d'impact du changement climatique à l'échelle de la France. PhD thesis, Montpellier, SupAgro.

Gonzalez-Camacho, J.M., Mailhol, J.C. and Ruget, F., 2008. Local impact of increasing Co2 in the atmosphere on maize crop water productivity in the Drome valley, France. *Irrig. Drainage*, 57(2): 229-243.

Gu, S., 2016. Growing degree hours - a simple, accurate, and precise protocol to approximate growing heat summation for grapevines. *Int J Biometeorol*, 60(8): 1123-1134.

IPCC, 2001. Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, R.T.Watson and the Core Team, Eds., . CambridgeUniversity Press, Cambridge and New York, 398 pp.

Jacob, D. et al., 2014. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg Environ Change*, 14(2): 563-578.

Leolini, L. et al., 2020. Phenological Model Intercomparison for Estimating Grapevine Budbreak Date (Vitis vinifera L.) in Europe. *Appl Sci-Basel*, 10(11).

Maselli, F., Chiesi, M., Brilli, L. and Moriondo, M., 2012. Simulation of olive fruit yield in Tuscany through the integration of remote sensing and ground data. *Ecol Model*, 244: 1-12.

Moriana, A., Orgaz, F., Pastor, M. and Fereres, E., 2003. Yield responses of a mature olive orchard to water deficits. *J Am Soc Hortic Sci*, 128(3): 425-431.

Moriondo, M. et al., 2015. Modelling olive trees and grapevines in a changing climate. *Environ. Model. Software*, 72: 387-401.

Moriondo, M. et al., 2019. A simple model simulating development and growth of an olive grove. *Eur J Agron*, 105: 129-145.

Moriondo, M., Orlandini, S., Nuntiis, P.D. and Mandrioli, P., 2001. Effect of agrometeorological parameters on the phenology of pollen emission and production of olive trees (Olea europea L.). *Aerobiologia*, 17(3): 225-232.

OIV, 2017. World vitiviniculture situation - Statistical reporton World VitiViniculture, OIV, Sofia, Bulgaria, 20pp.

Olesen, J.E. et al., 2011. Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *Eur J Agron*, 34(2): 96-112.

Orlandi, F. et al., 2012. Potential shifts in olive flowering according to climate variations in Southern Italy. *Met. Appl.*, 20(4): 497-503.

Orlandi, F. et al., 2013. Climatic indices in the interpretation of the phenological phases of the olive in mediterranean areas during its biological cycle. *Clim Change*, 116(2): 263-284.

Oteros, J. et al., 2014. Better prediction of Mediterranean olive production using pollen-based models. *Agron Sustain Dev*, 34(3): 685-694.

Paz, J.O. et al., 2007. Development of an ENSO-based irrigation decision support tool for peanut production in the southeastern US. *Comput Electron Agric*, 55(1): 28-35.

Ponti, L., Gutierrez, A.P., Ruti, P.M. and Dell'Aquila, A., 2014. Fine-scale ecological and economic assessment of climate change on olive in the Mediterranean Basin reveals winners and losers. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 111(15): 5598-5603.

Quiroga, S. and Iglesias, A., 2009. A comparison of the climate risks of cereal, citrus, grapevine and olive production in Spain. *Agric Sys*, 101(1–2): 91-100.

Rosenzweig, C. et al., 2014. Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model

intercomparison. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 111(9): 3268-3273.

Santos, J.A., Costa, R. and Fraga, H., 2018. New insights into thermal growing conditions of Portuguese grapevine varieties under changing climates. *Theor Appl Clim*.

Semenov, M.A. and Doblas-Reyes, F.J., 2007. Utility of dynamical seasonal forecasts in predicting crop yield. *Clim Res*, 34(1): 71-81.

Valade, A. et al., 2014. ORCHIDEE-STICS, a process-based model of sugarcane biomass production: calibration of model parameters governing phenology. *Gcb Bioenergy*, 6(5): 606-620.

Valdes-Gomez, H. et al., 2009. Modelling Soil Water Content and Grapevine Growth and Development with the Stics Crop-Soil Model under Two Different Water Management Strategies. *J Int Sci Vigne Vin*, 43(1): 13-28.

van Ittersum, M.K. et al., 2013. Yield gap analysis with local to global relevance-A review. *Field Crops Res*, 143: 4-17.

Villaobos, F.J., Testi, L., Hidalgo, J., Pastor, M. and Orgaz, F., 2006. Modelling potential growth and yield of olive (Olea europaea L.) canopies. *Eur J Agron*, 24(4): 296-303.

Viola, F., Noto, L.V., Cannarozzo, M., La Loggia, G. and Porporato, A., 2012. Olive yield as a function of soil moisture dynamics. *Ecohydrology*, 5(1): 99-107.

Yang, C. et al., 2021a. Assessing the grapevine crop water stresse indicator over the flowering-veraison phase and the potential yield lose rate in important European wine regions. *Agric Water Manag*: 107349.

Yang, C. et al., 2021b. Simultaneous Calibration of Grapevine Phenology and Yield with a Soil–Plant–Atmosphere System Model Using the Frequentist Method. *Agronomy*, 11(8).



## 04 | AMENDOEIRA





## .1 | INTRODUÇÃO

A amendoeira [*Prunus dulcis* M. (D.A Webb) syn. *Prunus amygdalus* Batsch] pertence à família Rosacea e ao sub-genero *Amygdalus* (L.) (Bento et al., 2020). É originária das regiões quentes e áridas do sudoeste asiático e das encostas montanhosas mais baixas da Ásia central (Benmoussa et al., 2017). De acordo com os dados sobre alimentação e agricultura (FAOSTAT, 2022), em 2020, 4 milhões toneladas de amêndoa (com casca) foram produzidas, no mundo inteiro. A amendoeira é uma das espécies mais representativas da economia mundial, sendo produzida em vários pontos do planeta, com destaque para os continentes: América (2 milhões t), Ásia ( $648 \times 10^3$  t) e Europa ( $561 \times 10^3$  t). Na Europa, a região do Mediterrâneo, é caracterizada por apresentar condições climáticas favoráveis para o desenvolvimento da espécie. Portugal continental, tem revelado um crescimento na produção de amêndoa nos últimos anos, com uma área correspondente de  $52 \times 10^3$  ha e uma produção de  $32 \times 10^3$  t, em 2020 (FAOSTAT, 2022). E a região do Côa possui 5897 ha de amendoal. Em Portugal, as condições edafoclimáticas, as práticas de cultivo, e as variedades de amendoeira utilizadas definem cada região agrícola de forma peculiar (Aguiar et al., 2017). A região agrária de Trás-os-Montes e a região do Côa têm uma longa tradição no cultivo da espécie amendoeira, com relevância para a preservação da rusticidade das variedades autóctones e das práticas agrícolas (Santos e Teixeira, 2020). Como variedades autóctones que definem estas regiões existem: “José Dias”, “Duro da Estrada Grado”, “Duro Amarelo Grado” e “Casa Nova” (Oliveira et al., 2018; Santos e Teixeira, 2020).

O clima é um factor determinante para o desenvolvimento de qualquer espécie vegetal, e como tem vindo a ser referido, as alterações climáticas têm afetado cada vez mais as culturas agrícolas (Palanivel e Surianarayanan, 2019). As geadas e as chuvas de primavera, bem como, o aumento da temperatura e a redução da precipitação têm contribuído para o aumento dos riscos associados à sustentabilidade do amendoal (Doll et al., 2021). Como consequência, a produção pode ser afetada negativamente, e por isso, os produtores e a comunidade científica têm procurado soluções para antever e reduzir os efeitos das alterações climáticas sobre a cultura (Freitas et al., 2021). Uma das ferramentas usadas para a previsão de factores ligados ao amendoal é o recurso a métodos estatísticos avançados como os métodos de regressão *stepwise*. Estes têm sido utilizados na agricultura para desenvolver modelos de previsão de: produção, períodos de floração e colheita, e ocorrência de doenças (Ali et al., 2022; Ansarifar et al., 2021; Fraga et al., 2016; Liu et al., 2021; Mishra et al., 2016).

Assim, com o intuito de prever a produção da amendoeira para na região, em condições futuras, recorreu-se ao método matemático *stepwise (forwards & backwards)*. Na região do Côa, e também na região agrária de Trás-os-Montes, estudos que fornecem a previsão da produção da amendoeira são ainda incipientes, mas consideram-se de elevada importância para a economia do sector. Além disso, este estudo pode ser extrapolado para outras regiões, que apresentem características semelhantes às da região em estudo.

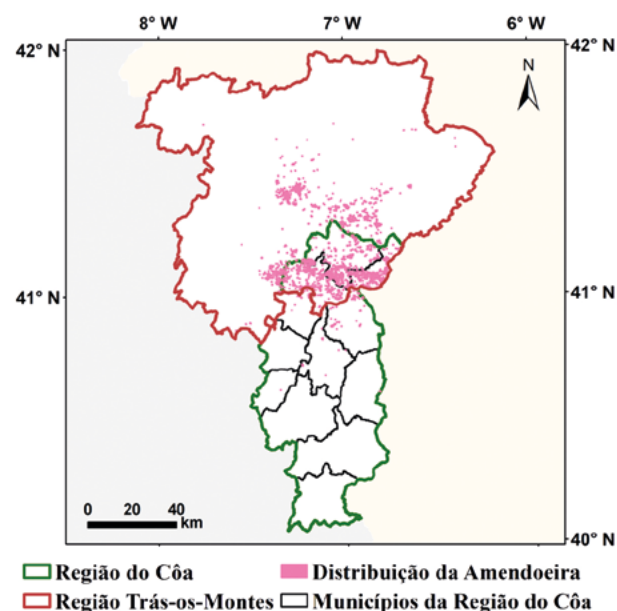
## DESCRIÇÃO DO AMENDOAL NA REGIÃO | .2

As regiões de Trás-os-Montes e do Côa, situadas a noroeste de Portugal, apresentam características edafoclimáticas diferenciadas, e que por consequência, permitem o desenvolvimento de culturas com necessidades distintas e com práticas agrícolas melhoradas (Lima, 1999). O clima nestas áreas é sub-atlântico/continental e mediterrânico (Lima 1999). Geralmente, os invernos são frios e chuvosos, por contraste os verões são quentes e secos (Bento et al., 2020).

Desde 1986 até 2021 que há registos da sua produção (t), sendo que em 2021, produziu-se cerca de  $17 \times 10^3$  t (Fig. 4.1), na região agrária de Trás-os-Montes (INE, 2022). Maioritariamente, o amendoal encontra-se nos distritos de Bragança e Viseu, mais especificamente na Zona Agrícola da Terra Quente. A produção de amêndoa, tem revelado uma variação acentuada desde 1986 até 2021, segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE, 2022). Esta região agrária, engloba também parte da região do Côa, particularmente o município de Vila Nova de Foz Côa, considerada a capital da amendoeira. O amendoal do Côa contribui de forma significativa para esta produção. Toda a região do Côa é composta por uma área total de 5897 ha de amendoal, sendo que na região do Côa os municípios de Torre de Moncorvo (2385 ha de amendoal), Freixo de Espada à Cinta (1487 ha) e Vila Nova de Foz Côa (1647 ha), os que se distinguem por apresentar maior área de amendoal. Na região, ainda se encontram variedades autóctones e a sua produção é tradicionalmente de sequeiro (Bento et al., 2020; Doll et al., 2021). No presente capítulo, a caracterização da distribuição do amendoal enquadra-se no inventário digital fornecido pelo Instituto Geográfico de Portugal (Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental-COS 2007) (Fonte: Direção-Geral do Território, <http://www.dgterritorio.pt/> (acedido em 24 de fevereiro de 2022). Áreas com a designação “Pomares de amendoeira”, “Pomares de amendoeira com vinha” e “Pomares de amendoeira com olival” foram selecionadas como fonte de dados.



Figura 4.1 – Distribuição da amendoeira na região do Côa e na região agrária de Trás-os-Montes.



### .3 | MÉTODO ESTATÍSTICO STEPWISE

A recorrência a técnicas estatísticas para a previsão da produção da amendoeira é cada vez mais frequente (Beigi et al., 2022). As previsões provenientes destes métodos são desenvolvidas a partir de dados históricos de produção, e não propriamente dos mecanismos fisiológicos específicos da cultura (Zhang et al., 2019). Utilizou-se o método de *stepwise*, que consiste na aplicação da metodologia de regressão linear múltipla para variáveis independentes/explicativas que possam descrever a variável dependente/observada (Ansarifar et al., 2021; StatisticsSolutions, n.d.). Assim, como variáveis explicativas utilizaram-se parâmetros de clima: temperatura média (°C); soma da precipitação (mm); humidade relativa (%); amplitude térmica e radiação (W/m<sup>2</sup>), e produção do ano anterior (t), para o período de 1986 a 2020. Relativamente às variáveis climáticas, os valores bissemanais introduzidos correspondem ao período de janeiro a maio. Este período corresponde à ocorrência das etapas de floração e diferenciação floral. Submeteram-se 41 variáveis independentes para 35 anos. A variável dependente é a produção (t) anual disponibilizada pelo Instituto Nacional de Estatística (INE, 2022), desde 1986 a 2020. Na aplicação do método, devido ao grande

número de potenciais preditores, foi realizada uma regressão multivariada por etapas (*forwards & backwards*) para a seleção das quatro variáveis mais representativas do modelo (Fraga et al., 2016; Liu et al., 2021). Ainda, foi aplicado um esquema de validação cruzada de *leave-one-out* para contabilizar o sobreajustamento do modelo (Fraga et al., 2016). Com base nos preditores selecionados pela metodologia, adaptou-se um modelo linear. Para a validação do modelo foram determinados o coeficiente de determinação ( $R^2$  e  $R^2$  ajustado) e a Raiz Quadrada do Erro Médio (RMSE) (Ali et al., 2022). Posteriormente, aplicou-se o modelo obtido às condições climáticas futuras.

### VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E PROJEÇÃO CLIMÁTICA FUTURA | .4

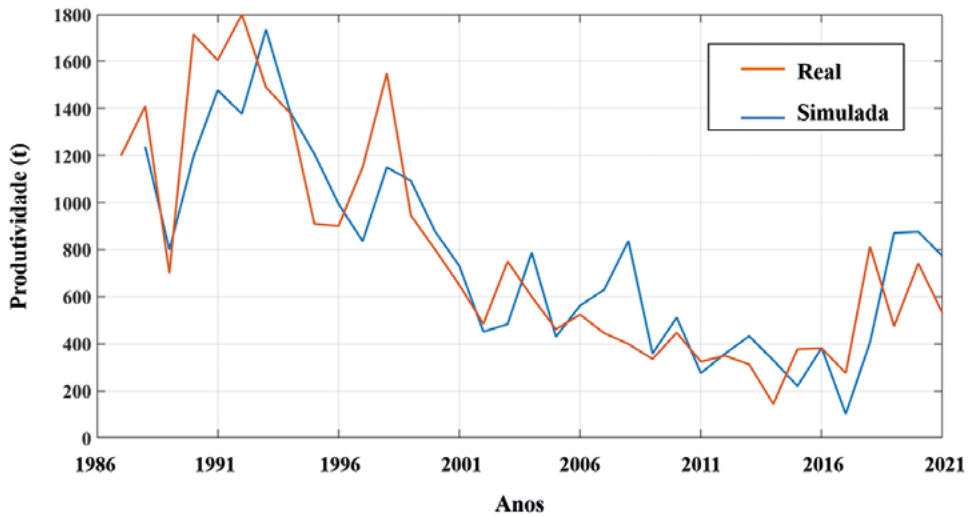
Para se obter os valores das variáveis climáticas estabelecidas recorreu-se a bases de dados de clima. Consideraram-se dois períodos: histórico (1986-2005) e futuro (2021-2080). E-OBS, versão 24.0e, é uma base de dados climática, que incorpora um vasto número de estações meteorológicas Europeias (Santos et al., 2017). Os dados diários estão disponíveis numa grelha de 0,25° de latitude × 0,25° de longitude (~25 km de espaçamento da grelha). Para a base de dados do futuro, proveniente do projeto EURO-CORDEX (0,11° latitude × 0,11° longitude grelha regular, ~12,5 km de resolução espacial), utilizou-se o modelo CNRM-CERFACS-CNRM-CM5 – RCA4 (Modelo Climático Global – Modelo Climático Regional) (Freitas et al., 2022). Para o futuro, utilizou-se o cenário RCP4.5, que considera um aumento de temperatura até ~2°C. Este cenário, especifica um forçamento radiativo de 4,5 W/m<sup>2</sup> com estabilização após meados do século XXI (Barredo et al., 2017; Thomson et al., 2011). Para os dois períodos consideraram-se as variáveis climáticas indicadas anteriormente: temperatura média, soma da precipitação, humidade relativa, amplitude térmica e radiação. Utilizou-se a base de dados histórica para calibrar as variáveis do modelo climático com o método de “*Quantile Mapping*” (“Mapeamento Empírico de Quantidades”) (Cofiño et al., 2018). Para tal, foi necessário colocar as duas bases de dados à mesma resolução, através de uma interpolação bilinear. Esta metodologia assegura que o viés entre o valor observado e o simulado seja corretamente ajustado (Fraga et al., 2020a). Os dados históricos foram aplicados no método *stepwise* para determinação do modelo de previsão da produção. Depois do modelo estar determinado, aplicaram-se os dados do futuro para avaliar a evolução da produção do amendoal.



.5 | MODELO DE PRODUÇÃO

O método de *stepwise (fowards & backwards)* selecionou as 4 variáveis independentes mais representativas da produção, obtendo um modelo que explica 75% da variância da série de produção de amêndoa regional ( $R^2 = 0,75$ ), com um  $R^2$  ajustado de 0,718. Quanto maior o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), melhor o modelo consegue explicar a produção (Ali et al., 2022). A Raiz Quadrada do Erro Médio (RMSE) explica o erro associado aos valores previstos em média dos valores observados (Liu et al., 2021). Neste caso o RMSE é de 30. As variáveis selecionadas pelo método foram: precipitação na 2ª quinzena de maio (A;  $p\text{-value}=0,0290$ ), a radiação da 1ª quinzena de janeiro (B;  $p\text{-value}=0,0069$ ), a radiação da 1ª quinzena de maio (C;  $p\text{-value}=0,0177$ ) e a produção do ano anterior (D;  $p\text{-value}=6,46e-08$ ) (Fig. 4.2).

Figura 4.2 – Produtividade (t) real e simulada para o período de 1986 a 2021, de acordo com o método stepwise (forwards & backwards).



As correlações das variáveis são positivas. A variável Z corresponde ao valor da produção do conjunto de entrada. Obteve-se a seguinte equação:

$$\text{Produção (t)} = (-3,5827) + (0,0129 * X(A)) + (0,0237 * X(B)) + (0,0075 * X(C)) + (0,6917 * X(D)) * \text{std}(Z) + \text{mean}(Z)$$

De acordo com a Figura 4.3, a precipitação na 2ª quinzena de maio varia entre a 1,2 a 3,1 mm. Em relação à radiação da 1ª quinzena de janeiro os valores variam entre 59 a 70 W/m². E os valores da radiação da 1ªquinzena de maio variam entre 227 a 252 W/m². A seleção destas variáveis, para além de ser fundamentada pelo modelo matemático, também pode ser justificada em termos fenológicos da planta. Com efeito, as variáveis enquadram-se com os estados fisiológicos da planta, em especial com o período de crescimento vegetativo, em que a precipitação e a radiação são um suporte de crescimento e contribuem para uma maior atividade da planta (Aguiar et al., 2017; Bento et al., 2020; Doll et al., 2021). A variável com maior influência é a produção do ano anterior (n), que afeta a produção do ano seguinte (n+1), uma vez que, durante o ano n ocorre o processo de diferenciação flores para o ano n+1.

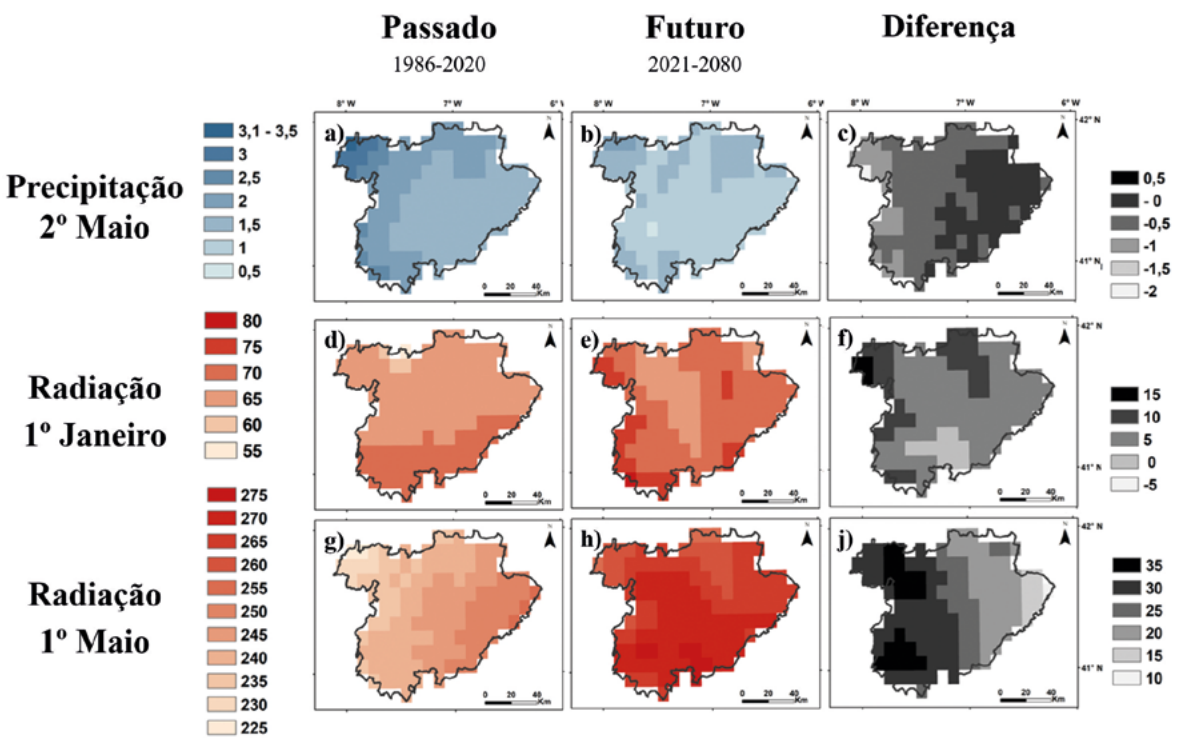




.6 | APLICAÇÃO DO MODELO DE PRODUÇÃO NO FUTURO

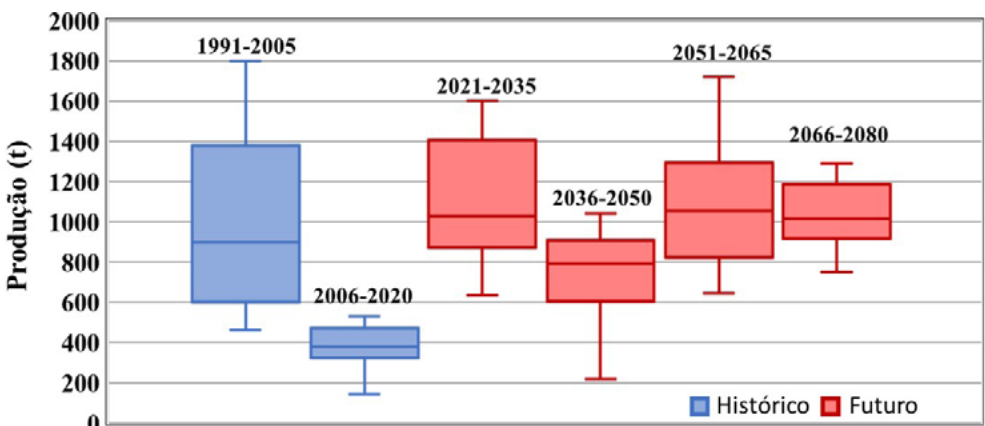
As variáveis climáticas, selecionadas pelo modelo, apresentam alterações significativas no futuro. De acordo com a Figura 4.3, os valores da precipitação na 2ª quinzena de maio observados foram de 0,6 a 1,7 mm. A radiação da 1ª quinzena de janeiro é de 63 a 75 W/m² e a radiação da 1ª quinzena de maio é de 253 a 272 W/m². De acordo com as diferenças determinadas, os valores de precipitação tendem a diminuir no futuro, com uma diferença entre -2 a 0,5 mm. Pelo contrário, a radiação tende a aumentar, para a 1ª quinzena de janeiro a diferença corresponde a -5 a 15 W/m² e para a 1ª quinzena de maio é de 10 a 35 W/m².

Figura 4.3 – Evolução das variáveis climáticas selecionadas pelo modelo: precipitação na 2º quinzena de maio (acima-esquerda – passado; acima-centro – futuro; acima-direita – diferença entre o futuro e o passado), radiação da 1º quinzena de janeiro e radiação da 1ºquinzena de maio.



A maior variância observada corresponde ao primeiro período do histórico (Fig. 4.4), muito devido à grande diminuição que ocorreu neste período, explicada anteriormente. Quando aplicado o modelo para os dados do futuro (2021 a 2080; RCP4.5), verificamos que a produtividade da amendoeira irá ter um aumento em relação ao último período histórico, acompanhada por um aumento em relação à variabilidade. As projeções em termos de variabilidade interanual poderá estar associada à instabilidade do clima e às alterações climáticas. As projeções até 2080 mostram que os valores de produtividade irão estar na ordem do primeiro período histórico. No entanto, não se prevê que haja uma tendência bem definida da produção.

Figura 4.4 – Aplicação do modelo de produção (t) da amendoeira, para os períodos histórico (1991-2005 e 2006-2020) e futuro (2021-2035, 2036-2050, 2051-2065 e 2066-2080).



DISCUSSÃO E CONCLUSÃO | .7

A recorrência a ferramentas de previsão da produção das culturas é cada vez mais frequente, uma vez que, são um utensílio indispensável nos dias de hoje, com o aumento da ocorrência de alterações climáticas, das necessidades de consumo da população e das transformações da economia mundial (Freitas et al., 2021). As regiões de Trás-os-Montes e do Côa são caracterizadas por práticas de cultivo tradicional da amendoeira, têm como características a preservação das variedades mais rústicas e da prática de sequeiro (Bento et al., 2020). Estas condições de cultivo podem ser ou não vantajosas no futuro. Como se tem vindo a verificar noutros locais como o Algarve, a os impactes da reduzida precipitação



têm sido minimizados com a implementação de sistemas de rega, e com a implementação de variedades mais resistentes às temperaturas elevadas de inverno e às geadas tardias que ocorrem na primavera (Doll et al., 2021).

Neste estudo, como factor determinante para avaliar a produção, considerou-se o clima. Assim, obteve-se um algoritmo otimizado com a combinação de 4 variáveis, que reproduzem a produção do amendoal em Trás-os-Montes e no Côa. Quando o modelo é aplicado às condições futuras, não se prevê que haja uma tendência bem definida da produção.

É possível concordar com Ansarifar et al., (2021), que defende que este método apresenta uma precisão relativamente elevada, no entanto, devido à natureza de caixa negra destes modelos, a precisão da previsão é sensível à estrutura do modelo e à calibração dos parâmetros, e pode ser difícil explicar por que razão as previsões são precisas ou imprecisas. No entanto, no presente estudo, as variáveis selecionadas, enquadram-se às necessidades fisiológicas da amendoeira, que é relevante nestes estudos em que os modelos são de carácter essencialmente matemático (Aguiar et al., 2017; Zhang et al., 2019).

Este modelo pode ser otimizado em estudo futuros, com a introdução de outras variáveis independentes como: práticas de cultivo, sistemas de rega, caraterísticas orográficas, índices bioclimáticos (Mishra et al., 2016). Também, pode ser extrapolado para outras regiões, como o Algarve. Ainda, o estudo pode ser complementado com recurso a outros modelos /métodos de análise estatística (Jin et al., 2020; Zhang et al., 2019). Outros estudos, para determinar o impacte das alterações climáticas na amendoeira podem ser realizados, como determinar as porções de frio e graus hora para as regiões em estudo.

Estes resultados são uma ferramenta importante para o produtor, associações agrícolas e para os gestores do setor. A recorrência a estes resultados poderá ser um auxílio para prever os impactes das alterações climáticas, bem como definir as medidas de adaptação mais indicadas á situação (Fraga et al., 2020b; Freitas et al., 2021).

Alexander, L., Allen, S., Bindoff, N., Breon, F.-M., Church, J., Cubasch, U., Emori, S., Forster, P., Friedlingstein, P., Gillett, N., Gregory, J., Hartmann, D., Jansen, E., Kirtman, B., Knutti, R., Kanikicharla, K., Lemke, P., Marotzke, J., Masson-Delmotte, V., Xie, S.-P., 2013. Climate change 2013: The physical science basis, in contribution of Working Group I (WGI) to the Fifth Assessment Report (AR5) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), in: Climate Change 2013: The Physical Science Basis.

Ali, I., Cawkwell, F., Dwyer, E., Barrett, B., Green, S., 2016. Satellite remote sensing of grasslands: from observation to management. *Journal of Plant Ecology* 9, 649–671. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtw005>

Allen, V. g., Batello, C., Berretta, E. j., Hodgson, J., Kothmann, M., Li, X., Mclvor, J., Milne, J., Morris, C., Peeters, A., Sanderson, M., The Forage and Grazing Terminology Committee, 2011. An international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass and Forage Science* 66, 2–28. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2010.00780.x>

Alves, V., Teixeira, A., 1996. Portuguese beef and sheep production systems. In *Extensification of beef and sheep production grassland*. pp. 220–226. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2813.0724>

Anderson, M.C., Hain, C., Wardlow, B., Pimstein, A., Mecikalski, J.R., Kustas, W.P., 2011. Evaluation of Drought Indices Based on Thermal Remote Sensing of Evapotranspiration over the Continental United States. *Journal of Climate* 24, 2025–2044. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3812.1>

Araújo, J.P., Cerqueira, J., Santos Vaz, P., Andrade, L., J, V.-R., AM, R., 2014. Extensive beef cattle production in Portugal.

Ausseil, A.-G., Weerden, T., Beare, M., Teixeira, E., Baisden, T., Liefvering, M., Guo, J., Keller, E., Law, R., Noble, A., 2019. Climate change impacts on land use suitability.

Bengtsson, J., Bullock, J.M., Egoh, B., Everson, C., Everson, T., O'Connor, T., O'Farrell, P.J., Smith, H.G., Lindborg, R., 2019. Grasslands—more important for ecosystem services than you might think. *Ecosphere* 10, e02582. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2582>

Bugalho, M., Abreu, J., 2008. The multifunctional role of grasslands.

Collins, M., Knutti, R., Arblaser, J., Dufresne, J.-L., Fichetef, T., Friedlingstein, P., Gao, X., Gutowski, W., Johns, T., Krinner, G., Shongwe, M., Tebaldi, C., Weaver, A., Wehner, M., 2014. Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. pp. 1029–1136.

Dumont, B., Andueza, D., Niderkorn, V., Lüscher, A., Porqueddu, C., Picon-Cochard, C., 2015. A meta-analysis of climate change effects on forage quality in grasslands: specificities of mountain and Mediterranean areas. *Grass and Forage Science* 70, 239–254. <https://doi.org/10.1111/gfs.12169>

Eurostat, 2022. Share of main land types in utilised agricultural area (UAA) by NUTS 2 regions. [WWW Document]. Data Browser. URL <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tai05/default/table?lang=en> (accessed 1.11.23).

FAO, 2022. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2022. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Fraga, H., Molitor, D., Leolini, L., Santos, J.A., 2020. What Is the Impact of Heatwaves on European Viticulture? A Modelling Assessment. *Applied Sciences* 10, 3030. <https://doi.org/10.3390/app10093030>

Hott, M.C., Carvalho, L.M.T., Antunes, M.A.H., Resende, J.C., Rocha, W.S.D., 2019. Analysis of Grassland Degradation in Zona da Mata, MG, Brazil, Based on NDVI Time Series Data with the Integration of Phenological Metrics. *Remote Sensing* 11, 2956. <https://doi.org/10.3390/rs11242956>

Isselstein, J., Kayser, M., 2014. Functions of grassland and their potential in delivering ecosystem services. *Grassl Sci Eur* 19, 199–214.

Liu, S., Zhang, Y., Cheng, F., Hou, X., Zhao, S., 2017. Response of Grassland Degradation to Drought at Different Time-Scales in Qinghai Province: Spatio-Temporal Characteristics, Correlation, and Implications. *Remote Sensing* 9, 1329. <https://doi.org/10.3390/rs9121329>

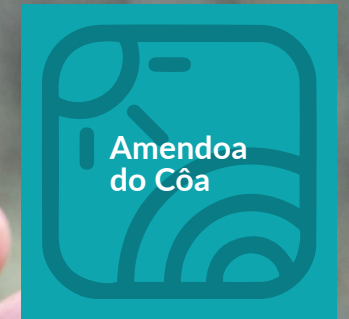
Mittermeier, R., Gil, P., Hoffmann, M., Pilgrim, J., Brooks, T., Mittermeier, C., Lamoreux, J., Fonseca, G., 2004. Hotspots Revisited. *Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions*, Conserv. Int.

Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Fonseca, G.A.B. da, Kent, J., 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403, 853.

O'Mara, F.P., 2012. The role of grasslands in food security and climate change. *Annals of Botany* 110, 1263–1270. <https://doi.org/10.1093/aob/mcs209>



- Parente, J., Pereira, M.G., Amraoui, M., Fischer, E.M., 2018. Heat waves in Portugal: Current regime, changes in future climate and impacts on extreme wildfires. *Science of The Total Environment* 631–632, 534–549. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.044>
- Peeters, A., Beaufoy, G., Canals, R., Vlieghe, A., Huyghe, C., Isselstein, J., Jones, G., Kessler, W., Kirilov, A., Mosquera-Losada, M.R., Nilsdotter-Linde, N., Parente, G., Peyraud, Jean-Louis, Pickert, J., Plantureux, S., Porqueddu, C., Rataj, D., Stypinski, P., Tonn, B., Wilkins, R.J., 2014. Grassland term definitions and classifications adapted to the diversity of European grassland-based systems. *Proceedings of the 25th European Grassland Federation Conference EGF at 50: The Future of European Grasslands* 19, 743–752.
- Pinto, P., Moreira, N., Pires, J., 1994. Lameiros de Trás-os-Montes. *Perspectivas de futuro para estas pastagens de montanha*.
- Pocas, I., Cunha, M., Pereira, L.S., 2006. Pastagens Seminaurais de Montanha: Lameiros, Sistemas Ancestrais no Século XXI, in: *Fc.up.pt. Presented at the Taller CYTED XVII, El Agua en Ibero-América: Tecnologías Apropriadas e Tecnologías Ancestrales*, Universidad Nacional de Piura-Peru, Lima, pp. 1–25.
- Porqueddu, C., Ates, S., Louhaichi, M., Kyriazopoulos, A.P., Moreno, G., del Pozo, A., Ovalle, C., Ewing, M.A., Nichols, P.G.H., 2016. Grasslands in 'Old World' and 'New World' Mediterranean-climate zones: past trends, current status and future research priorities. *Grass and Forage Science* 71, 1–35. <https://doi.org/10.1111/gfs.12212>
- Reichstein, M., Ciais, P., Papale, D., Valentini, R., Running, S., Viovy, N., Cramer, W., Granier, A., Ogée, J., Allard, V., Aubinet, M., Bernhofer, Chr., Buchmann, N., Carrara, A., Grünwald, T., Heimann, M., Heinesch, B., Knohl, A., Kutsch, W., Loustau, D., Manca, G., Matteucci, G., Miglietta, F., Ourcival, J. m., Pilegaard, K., Pumpanen, J., Rambal, S., Schaphoff, S., Seufert, G., Soussana, J.-F., Sanz, M.-J., Vesala, T., Zhao, M., 2007. Reduction of ecosystem productivity and respiration during the European summer 2003 climate anomaly: a joint flux tower, remote sensing and modelling analysis. *Global Change Biology* 13, 634–651. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01224.x>
- Reinermann, S., Asam, S., Kuenzer, C., 2020. Remote Sensing of Grassland Production and Management—A Review. *Remote Sensing* 12, 1949. <https://doi.org/10.3390/rs12121949>
- Schils, R.L.M., Bufer, C., Rhymer, C.M., Francksen, R.M., Klaus, V.H., Abdalla, M., Milazzo, F., Lellei-Kovács, E., Berge, H. ten, Bertora, C., Chodkiewicz, A., Dămățircă, C., Feigenwinter, I., Fernández-Rebollo, P., Ghiasi, S., Hejduk, S., Hiron, M., Janicka, M., Pellaton, R., Smith, K.E., Thorman, R., Vanwalleghe, T., Williams, J., Zavattaro, L., Kampen, J., Derkx, R., Smith, P., Whittingham, M.J., Buchmann, N., Price, J.P.N., 2022. Permanent grasslands in Europe: Land use change and intensification decrease their multifunctionality. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 330, 107891. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.107891>
- Serrano, J., Shahidian, S., Paixão, L., Marques da Silva, J., Morais, T., Teixeira, R., Domingos, T., 2021. Spatiotemporal Patterns of Pasture Quality Based on NDVI Time-Series in Mediterranean Montado Ecosystem. *Remote Sensing* 13, 3820. <https://doi.org/10.3390/rs13193820>
- SNIG, 2022. Carta de Uso e Ocupação do Solo - 2018. [WWW Document]. Registo Nacional de Dados Geográficos. URL <https://snig.dgterritorio.gov.pt/rndg/srv/por/catalog.search#/home> (accessed 1.11.23).
- Soussana, J.-F., Klumpp, K., Ehrhardt, F., 2014. The role of grassland in mitigating climate change. Presented at the 25th General Meeting of the European Grassland Federation, Institute of Biological, Environmental and Rural Sciences (IBERS), p. 919 p.
- Starks, P.J., Steiner, J.L., Neel, J.P.S., Turner, K.E., Northup, B.K., Gowda, P.H., Brown, M.A., 2019. Assessment of the Standardized Precipitation and Evaporation Index (SPEI) as a Potential Management Tool for Grasslands. *Agronomy* 9, 235. <https://doi.org/10.3390/agronomy9050235>
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., de Haan, C., 2006. Livestock's long shadow.
- Taube, F., Gierus, M., Hermann, A., Loges, R., Schönbach, P., 2014. Grassland and globalization – challenges for north-west European grass and forage research. *Grass and Forage Science* 69, 2–16. <https://doi.org/10.1111/gfs.12043>
- Wang, R., Gamon, J.A., Montgomery, R.A., Townsend, P.A., Zygierbaum, A.I., Bitan, K., Tilman, D., Cavender-Bares, J., 2016. Seasonal Variation in the NDVI–Species Richness Relationship in a Prairie Grassland Experiment (Cedar Creek). *Remote Sensing* 8, 128. <https://doi.org/10.3390/rs8020128>
- Xu, B., Yang, X.C., Tao, W.G., Miao, J.M., Yang, Z., Liu, H.Q., Jin, Y.X., Zhu, X.H., Qin, Z.H., Lv, H.Y., Li, J.Y., 2013. MODIS-based remote-sensing monitoring of the spatiotemporal patterns of China's grassland vegetation growth. *International Journal of Remote Sensing* 34, 3867–3878. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.762696>







## 05 | CASTANHEIRO



O castanheiro (*Castanea* spp., família Fagaceae) tem uma elevada importância ecológica, económica e cultural no mundo (Larue et al., 2021). É cultivado devido à relevância dos frutos (castanhas) e da madeira. As castanhas são utilizadas para consumo de forma fresca ou transformada, devido ao seu elevado valor nutricional (Bellat et al., 2019). Estes frutos secos são caracterizadas pelas diferentes dimensões, sabores, ou doçura, dependendo da variedade. A madeira do castanheiro é amplamente utilizada na construção de edifícios e mobiliário (Bellat et al., 2019; Pereira et al., 2011). Além disso, durante as últimas décadas, foi incentivada a produção de cogumelos comestíveis cultivados em castanheiros (Henriques & Borges, 2017).

O castanheiro que predomina em Portugal é *Castanea sativa*, que se encontra em povoamentos florestais naturais e seminaturais, ou em povoamentos geridos, incluindo pomares e plantações modernas (Costa et al., 2017; Pérez-Girón et al., 2020). Maioritariamente, os soutos situam-se a nordeste do país. Em termos de produção, Portugal é o maior produtor europeu de castanha por área (FAOSTAT, 2022). Em 2021, produziu  $37 \times 10^3$  toneladas, para uma área de  $50 \times 10^3$  ha (FAOSTAT, 2022). Na região do Côa encontra-se uma área aproximada de 5678 ha de castanheiros.

O desenvolvimento e crescimento do castanheiro é largamente influenciado por factores edafoclimáticos, tais como: orografia, distribuição da água do solo e condições climáticas. Com efeito, esta árvore prospera desde as condições mediterrânicas quentes e secas até às condições frescas e húmidas nas regiões atlânticas (Freitas et al., 2021; Pérez-Girón et al., 2020). No entanto, sendo uma espécie mesófila, tem preferência por climas temperados quentes. As melhores condições para o seu crescimento são temperatura e humidade moderadas (Furones Pérez and Fernández López, 2009; Gomes-Laranjo et al., 2009). Normalmente, encontram-se numa altitude entre o nível do mar e 1800 m, embora altitudes entre 700 e 1000 m oferecem as melhores condições para a produção de frutos (Henriques, 2017; Pereira et al., 2011). Esta espécie decídua, desenvolve-se em regiões com temperaturas médias anuais entre 8–15°C e temperaturas médias mensais, durante o seu ciclo vegetativo, acima dos 6–8°C. A precipitação anual ideal corresponde a valores entre 600–700 mm a 1500–1600 mm (Baptista et al., 2010; A. Carneiro-Carvalho et al., 2019; Menéndez et al., 2015). O castanheiro tolera bem temperaturas máximas até 27–31°C, suporta temperaturas mínimas absolutas de até –16°C e adapta-se ao ambiente com temperaturas médias mensais superiores a 10°C, durante pelo menos 6 meses (Zhang et al.,

2011). Pode exibir termoinibição quando a temperatura do ar é superior a 32°C (Calheiros et al., 2012; Gomes-Laranjo et al., 2009). Durante o período de acumulação de calor (maio a outubro), são contabilizados 60 000 graus-horas (GDH; °C) e 1900–2400 graus-dia (GDD; °C) de crescimento (Dinis et al., 2011a; Santos et al., 2017). Em relação ao período de acumulação de frio (dormência), a espécie necessita de >90 CP (porções de frio) (Santos et al., 2017).

Quando ocorrem alterações nos padrões de precipitação e temperatura, bem como a incidência de eventos climáticos extremos a sustentabilidade dos soutos é comprometida. Com o aumento da temperatura prevista para as próximas décadas, espera-se um aumento do stresse hídrico e por consequência, redução no potencial hídrico; maior ocorrência na proliferação das pragas e doenças, como a propagação de *C. parasitica* e redução da resistência sistematicamente adquirida das árvores hospedeira; alteração no crescimento e taxas de desenvolvimento das plantas (Bindi and Olesen, 2011; Conedera et al., 2021; Fraga et al., 2020a). A restrição nos valores de precipitação, também provoca efeitos negativos no bem-estar das árvores, como por exemplo o défice de água no solo e stresse hídrico das plantas, que afeta o crescimento e desenvolvimento das mesmas, levando à produção de órgãos mais pequenos (Bacelar et al., 2007; Farooq et al., 2009; Mota et al., 2018a). Também, a alteração nos padrões da humidade do ar pode provocar o desenvolvimento da doença da tinta (*Phytophthora cinnamomi*) e da podridão da raiz branca (*Armillaria mellea*) (Aguin-Pombo et al., 2008).

No presente capítulo, pretende-se desenvolver métricas climáticas que sejam essenciais ao desenvolvimento do castanheiro, como a temperatura e precipitação, que podem ser utilizadas como instrumento de zoneamento bioclimático. Os indicadores bioclimáticos são amplamente utilizados para estudos de mapeamento da distribuição espacial para prever as influências climáticas nas plantas, especialmente ao avaliar os impactos potenciais das alterações climáticas na distribuição das espécies (Mesquita e Sousa, 2009). Assim, será possível, avaliar a influência do climática na distribuição do castanheiro. De acordo com os resultados obtidos, pretende-se expor medidas de adaptação face aos desafios apresentados.

Como objetivos, pretende-se: (1) avaliar a zonagem bioclimática do castanheiro, utilizando dados climáticos de alta resolução; (3) identificar as condições climáticas representativas associadas ao atual cultivo do castanheiro em Portugal; e (4) avaliar futuras alterações nas zonas bioclimáticas em cenários de alterações climáticas; (5) sugerir medidas de adaptação para situações menos favoráveis ao desenvolvimento do castanheiro.

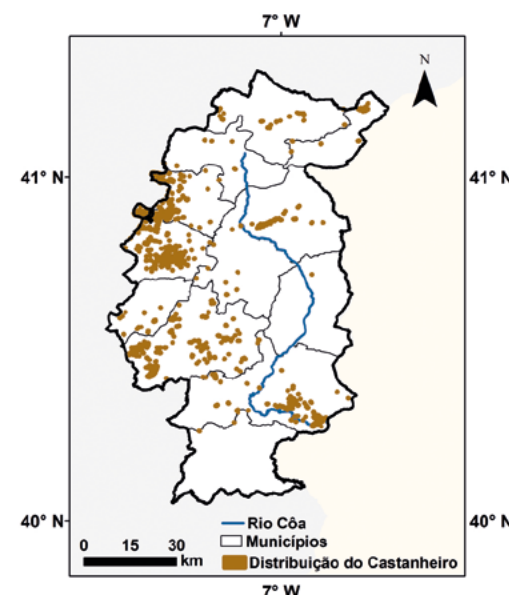


## .2 | DISTRIBUIÇÃO DO CASTANHEIRO NO CÔA

Neste estudo, a caracterização da área da castanha foi baseada no inventário digital fornecido pelo Instituto Geográfico de Portugal (Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental–COS 2007) (Fonte: Direção-Geral do Território, <http://www.dgterritorio.pt/> (acedido a 15 de setembro de 2021)) (DGT, 2007; Pérez-Girón et al., 2020; Santos et al., 2019). Áreas com a designação "Florestas de castanheiro" e "Pomares de castanheiro" foram selecionadas como fonte de dados para identificar os sistemas agroflorestais castanheiros (Fig. 5.1).

Esta espécie destaca-se na região do Côa, com uma área correspondente a 5678 ha, com maior predominância para o município de Trancoso (noroeste da região do Côa). O município de Trancoso constitui parte do território de Denominação de Origem Protegida (DOP) – “Soutos da Lapa” (Freitas et al., 2022).

Figura 5.1 – Distribuição do castanheiro na região do Côa. Fonte (DGT, 2007)



## VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E DAS PROJEÇÕES CLIMÁTICAS | .3

Uma avaliação abrangente das alterações climáticas é realizada com base num conjunto multimodelo de vários cenários para avaliar os potenciais impactos das alterações climáticas nas áreas de cultivo de castanheiros. Foram interpoladas bases de dados de clima para estudar os períodos histórico e futuro. Utilizaram-se variáveis climáticas do período histórico (Iberia01; 1971–2015) e do futuro, com dois períodos: 2041–2060 e 2061–2080, ao abrigo do RCP4.5 e RCP8.5. Para os climas futuros, foram aplicadas quatro modelos diferentes provenientes do modelo climático global (GCM) – modelo climático regional (RCM), do conjunto de dados EURO–CORDEX: IPSL IPSL CM5A MR-WRF331F, ICHEC EC EARTH-RACMO22E, MPI M MPI ESM LR-CCLM4-8-17 e CNRM CERFACS CNRM CM5-RCA4 (Costa et al., 2017; Rahman et al., 2019).

Como variáveis climáticas utilizaram-se: temperaturas mínima, média e máxima diárias, e precipitação total diária (Fraga et al., 2020b). O conjunto de dados Iberia01 fornece estas variáveis numa grelha regular de 0,10° latitude × 0,10° longitude, enquanto as variáveis EURO–CORDEX estão numa grelha de 0,11° × 0,11° (Fraga et al., 2020c; Jacobsen, 2014). Os cenários selecionados abrangem uma vasta gama de incertezas relativamente a climas futuros, onde a temperatura aumenta de ~2°C no RCP4.5 para ~4°C no RCP8.5 (médias globais) (Rahman et al., 2019). A grelha de alta resolução Iberia01 foi recalculada (interpolação bilinear) para corresponder à grelha EURO-CORDEX mais grosseira (~12,5 km, 0,11° latitude × longitude grelha regular).

## ÍNDICES BIOCLIMÁTICOS | .4

No presente estudo, as variáveis climáticas são tomadas como as principais restrições de primeira ordem da distribuição do castanheiro. Estes indicadores bioclimáticos preservam as características climáticas que são fisiologicamente relevantes para o crescimento das plantas e distribuição das espécies e são amplamente utilizados no estudo do mapeamento da distribuição espacial para prever as influências climáticas sobre as plantas, especialmente ao avaliar os impactos potenciais das alterações climáticas na distribuição das espécies (Mesquita and Sousa, 2009). Aqui, são considerados 4 índices bioclimáticos: (i) graus-dias (GDD, em °C), (ii) temperatura média anual (AMT, em °C), (iii) o número de dias de Verão com temperatura máxima inferior a 32°C (NTX; em °C) e (iv) precipitação anual acumulada (PRE, em mm), para cada modelo climático, período e cenário (Arnold, 1960).



Estes limiares são explicados sucintamente a seguir:

- (i) O GDD para o castanheiro é geralmente a soma da temperatura acima de 6°C, entre maio e outubro. As áreas de castanheiro devem atingir um GDD de 1900–2400°C (Dinis et al., 2011b; Freitas et al., 2021);
- (ii) Um AMT entre 8 e 15°C é geralmente considerada para o castanheiro, uma vez que esta árvore é um clima temperado e uma espécie termófila moderada (Henriques and Borges, 2017; Zhang et al., 2011);
- (iii) Em relação ao NTX, a espécie pode exibir termoinibição (a produção é reduzida mais de 50%) quando a temperatura do ar é superior a 32°C (Calheiros et al., 2012; Freitas et al., 2021);
- (iv) Para PRE, as precipitações entre 600 e 1600 mm são geralmente favoráveis, proporcionando geralmente um teor suficiente de água no solo. Valores inferiores a 600 mm podem requerer irrigação adicional, enquanto que níveis de precipitação excessivos podem ser prejudiciais quando ocorrem durante a primavera-verão (Menéndez et al., 2015; Pereira et al., 2011).

Estes quatro índices são complementares e refletem os principais factores climáticos que normalmente influenciam o crescimento e desenvolvimento dos castanheiros. Embora a resolução espacial de 12,5 km possa ser considerada já elevada para avaliações gerais das alterações climáticas, é ainda muito limitativa para avaliações agronómicas em áreas com fortes gradientes espaciais, tais como os resultantes de orografia complexa. Por conseguinte, foi aplicada uma metodologia de redução de escala aos índices bioclimáticos calculados com base numa abordagem de *kriging* e dados de elevação a 25 m de resolução. Esta metodologia permite caracterizar as influências meso climáticas nas culturas em todo o país.

Os indicadores bioclimáticos acima mencionados foram calculados para cada período temporal. Para cada ano e índice bioclimático, se um determinado campo de grelha de resolução espacial atingir o limiar correspondente, é atribuído um valor de 1 a esse campo de grelha. Caso contrário, é atribuído o valor 0. Subsequentemente, os resultados são apresentados como a percentagem de anos em cada período que cumpre o limiar bioclimático pré-definido. Finalmente, é desenvolvida uma categorização agregada que integra todos os índices bioclimáticos, ou seja, GDD, AMT, NTX e PRE. Este índice versátil combina informação sobre características bioclimáticas regionais e é, portanto, designado doravante como *Chestnut Suitability Index* (CSI). Para o cálculo do CSI, todos os índices têm os mesmos pesos, uma vez que não há estudos que sugiram um maior impacto de um índice sobre o outro.

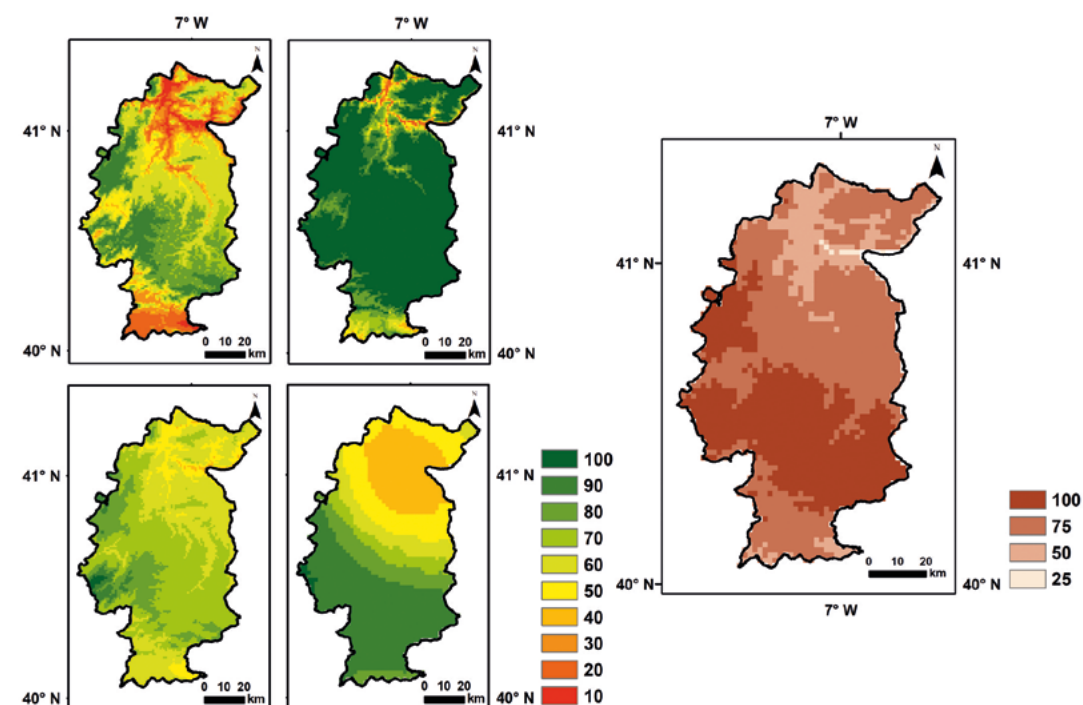
## ZONAS BIOCLIMÁTICAS DO CASTANHEIRO NO PRESENTE E FUTURO | .5

A Figura 5.2 representa a zonagem bioclimática para a distribuição do castanheiro no período histórico (Iberia01; 1989-2005). De acordo com a exigência do GDD para o crescimento e desenvolvimento do castanheiro, existe uma distribuição heterogénea na região do Côa (Fig. 5.2 acima-esquerda). Nas altitudes mais baixas, a percentagem de GDD é inferior a 40%. No centro da região, onde a altitude é maior, as áreas são adequadas ao desenvolvimento do castanheiro (aptidão de 50–100%). No caso do AMT (Fig. 5.2 acima-centro), a maior parte da região é caracterizada por condições favoráveis para o cultivo do castanheiro (aptidão próxima dos 100%). O contrário observa-se nas áreas de baixa altitude (Rio Douro e parte do Rio Côa). No caso do índice NXT (Fig. 5.2 abaixo-esquerda), os valores variam entre 40 a 100%, apresentando a região oeste valores mais elevados. O PRE (Fig. 5.2 abaixo-centro) revela valores heterogéneos. A norte da região observam-se os valores menores (40–60%), onde a precipitação é reduzida, e a sul os valores maiores (70–100%). A Figura 5.2 (direita) apresenta a combinação das quatro condições, o CSI, mostrando uma percentagem para o castanheiro que varia entre 25 e 100%. As áreas oeste e centro da região apresentam valores de CSI de aproximadamente 75-100%, enquanto que o CSI é de quase 50% no norte e sul da região. Em relação à área dos soutos que se encontram em Trancoso (parte da DOP de “Soutos da Lapa”), esta destaca-se por valores 100% CSI.





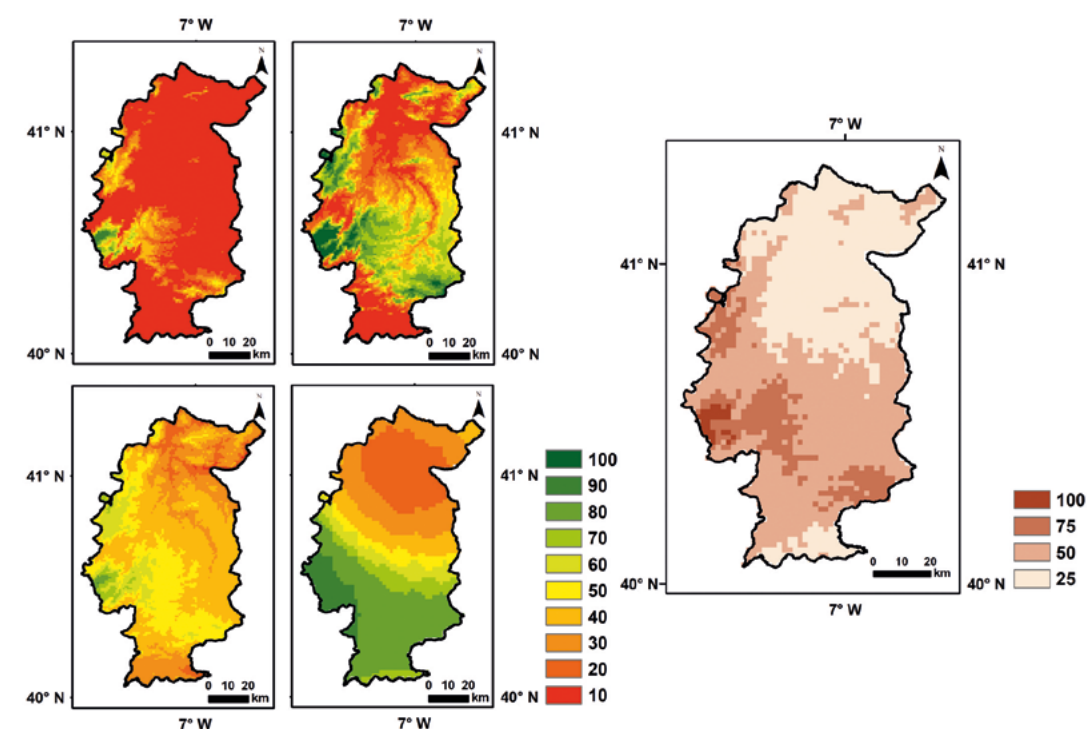
**Figura 5.2** – Percentagem média de ocorrência de (acima-esquerda) graus-dias de crescimento entre 1900–2400°C, (acima-centro) temperatura média anual 8–15°C, (abaixo-esquerda) dias de Verão com temperatura máxima inferior a 32°C, (abaixo-centro) precipitação anual acumulada 600–1600 mm, e (direita) *Chestnut Suitability Index*, para o período de base (1989–2005).



As Figuras 5.3 e 5.4 apresentam os resultados para o período 2041-2060 sob os cenários RCP4.5 e RCP8.5, respetivamente. Relativamente ao RCP4.5, para GDD, AMT e NTX (Fig. 5.3 acima-esquerda, acima-centro e abaixo-esquerda), as condições ótimas tendem a diminuir em comparação com o período histórico, baixando os níveis percentuais globais destes indicadores. A maioria da região apresenta 10% de aptidão no índice GDD (Fig. 5.3 acima-esquerda), exceto a região a sudoeste que contém algumas áreas com 40 a 90% de aptidão. No caso do índice AMT (Fig. 5. 3 acima-centro), as áreas correspondentes a 10% aumentaram, principalmente nas regiões de baixa altitude. A oeste e no centro da região, observam-se reduzidas áreas com aptidão de 70 a 100%. Em relação ao NTX (Fig. 5.3 abaixo-esquerda), como esperado, o número de dias com uma temperatura máxima diária superior a 32°C aumentará em comparação com o período de base. A maior parte da região

é definida por percentagens entre 20 a 60%. Algumas exceções são observadas a sudoeste, com percentagens entre 60 a 90%. Há também uma redução na área relativa aos níveis de precipitação mais adequados para o desenvolvimento de castanheiros, em especial a norte da região (Fig. 5.3 direita). Relativamente ao CSI, em comparação com a linha de base, a área com 100% de aptidão é reduzida (sudoeste), enquanto a área com 25% de aptidão aumenta.

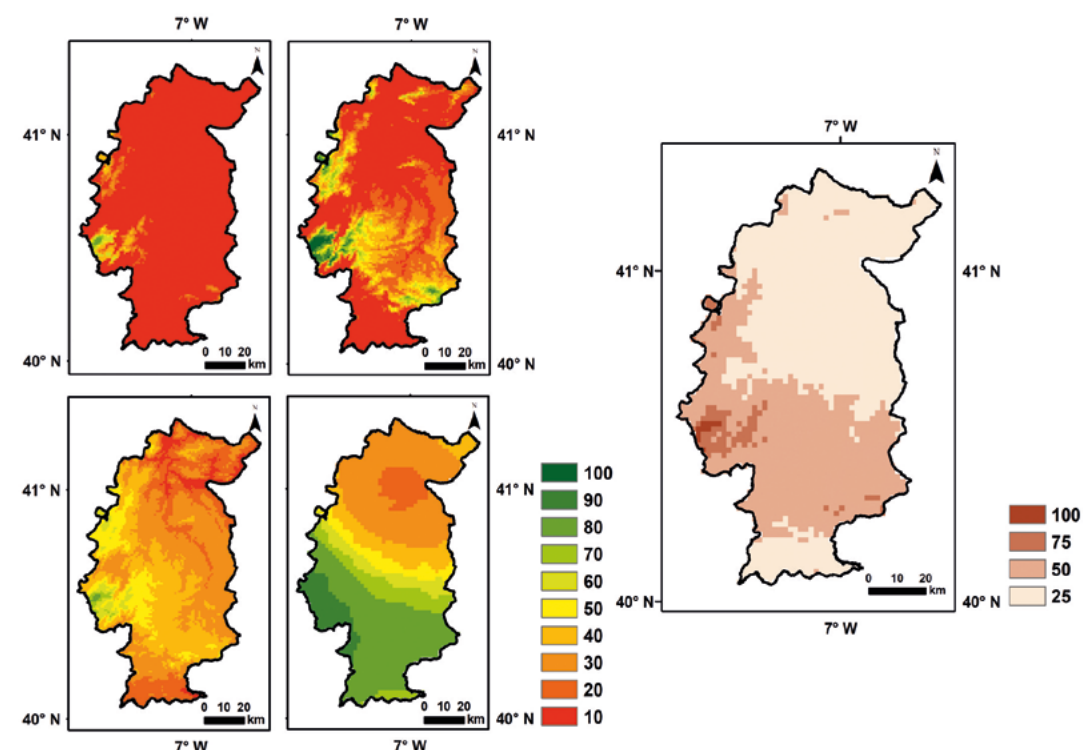
**Figura 5.3** – Percentagem média de ocorrência de (acima-esquerda) graus-dias de crescimento entre 1900–2400°C, (acima-centro) temperatura média anual 8–15°C, (abaixo-esquerda) dias de Verão com temperatura máxima inferior a 32°C, (abaixo-centro) precipitação anual acumulada 600–1600 mm, e (direita) *Chestnut Suitability Index*, para o período de base (RCP4.5; 2041–2060).



No caso do cenário RCP8.5 (2041–2060) (Fig. 5.4), as áreas com aptidão de 10% tendem a aumentar em comparação com o período histórico e com o RCP4.5 (mesmo período), para os índices GDD, AMT e NTX. Em relação à precipitação, o padrão apresenta-se semelhante em relação ao RCP4.5 (Fig. 5.4 abaixo-centro). De acordo com o padrão CSI (Fig. 5.4 direita), as áreas favoráveis para o cultivo do castanheiro continuam a diminuir. As áreas correspondentes a 75–100% são residuais (sudoeste), prevalecendo as percentagens entre 25 a 50%.

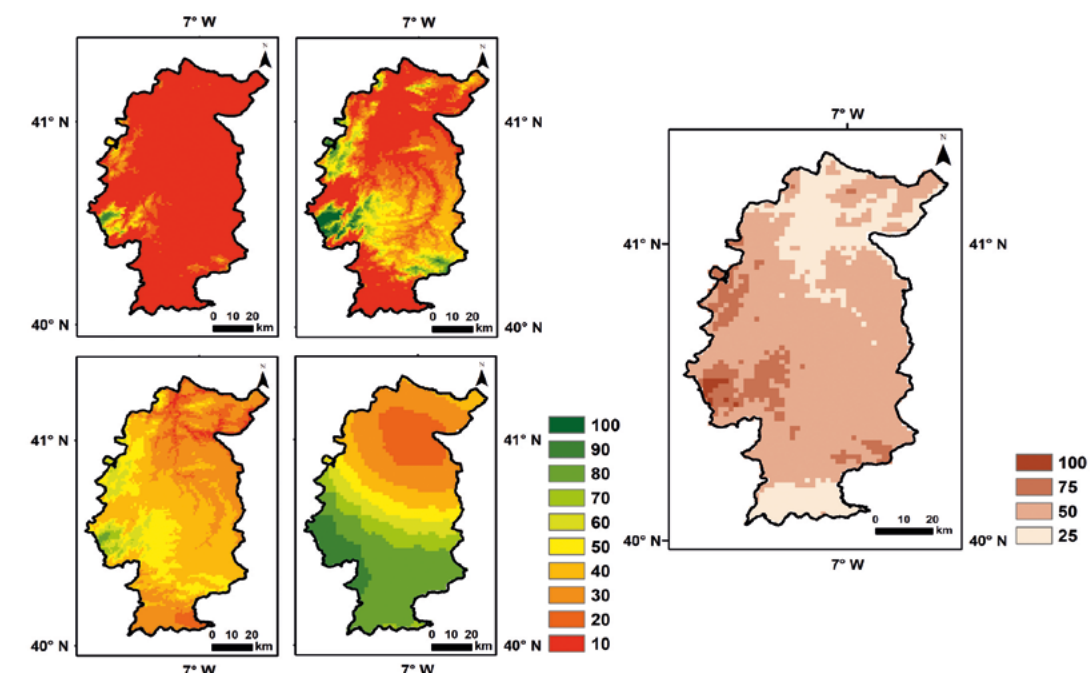


**Figura 5.4** – Percentagem média de ocorrência de (acima-esquerda) graus-dias de crescimento entre 1900–2400°C, (acima-centro) temperatura média anual 8–15°C, (abaixo-esquerda) dias de Verão com temperatura máxima inferior a 32°C, (abaixo-centro) precipitação anual acumulada 600–1600 mm, e (direita) *Chestnut Suitability Index*, para o período de base (RCP8.5; 2041–2060).



No período 2061–2080 sob RCP4.5, as tendências em GDD, AMT, e NTX reforçam a redução projetada nas áreas favoráveis ao cultivo do castanheiro (Fig. 5.5). No caso do PRE (Fig. 5.5 abaixo-centro), as alterações são reduzidas, quando comparadas com o período 2041–2060, mantendo-se a tendência de percentagens mais favoráveis no sul do que a norte da região. Relativamente ao CSI (Fig. 5.5 direita), a área correspondente a 100% é residual, sendo apenas encontrada na região correspondente à DOP de “Soutos da Lapa”.

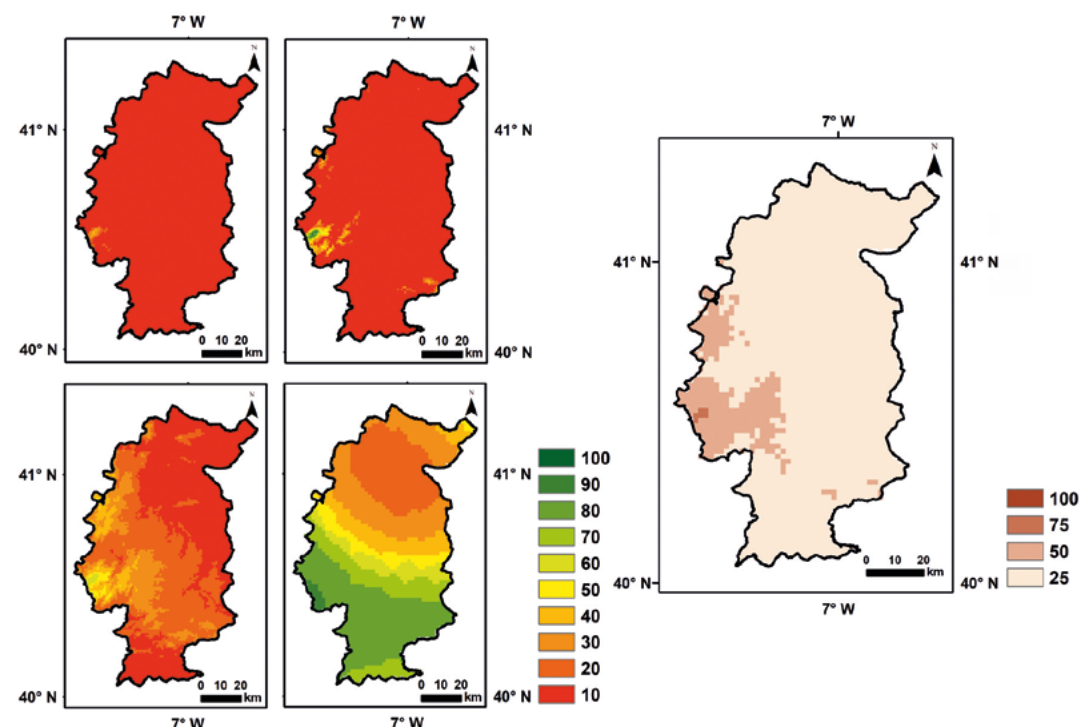
**Figura 5.5** – Percentagem média de ocorrência de (acima-esquerda) graus-dias de crescimento entre 1900–2400°C, (acima-centro) temperatura média anual 8–15°C, (abaixo-esquerda) dias de Verão com temperatura máxima inferior a 32°C, (abaixo-centro) precipitação anual acumulada 600–1600 mm, e (direita) *Chestnut Suitability Index*, para o período de base (RCP4.5; 2061–2080).



Para o cenário mais severo (RCP8.5), a maioria do território apresenta aptidão de 10% nos índices GDD e AMT (Fig. 5.6 acima-esquerda e 5.6 acima-centro). No caso do índice NXT, a oeste é possível observar aptidão entre 30 a 60%, a área restante corresponde a 10%. No caso da precipitação (Fig. 5.6 abaixo-centro), a heterogeneidade mantém-se, sendo as áreas do sul do território com melhor aptidão que as do norte. De acordo com o CSI (Fig. 5.6 direita), a produção de castanhas pode vir a ser desafiada em Portugal sob climas futuros, o território é definido, maioritariamente, por 25% de aptidão.



**Figura 5.6** – Percentagem média de ocorrência de (acima-esquerda) graus-dias de crescimento entre 1900–2400°C, (acima-centro) temperatura média anual 8–15°C, (abaixo-esquerda) dias de Verão com temperatura máxima inferior a 32°C, (abaixo-centro) precipitação anual acumulada 600–1600 mm, e (direita) *Chestnut Suitability Index*, para o período de base (RCP8.5; 2061–2080).



## .6 | DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

No presente estudo, foram investigadas as alterações espaço-temporais nos padrões climáticos da região do Côa, com ênfase no desenvolvimento da castanheira. A análise baseou-se num conjunto de dados de alta resolução para o período de referência (1989–2005) e sob dois cenários; RCP4.5 e RCP8.5, sobre dois períodos futuros: 2041–2060 e 2061–2080, utilizando um conjunto de quatro modelos GCM-RCM. A zonagem bioclimática de alta resolução é realizada com base em vários índices bioclimáticos de castanheiros, incluindo um novo e inovador, CSI - *Chestnut Suitability Index*. Estes índices bioclimáticos são úteis para a abordagem dos padrões de distribuição das espécies e das respetivas mudanças

sob o efeito das alterações climáticas, bem como para delinear estratégias de adaptação adequadas, essenciais para os decisores do sector (Mesquita and Sousa, 2009; Santos et al., 2019; Valentini et al., 2001).

O crescimento das plantas é principalmente regulado pela precipitação e temperatura, sendo que as mudanças nestes factores podem alterar os climas ótimos para o crescimento e desenvolvimento do castanheiro. Os padrões destes factores climáticos estão a mudar rapidamente, e isto está a tornar-se um desafio para a preservação das plantas. Por outro lado, factores como as propriedades do solo ou técnicas de cultivo, diversidade genética e a plasticidade fenotípica também podem ter efeitos importantes na planta, mas não são considerados nesta investigação (Martins et al., 2021; Rahman et al., 2019; Costa et al., 2017; Yilmaz, 2015; Lobell et al., 2006).

O aumento da temperatura do ar é projetado para as próximas décadas nas principais áreas das florestas europeias, incluindo também na região do Côa (Fonseca and Santos, 2018; Míguez-Soto et al., 2019). Temperaturas mais elevadas resultam em fenologia mais precoce, estações de crescimento mais rápidas, e normalmente, redução do rendimento (Freitas et al., 2021; Santos et al., 2020). No Côa a intrincada topografia desencadeia fortes diferenças térmicas para o crescimento do castanheiro (Santos et al., 2019). É espectável que na região o aquecimento projetado reduza as áreas mais propensas ao cultivo do castanheiro. De acordo com os resultados do GDD, ATM, e NTX, até 2080, as condições ótimas para o castanheiro irão diminuir e causar impactos negativos no desenvolvimento da espécie.

As alterações climáticas representam de facto uma importante ameaça para os castanheiros na região, tornando-se um desafio socioeconómico e ecológico. As medidas de adaptação são cruciais para atenuar as consequências das alterações climáticas. Estratégias que podem melhorar a adaptabilidade e minimizar a suscetibilidade às consequências das alterações climáticas. Como ilustração, a rega (medida de curto prazo) pode aumentar o valor comercial da castanha, uma vez que aumenta o tamanho da fruta, reduzindo o stresse hídrico e mantendo o seu valor nutricional e perfil sensorial (Mota et al., 2018b). Uma melhor gestão do solo ou a aplicação de protetores foliares contra condições meteorológicas extremas são, entre outras, medidas de adaptação que podem ser consideradas nas próximas décadas (Freitas et al., 2021).

Finalmente, as parcerias com unidades de investigação e associações agrícolas são fortemente encorajadas a adquirir mais dados de campo e delinear estratégias para lidar com as alterações climáticas e reduzir os seus riscos derivados.



Alexander, L., Allen, S., Bindoff, N., Breon, F.-M., Church, J., Cubasch, U., Emori, S., Forster, P., Friedlingstein, P., Gillett, N., Gregory, J., Hartmann, D., Jansen, E., Kirtman, B., Knutti, R., Kanikicharla, K., Lemke, P., Marotzke, J., Masson-Delmotte, V., Xie, S.-P., 2013. Climate change 2013: The physical science basis, in contribution of Working Group I (WGI) to the Fifth Assessment Report (AR5) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), in: Climate Change 2013: The Physical Science Basis.

Ali, I., Cawkwell, F., Dwyer, E., Barrett, B., Green, S., 2016. Satellite remote sensing of grasslands: from observation to management. *Journal of Plant Ecology* 9, 649–671. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtw005>

Allen, V. g., Batello, C., Berretta, E. j., Hodgson, J., Kothmann, M., Li, X., Mclvor, J., Milne, J., Morris, C., Peeters, A., Sanderson, M., The Forage and Grazing Terminology Committee, 2011. An international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass and Forage Science* 66, 2–28. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2010.00780.x>

Alves, V., Teixeira, A., 1996. Portuguese beef and sheep production systems. In *Extensification of beef and sheep production grassland*. pp. 220–226. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2813.0724>

Anderson, M.C., Hain, C., Wardlow, B., Pimstein, A., Mecikalski, J.R., Kustas, W.P., 2011. Evaluation of Drought Indices Based on Thermal Remote Sensing of Evapotranspiration over the Continental United States. *Journal of Climate* 24, 2025–2044. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3812.1>

Araújo, J.P., Cerqueira, J., Santos Vaz, P., Andrade, L., J, V.-R., AM, R., 2014. Extensive beef cattle production in Portugal.

Ausseil, A.-G., Weerden, T., Beare, M., Teixeira, E., Baisden, T., Lieffering, M., Guo, J., Keller, E., Law, R., Noble, A., 2019. Climate change impacts on land use suitability.

Bengtsson, J., Bullock, J.M., Egoh, B., Everson, C., Everson, T., O'Connor, T., O'Farrell, P.J., Smith, H.G., Lindborg, R., 2019. Grasslands—more important for ecosystem services than you might think. *Ecosphere* 10, e02582. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2582>

Bugalho, M., Abreu, J., 2008. The multifunctional role of grasslands.

Collins, M., Knutti, R., Arblaser, J., Dufresne, J.-L., Fichetef, T., Friedlingstein, P., Gao, X., Gutowski, W., Johns, T., Krinner, G., Shongwe, M., Teballdi, C., Weaver, A., Wehner, M., 2014. Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. pp. 1029–1136.

Dumont, B., Andueza, D., Niderkorn, V., Lüscher, A., Porqueddu, C., Picon-Cochard, C., 2015. A meta-analysis of climate change effects on forage quality in grasslands: specificities of mountain and Mediterranean areas. *Grass and Forage Science* 70, 239–254. <https://doi.org/10.1111/gfs.12169>

Eurostat, 2022. Share of main land types in utilised agricultural area (UAA) by NUTS 2 regions. [WWW Document]. Data Browser. URL <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tai05/default/table?lang=en> (accessed 1.11.23).

FAO, 2022. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2022. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Fraga, H., Molitor, D., Leolini, L., Santos, J.A., 2020. What Is the Impact of Heatwaves on European Viticulture? A Modelling Assessment. *Applied Sciences* 10, 3030. <https://doi.org/10.3390/app10093030>

Hott, M.C., Carvalho, L.M.T., Antunes, M.A.H., Resende, J.C., Rocha, W.S.D., 2019. Analysis of Grassland Degradation in Zona da Mata, MG, Brazil, Based on NDVI Time Series Data with the Integration of Phenological Metrics. *Remote Sensing* 11, 2956. <https://doi.org/10.3390/rs11242956>

Isselstein, J., Kayser, M., 2014. Functions of grassland and their potential in delivering ecosystem services. *Grassl Sci Eur* 19, 199–214.

Liu, S., Zhang, Y., Cheng, F., Hou, X., Zhao, S., 2017. Response of Grassland Degradation to Drought at Different Time-Scales in Qinghai Province: Spatio-Temporal Characteristics, Correlation, and Implications. *Remote Sensing* 9, 1329. <https://doi.org/10.3390/rs9121329>

Mittermeier, R., Gil, P., Hoffmann, M., Pilgrim, J., Brooks, T., Mittermeier, C., Lamoreux, J., Fonseca, G., 2004. Hotspots Revisited. Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions, *Conserv. Int.*

Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Fonseca, G.A.B. da, Kent, J., 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403, 853.

O'Mara, F.P., 2012. The role of grasslands in food security and climate change. *Annals of Botany* 110, 1263–1270. <https://doi.org/10.1093/aob/mcs209>

Parente, J., Pereira, M.G., Amraoui, M., Fischer, E.M., 2018. Heat waves in Portugal: Current regime, changes in future climate and impacts on extreme wildfires. *Science of The Total Environment* 631–632, 534–549. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.044>

Peeters, A., Beaufoy, G., Canals, R., Vlieghe, A., Huyghe, C., Isselstein, J., Jones, G., Kessler, W., Kirilov, A., Mosquera-Losada, M.R., Nilsdotter-Linde, N., Parente, G., Peyraud, Jean-Louis, Pickert, J., Plantureux, S., Porqueddu, C., Rataj, D., Stypinski, P., Tonn, B., Wilkins, R.J., 2014. Grassland term definitions and classifications adapted to the diversity of European grassland-based systems. *Proceedings of the 25th European Grassland Federation Conference EGF at 50: The Future of European Grasslands* 19, 743–752.

Pinto, P., Moreira, N., Pires, J., 1994. Lameiros de Trás-os-Montes. *Perspectivas de futuro para estas pastagens de montanha*.

Pocas, I., Cunha, M., Pereira, L.S., 2006. Pastagens Seminatursais de Montanha: Lameiros, Sistemas Ancestrais no Século XXI, in: *Fc.up.Pt. Presented at the Taller CYTED XVII, El Agua en Ibero-América: Tecnologías Apropriadas e Tecnologías Ancestrales*, Universidad Nacional de Piura-Peru, Lima, pp. 1–25.

Porqueddu, C., Ates, S., Louhaichi, M., Kyriazopoulos, A.P., Moreno, G., del Pozo, A., Ovalle, C., Ewing, M.A., Nichols, P.G.H., 2016. Grasslands in 'Old World' and 'New World' Mediterranean-climate zones: past trends, current status and future research priorities. *Grass and Forage Science* 71, 1–35. <https://doi.org/10.1111/gfs.12212>

Reichstein, M., Ciais, P., Papale, D., Valentini, R., Running, S., Viovy, N., Cramer, W., Granier, A., Ogée, J., Allard, V., Aubinet, M., Bernhofer, Chr., Buchmann, N., Carrara, A., Grünwald, T., Heimann, M., Heinesch, B., Knohl, A., Kutsch, W., Loustau, D., Manca, G., Matteucci, G., Miglietta, F., Ourcival, J. m., Pilegaard, K., Pumpanen, J., Rambal, S., Schaphoff, S., Seufert, G., Soussana, J.-F., Sanz, M.-J., Vesala, T., Zhao, M., 2007. Reduction of ecosystem productivity and respiration during the European summer 2003 climate anomaly: a joint flux tower, remote sensing and modelling analysis. *Global Change Biology* 13, 634–651. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01224.x>

Reinermann, S., Asam, S., Kuenzer, C., 2020. Remote Sensing of Grassland Production and Management—A Review. *Remote Sensing* 12, 1949. <https://doi.org/10.3390/rs12121949>

Schils, R.L.M., Bufer, C., Rhymer, C.M., Francksen, R.M., Klaus, V.H., Abdalla, M., Milazzo, F., Lellei-Kovács, E., Berge, H. ten, Bertora, C., Chodkiewicz, A., Dămățircă, C., Feigenwinter, I., Fernández-Rebollo, P., Ghiasi, S., Hejduk, S., Hiron, M., Janicka, M., Pellaton, R., Smith, K.E., Thorman, R., Vanwalleghe, T., Williams, J., Zavattaro, L., Kampen, J., Derkx, R., Smith, P., Whittingham, M.J., Buchmann, N., Price, J.P.N., 2022. Permanent grasslands in Europe: Land use change and intensification decrease their multifunctionality. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 330, 107891. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.107891>

Serrano, J., Shahidian, S., Paixão, L., Marques da Silva, J., Morais, T., Teixeira, R., Domingos, T., 2021. Spatiotemporal Patterns of Pasture Quality Based on NDVI Time-Series in Mediterranean Montado Ecosystem. *Remote Sensing* 13, 3820. <https://doi.org/10.3390/rs13193820>

SNIG, 2022. Carta de Uso e Ocupação do Solo - 2018. [WWW Document]. Registo Nacional de Dados Geográficos. URL <https://snig.dgterritorio.gov.pt/rndg/srv/por/catalog.search#/home> (accessed 1.11.23).

Soussana, J.-F., Klumpp, K., Ehrhardt, F., 2014. The role of grassland in mitigating climate change. Presented at the 25th General Meeting of the European Grassland Federation, Institute of Biological, Environmental and Rural Sciences (IBERS), p. 919 p.

Starks, P.J., Steiner, J.L., Neel, J.P.S., Turner, K.E., Northup, B.K., Gowda, P.H., Brown, M.A., 2019. Assessment of the Standardized Precipitation and Evaporation Index (SPEI) as a Potential Management Tool for Grasslands. *Agronomy* 9, 235. <https://doi.org/10.3390/agronomy9050235>

Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., de Haan, C., 2006. Livestock's long shadow.

Taube, F., Gierus, M., Hermann, A., Loges, R., Schönbach, P., 2014. Grassland and globalization – challenges for north-west European grass and forage research. *Grass and Forage Science* 69, 2–16. <https://doi.org/10.1111/gfs.12043>

Wang, R., Gamon, J.A., Montgomery, R.A., Townsend, P.A., Zygielbaum, A.I., Bitan, K., Tilman, D., Cavender-Bares, J., 2016. Seasonal Variation in the NDVI–Species Richness Relationship in a Prairie Grassland Experiment (Cedar Creek). *Remote Sensing* 8, 128. <https://doi.org/10.3390/rs8020128>

Xu, B., Yang, X.C., Tao, W.G., Miao, J.M., Yang, Z., Liu, H.Q., Jin, Y.X., Zhu, X.H., Qin, Z.H., Lv, H.Y., Li, J.Y., 2013. MODIS-based remote-sensing monitoring of the spatiotemporal patterns of China's grassland vegetation growth. *International Journal of Remote Sensing* 34, 3867–3878. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.762696>



## 06 | PASTAGENS





## .1 | INTRODUÇÃO

Em Portugal, as pastagens assumem uma importância chave, cobrindo cerca de 570 mil hectares do território continental, com destaque para a região do Côa, que detém cerca de 7% desse total (SNIG, 2022). Essas áreas fornecem forragem para a pecuária, que gera produtos como leite, carne e fibras (Bugalho and Abreu, 2008; O'Mara, 2012). A região do Côa apresenta pastagens que crescem em solos heterogêneos, incluindo vales com solos mais férteis e cumes/encostas com solos geralmente mais pobres (Alves and Teixeira, 1996). As áreas agrícolas localizadas nos vales são constituídas por propriedades privadas com dimensões reduzidas, aproximadamente 3 hectares, enquanto nas colinas, as terras comunais e pastagens são utilizadas de forma compartilhada (Alves and Teixeira, 1996; Araújo et al., 2014). Em regiões montanhosas, é possível encontrar pastagens permanentes denominadas "lameiros" (Pinto et al., 1994; Pocas et al., 2006), compostas predominantemente por plantas espontâneas, especialmente gramíneas, que constituem a base para alimentação do gado presente na região, incluindo bovinos, ovelhas e cabras (Alves and Teixeira, 1996).

De modo geral, as pastagens são áreas de terra destinadas à produção de forragem, seja para colheita, corte, pastoreio ou outros fins agrícolas (Ali et al., 2016; Allen et al., 2011; Peeters et al., 2014). Apresentam múltiplas funções ecossistêmicas, com destaque para o ciclo global do carbono, devido o seu enorme potencial de sequestro de CO<sub>2</sub> atmosférico (Taube et al., 2014). Além disso, são importantes impulsionadores da biodiversidade, e contribuem para a existência de habitats valiosos para centenas de espécies de plantas e animais. Possuem grande impacto em processos ecológicos à escala local da paisagem (polinização e controle biológico de pragas agrícolas), em escala regional (regulação e purificação de água, prevenção de erosão e recreação) e em esfera global, por exemplo, regulação do clima (Bengtsson et al., 2019; Bugalho and Abreu, 2008; Isselstein and Kayser, 2014; Schils et al., 2022).

O desenvolvimento das pastagens depende fortemente das condições climáticas, tornando-as particularmente vulneráveis à variabilidade e mudanças climáticas (O'Mara, 2012; Soussana et al., 2014). A seca extrema pode causar a senescência dos tecidos e afetar a qualidade nutritiva das forragens, o que pode ter fortes efeitos na disponibilidade de ração e na estabilidade financeira dos produtores (Porqueddu et al., 2016). Para resolver esse problema, é de extrema importância monitorizar a saúde das pastagens e intervir oportunamente em áreas problemáticas. No entanto, a monitorização local é difícil de implementar, principalmente em grandes áreas devido à falta de recursos.

Nos últimos anos surgiram tecnologias de detecção remota capazes de monitorizar o crescimento das pastagens através de diferentes índices de vegetação (Ali et al., 2016; Reinermann et al., 2020). O NDVI ("*Normalized Difference Vegetation Index*") (Rouse et al., 1974) é o mais usual, o qual é muito influenciado pela seca (Liu et al., 2017) e tem uma boa relação com o vigor das plantas (Hott et al., 2019; Serrano et al., 2021). Atualmente existem vários índices e indicadores de seca que permitem avaliar a extensão e a gravidade do stresse abiótico (Anderson et al., 2011), como é o caso do SPEI ("*Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index*"), um índice de seca de balanço hídrico, que pode ser usado para avaliar a seca agrícola e a produção de biomassa (Ausseil et al., 2019; Starks et al., 2019). Estudos têm mostrado que existe uma forte relação entre SPEI e NDVI (Liu et al., 2017), o que pode ser crucial para entender o impacto das alterações climáticas no vigor da pastagem. No entanto, mudanças futuras nos padrões de vigor das pastagens ainda são incipientes, e mais pesquisas são necessárias para entender completamente suas implicações.

A fim de ajudar os agricultores a aprimorar o fornecimento de forragem diante do aumento das condições de seca e da variabilidade sazonal, é vital entender mais sobre como as mudanças climáticas estão a afetar as pastagens (Liu et al., 2017; Soussana et al., 2014). A informação antecipada de prováveis impactos negativos das alterações climáticas na produção de forragem pode auxiliar na adoção de práticas de gestão adequadas, como por exemplo, implementação oportuna de rotações de pastagens, ajuste da densidade de rebanho, aviso prévio de possíveis necessidades de suplementação antecipada da alimentação ou aquisição de recursos adicionais de forragem (Starks et al., 2019). Nesse estudo, aplicou-se uma abordagem de modelação ("*machine learning*") para avaliar os impactos das condições climáticas futuras no vigor das pastagens na região do Côa.

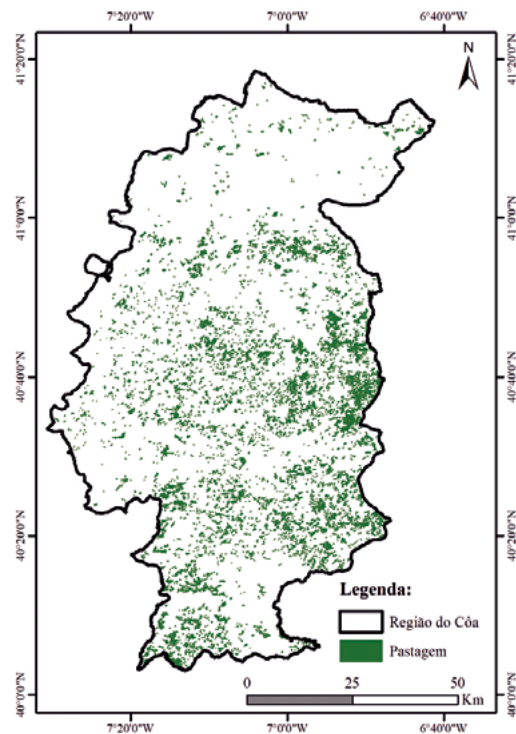
## MODELAÇÃO DO VIGOR DAS PASTAGENS | .2

Para este estudo, foi adotada uma metodologia que combina dados espectrais e climáticos para desenvolver um modelo de vigor capaz de prever a variabilidade futura das pastagens na região do Côa. O modelo de regressão foi ajustado ao NDVI das pastagens, utilizando dados do SPEI como preditores. Para a construção do modelo, foram coletados e analisados diversos conjuntos de dados, incluindo a localização das áreas de pastagens, série histórica de valores de NDVI, bem como um grande volume de informações de precipitação e temperatura, utilizados para calcular o índice de secura.



A localização espacial das pastagens foi definida a partir do conjunto de dados da Carta de Uso e Ocupação do Solo, referentes aos anos de 2007, 2010, 2015 e 2018. Foram consideradas apenas as classes 3.1.1 e 3.1.2, que correspondem às pastagens melhoradas e espontâneas, respetivamente (SNIG, 2022). Como o conjunto de dados da COS representam vários anos (de 2007 a 2018), uma análise preliminar da variabilidade espaço-temporal das pastagens foi realizada para determinar as áreas para as quais o uso da terra permaneceu o mesmo durante todo o período, criando um conjunto de dados consolidado (Fig. 6.1).

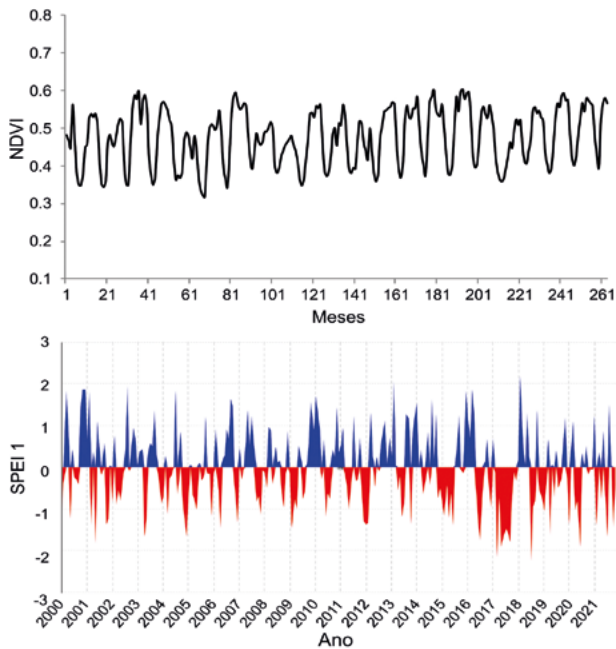
**Figura 6.1** – Distribuição das áreas da região do Côa que desde 2007 são descritas como pastagem melhoradas e/ou espontâneas.



Os valores históricos de NDVI foram obtidos do sensor MODIS/Terra (USGS, 2023), referentes ao período de 263 meses, contados a partir de fevereiro de 2000 (Fig. 6.2 acima). A mesma escala temporal (2000-2021) foi fixada para os valores de SPEI, calculado a partir da diferença mensal entre a precipitação e a evapotranspiração potencial (Vicente-Serrano et al., 2010). A evapotranspiração foi obtida pela equação de Hargreaves 1985

(Hargreaves and Samani, 1985). As variáveis climáticas utilizadas neste estudo (precipitação e temperatura) foram extraídas do Iberia01 (Gutiérrez et al., 2019), complementados com os dados do E-OBS (Cornes et al., 2018; Haylock et al., 2008). Foram calculados os valores de SPEI-1, SPEI-2..., SPEI-12 para avaliar os efeitos cumulativos do tempo/clima local durante a série de períodos de tempo (Starks et al., 2019). Neste processo, foi possível identificar períodos em que a precipitação excedeu a evapotranspiração, ou quando a escassez de precipitação contribuiu para condições de seca (Fig. 6.2 abaixo).

**Figura 6.2** – Variabilidade temporal do NDVI (“Normalized Difference Vegetation Index”) das pastagens da região do Côa para os 263 meses, contados a partir de fevereiro de 2000 (acima) e visualização do SPEI (“Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index”) mensal (SPEI-1) para o período de 2000 a 2021 (abaixo).



Para desenvolver o modelo, a série histórica com os dados de NDVI foi ajustada para a mesma resolução espacial dos valores de SPEI (10 × 10 km). Foi utilizado o método “Bootstrap Aggregation” (“Bagging”), também conhecido como *Random Forest* (Breiman, 2001), uma abordagem de “machine learning” que utiliza árvores de decisão para a regressão. A modelação foi feita em duas etapas, com i) um modelo preliminar, incluindo todas as escalas de tempo



do índice de secura (SPEI-1, SPEI-2, ... SPEI-12), e com ii) um modelo final, considerando apenas as escalas de tempo mais importantes, definidas em i). O modelo preliminar obteve um elevado coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,93$ ) e os preditores mais importantes foram o SPEI-1, SPEI-4, e SPEI-12. O modelo final, utilizando apenas os preditores mais importantes, foi capaz de explicar 76% da variabilidade do NDVI ( $R^2 = 0,76$ ). Para avaliar os impactos das alterações climáticas na variabilidade das pastagens, foram definidos dois cenários futuros (RCP4.5 e RCP8.5) com base nas projeções de precipitação e temperatura do projeto EURO-CORDEX (Jacob et al., 2014). Foram obtidas séries temporais mensais utilizando o método delta (Ramirez-Villegas and Jarvis, 2010), a partir dos valores de precipitação dos cenários propostos por Jacob et al. (2014) para o período futuro a longo prazo 2071-2100.

.3 | CARACTERIZAÇÃO DO VIGOR ATUAL

A distribuição espacial do vigor das pastagens do passado recente (2000–2021) é apresentada na Figura 6.3 (esquerda). Foram observados baixos valores para o vigor das pastagens no norte do Côa, em região de menor altitude, reduzida precipitação e temperaturas mais elevadas. As pastagens mais vigorosas são encontradas em regiões montanhosas, em elevações acima dos 700 m, particularmente nos municípios de Sabugal e Guarda. Áreas de vigor médio são frequentemente encontradas em elevações intermédias, entre 550 e 700 m. Atualmente, as maiores áreas de pastagem encontram-se em regiões associadas a classes de alto e médio vigor, mais precisamente na região sul e leste do Côa, nos concelhos do Sabugal, Penamacor, Almeida e Figueira de Castelo Rodrigo.

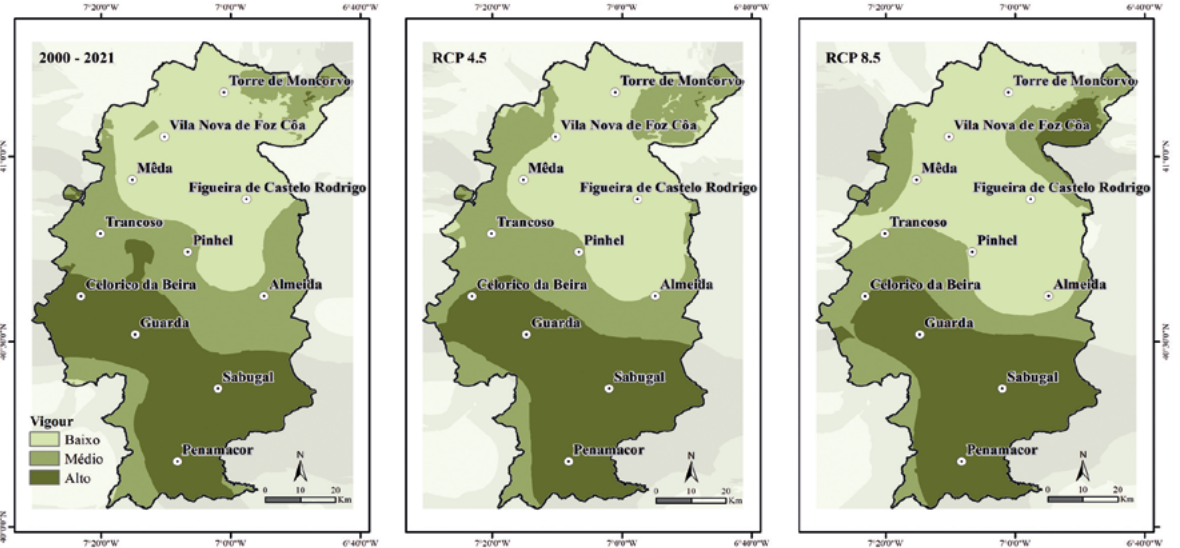
.4 | MUDANÇAS FUTURAS NO VIGOR

As projeções para o futuro (2071–2100) revelam uma deslocação para sudeste das zonas de menor vigor, em direção ao centro do Côa. Nota-se também uma redução do vigor nas imediações de Trancoso (Fig. 6.3 centro e direita). Observa-se uma expansão espacial das pastagens com vigor médio, mais precisamente no sudoeste, noroeste e nordeste, em resultado da redução ou aumento dos valores de vigor atuais, respetivamente. O cenário mais moderado será o RCP4.5, mas com graves consequências para o pastoreio, particularmente nas regiões do sul, onde a redução do vigor pode restringir ainda mais o pastoreio em altitudes mais elevadas (Fig. 6.3 centro). A oeste do município de Trancoso, prevê-se que a redução do vigor seja mais notória, com impactos mais fortes no RCP8.5 (Fig. 6.3 direita). Os efeitos das alterações climáticas nas pastagens serão mais visíveis no cenário mais severo (RCP8.5), com uma redução mais pronunciada do vigor em termos espaciais. As

áreas que deverão assegurar um maior vigor para as pastagens serão restritas aos municípios de Sabugal e Penamacor. Esperam-se fortes reduções de vigor para o município da Guarda, o que poderá ter um efeito direto na gestão das pastagens na região.

Com base nas classes de vigor atuais (2000–2021), projeta-se uma redução espacial das pastagens menos vigorosas (16%) para ambos os RCP, que deverão mudar para a classe de vigor médio, mas nunca para a classe de vigor elevado. As maiores alterações devem acontecer na classe de pastagem de médio vigor, principalmente no RCP8.5, com uma redução de 26% para a classe de menor vigor e um aumento de 16% para a classe de maior vigor. Enquanto no RCP4.5 é previsto uma redução de 11% para a classe de menor vigor e a um aumento igual para a classe de maior vigor. As menores alterações são projetadas para a classe de maior vigor, com uma redução de 10% e 15% para os cenários RCP4.5 e RCP8.5, respetivamente. Numa abordagem mais ampla, as pastagens estabelecidas em terrenos baixos devem permanecer menos vigorosas, o vigor médio deve manter na altitude intermédia e o vigor mais elevado nas regiões de montanha.

Figura 6.3 – Vigor das pastagens na região do Côa para o conjunto de dados do passado recente (2000-2021), adaptado pelo modelo final (esquerda), e para o RCP4.5 (centro) e RCP8.5 (direita), obtido a partir da média dos valores NDVI. O vigor foi organizado em classes pelo método dos quantis e a representação da distribuição espacial é o resultado da interpolação (método “kriging”) entre o NDVI (resolução espacial de 0,1 graus) e o Modelo Digital de Elevação (MDE, resolução espacial de 30 m).





## .5 | O IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO VIGOR DAS PASTAGENS

**E**spera-se que o aumento projetado na temperatura e nas alterações dos padrões de precipitação conduzam a mudanças na extensão e distribuição das pastagens. As projeções revelam que o vigor das pastagens terá uma redução generalizada. As regiões que atualmente apresentam maior vigor vegetativo serão as mais afetadas. A redução da diversidade de espécies vegetais é um dos factores que podem ajudar a explicar a diminuição do vigor, uma vez que existe uma relação positiva e dinâmica entre o NDVI e a diversidade, nomeadamente nos períodos quentes, secos e de antese (Wang et al., 2016). Além disso, a baixa diversidade pode aumentar a exposição do solo e promover o aumento de manchas cobertas de musgo. Esse factor, somado aos efeitos da composição da vegetação, pode contribuir para a redução do NDVI. Nossos resultados mostram que as regiões montanhosas devem manter seu status de pastagens com maior vigor e confirmam a ideia de que os efeitos do aquecimento serão menos danosos para as pastagens localizadas em ambientes mais frios (Bloor et al., 2010). A manutenção de plantas com alto vigor em áreas de altitude pode ser favorecida pela maior disponibilidade de nutrientes (Carlson et al., 2017), particularmente nitrogênio, resultante do aumento da deposição atmosférica (Seastedt et al., 2004). Com o clima mais quente e seco é provável que mais espécies migrarão para as regiões de alta altitude (Dibari et al., 2020; Matteodo et al., 2013; Pauli et al., 2012; Schwager and Berg, 2019), incluindo árvores pioneiras, capazes de colonizar habitats rochosos com vegetação (Carlson et al., 2017; Porqueddu et al., 2016), pondo em perigo a flora endêmica das serras, que estará cada vez mais pressionada pela competição por espaço e recursos (Pauli et al., 2012).

Uma redução global do vigor das pastagens é esperada para as zonas situadas no sul e um ligeiro aumento do vigor nas pastagens localizadas a norte. Isso indica que a futura redução da precipitação na primavera, verão e outono será mais impactante para a região sul, enquanto o aumento da precipitação no inverno será mais benéfico para a região norte. Estas condições mais quentes e secas favorecem a colonização da paisagem por espécies mais resistentes ao calor do que ao frio, mas de menor qualidade nutricional, sobretudo no caso de pastagens sem intervenções de gestão (Dibari et al., 2020). Isso pode obrigar os agricultores a fornecer um suprimento adicional de nutrientes para a alimentação animal para garantir, ou manter um nível adequado de produção, aumentando os custos da gestão (Dibari et al., 2020; Kwon et al., 2016). No entanto, é provável que a procura de recursos forrageiros aumente nas regiões montanhosas, com um potencial aumento da densidade populacional, o que pode aumentar a pressão sobre os ecossistemas devido aos excrementos de estrume e à introdução de

micróbios que não ocorrem naturalmente no local (Mayer et al., 2022).

## POTENCIAIS MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO PARA PASTAGENS | .6

**P**ara evitar uma redução na produção de alimentos e fibras para animais, bem como um declínio nos serviços ecossistêmicos fornecidos pelas pastagens, são necessárias estratégias de gestão com alto grau de flexibilidade. Acredita-se que mudanças nos períodos de pastoreio e regimes de corte (por exemplo, cortes precoces) possam amortecer os efeitos negativos das alterações climáticas na qualidade da forragem (Dumont et al., 2015; Yang et al., 2018). Além disso, ações de gestão que promovam o aumento da diversidade genética parecem ser uma opção viável, uma vez que a diversidade genética permite que os organismos continuem se adaptando e evoluindo às novas circunstâncias dentro de algumas gerações (Kreyling et al., 2012).

Uma opção para mitigar os efeitos do aumento da seca é aumentar o uso de germoplasma com dormência de verão (Norton and Volaire, 2012; Porqueddu et al., 2016), considerada uma das principais estratégias adaptativas das pastagens perenes (Voltaire et al., 2009) e anuais (Long et al., 2015), que permite sobreviver à prolongada e severa seca estival, independentemente da reserva hídrica do solo (Voltaire et al., 2009). O cultivo de pastagens com maior eficiência hídrica é de facto relevante para a produção de forragem (Porqueddu et al., 2016), particularmente em terras áridas, onde a redução das chuvas pode limitar o vigor (Ji and Peters, 2004). A mistura de diferentes espécies/variedades dormentes e ativas pode aproveitar melhor a humidade disponível ao longo do ano (Norton and Voltaire, 2012). Mas a introdução de espécies nem sempre é a opção ideal e deve ser avaliada com cautela, como é o caso de terrenos inclinados, onde o cultivo de pastagens temporárias pode aumentar o risco de escoamento superficial e perda de solo, sem proporcionar vantagem na produtividade de forragem (Porqueddu and Roggero, 1994).

Diminuir a duração dos períodos de pastoreio dos animais durante o dia e/ou implementar (ou aumentar) as sessões de alimentação noturna pode ser uma estratégia interessante para reduzir os efeitos do stresse calórico moderado, que é responsável por diminuir a qualidade do pasto, a digestibilidade da forragem e o desempenho do gado (Dumont et al., 2015). Taxas inadequadas de encabeçamento animal em relação aos recursos forrageiros disponíveis também podem causar séria deterioração das pastagens, particularmente em áreas montanhosas (Porqueddu et al., 2016). O tipo de regime de pastoreio (contínuo ou rotacional), a pressão de pastoreio (leve ou pesada) e a estação de pastoreio têm diferentes



efeitos sobre a densidade do banco de sementes, sendo o pastoreio pesado desfavorável para o banco de sementes de pastagens anuais (Sternberg et al., 2003). Por isso, o controle do nível de encabeçamento animal pode ser capaz de reduzir a pressão sobre o banco de sementes das pastagens e corrigir o consumo de biomassa vegetal (Hott et al., 2019).

A rega em pastagens também é uma intervenção que pode mitigar os efeitos da humidade insuficiente do solo, que, aliada à fertilização, pode ser capaz de promover o desenvolvimento de pastagens cultivadas com grande quantidade de biomassa e acúmulo de raízes em um curto período (Dong et al., 2020). No entanto, a irrigação pode ser difícil de implementar devido à competição hídrica (por exemplo, necessidades humanas e outras culturas alimentares). Fornecer alimentação suplementar ao gado pode ser uma opção para ajudar a garantir um nível adequado de produção (Dibari et al., 2020). Uma gama de impactos futuros sobre a pecuária é apresentada no trabalho de Ghahramani et al. (2019), que também sugerem medidas de mitigação cuja complexidade pode variar de acordo com o contexto de cada região.

.7 | CONCLUSÕES

As projeções indicam redução global do vigor das pastagens, principalmente no RCP8.5. Os resultados sustentam a ideia de que os efeitos do aquecimento devem ser menos pronunciados em ambientes mais frios, já que regiões montanhosas, com altitudes acima de 700 m, devem manter a condição de pastagens mais vigorosas. As regiões de menor altitude e pastagens historicamente mais secas devem ser favorecidas pelo aumento da precipitação de inverno, que culminará em um aumento modesto no vigor. Devido às alterações climáticas, prevê-se uma redução do vigor no outono, o que poderá influenciar a fenologia das pastagens, atrasada para o início do inverno. Como resultado do aumento das temperaturas e da precipitação, é provável que o desenvolvimento das pastagens seja pronunciado no inverno, com a possibilidade de corte precoce das pastagens e pastoreio pelo gado. Mais esforços serão importantes com as condições de pastagem previstas para garantir a manutenção do vigor nas regiões menos favorecidas e também uma gestão mais eficiente das terras altas, consideradas mais promissoras.

REFERÊNCIAS | .8

Ali, I., Cawkwell, F., Dwyer, E., Barrett, B., Green, S., 2016. Satellite remote sensing of grasslands: from observation to management. *Journal of Plant Ecology* 9, 649–671. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtw005>

Allen, V. g., Batello, C., Berretta, E. j., Hodgson, J., Kothmann, M., Li, X., Mclvor, J., Milne, J., Morris, C., Peeters, A., Sanderson, M., The Forage and Grazing Terminology Committee, 2011. An international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass and Forage Science* 66, 2–28. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2010.00780.x>

Alves, V., Teixeira, A., 1996. Portuguese beef and sheep production systems. In *Extensification of beef and sheep production grassland*. pp. 220–226. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2813.0724>

Anderson, M.C., Hain, C., Wardlow, B., Pimstein, A., Mecikalski, J.R., Kustas, W.P., 2011. Evaluation of Drought Indices Based on Thermal Remote Sensing of Evapotranspiration over the Continental United States. *Journal of Climate* 24, 2025–2044. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3812.1>

Araújo, J.P., Cerqueira, J., Santos Vaz, P., Andrade, L., J, V.-R., AM, R., 2014. Extensive beef cattle production in Portugal.

Ausseil, A.-G., Weerden, T., Beare, M., Teixeira, E., Baisden, T., Loeffering, M., Guo, J., Keller, E., Law, R., Noble, A., 2019. Climate change impacts on land use suitability.

Bengtsson, J., Bullock, J.M., Egoh, B., Everson, C., Everson, T., O'Connor, T., O'Farrell, P.J., Smith, H.G., Lindborg, R., 2019. Grasslands—more important for ecosystem services than you might think. *Ecosphere* 10, e02582. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2582>

Bloor, J.M.G., Pichon, P., Falcimagne, R., Leadley, P., Soussana, J.-F., 2010. Effects of Warming, Summer Drought, and CO2 Enrichment on Aboveground Biomass Production, Flowering Phenology, and Community Structure in an Upland Grassland Ecosystem. *Ecosystems* 13, 888–900. <https://doi.org/10.1007/s10021-010-9363-0>

Breiman, L., 2001. Random Forests. *Machine Learning* 45, 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>

Bugallo, M., Abreu, J., 2008. The multifunctional role of grasslands.

Carlson, B.Z., Corona, M.C., Dentant, C., Bonet, R., Thuiller, W., Choler, P., 2017. Observed long-term greening of alpine vegetation—a case study in the French Alps. *Environ. Res. Lett.* 12, 114006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa84bd>

Cornes, R.C., van der Schrier, G., van den Besselaar, E.J.M., Jones, P.D., 2018. An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Data Sets. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 123, 9391–9409. <https://doi.org/10.1029/2017JD028200>

Dibari, C., Costafreda-Aumedes, S., Argenti, G., Bindi, M., Carotenuto, F., Moriondo, M., Padovan, G., Pardini, A., Staglianò, N., Vagnoli, C., Brilli, L., 2020. Expected Changes to Alpine Pastures in Extent and Composition under Future Climate Conditions. *Agronomy* 10, 926. <https://doi.org/10.3390/agronomy10070926>

Dong, S., Shang, Z., Gao, J., Boone, R.B., 2020. Enhancing sustainability of grassland ecosystems through ecological restoration and grazing management in an era of climate change on Qinghai-Tibetan Plateau. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 287, 106684. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106684>

Dumont, B., Andueza, D., Niderkorn, V., Lüscher, A., Porqueddu, C., Picon-Cochard, C., 2015. A meta-analysis of climate change effects on forage quality in grasslands: specificities of mountain and Mediterranean areas. *Grass and Forage Science* 70, 239–254. <https://doi.org/10.1111/gfs.12169>

Ghahramani, A., Howden, S.M., del Prado, A., Thomas, D.T., Moore, A.D., Ji, B., Ates, S., 2019. Climate Change Impact, Adaptation, and Mitigation in Temperate Grazing Systems: A Review. *Sustainability* 11, 7224. <https://doi.org/10.3390/su11247224>

Gutiérrez, J.M., Herrera, S., Cardoso, R.M., Matos Soares, P., Espírito-Santo, F., Viterbo, P., 2019. Iberia01: Daily gridded (0.1o resolution) dataset of precipitation and temperatures over the Iberian Peninsula. <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/8641>

Hargreaves, G., Samani, Z., 1985. Reference Crop Evapotranspiration From Temperature. *Applied Engineering in Agriculture* 1. <https://doi.org/10.13031/2013.26773>

Haylock, M.R., Hofstra, N., Klein Tank, A.M.G., Klok, E.J., Jones, P.D., New, M., 2008. A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 113. <https://doi.org/10.1029/2008JD010201>

Hott, M.C., Carvalho, L.M.T., Antunes, M.A.H., Resende, J.C., Rocha, W.S.D., 2019. Analysis of Grassland Degradation in Zona da Mata, MG, Brazil, Based on NDVI Time Series Data with the Integration of Phenological Metrics. *Remote Sensing* 11, 2956. <https://doi.org/10.3390/rs11242956>



- Isselstein, J., Kayser, M., 2014. Functions of grassland and their potential in delivering ecosystem services. *Grassl Sci Eur* 19, 199–214.
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O.B., Bouwer, L.M., Braun, A., Colette, A., Déqué, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., Kröner, N., Kotlarski, S., Kriegsmann, A., Martin, E., van Meijgaard, E., Moseley, C., Pfeifer, S., Preuschmann, S., Radermacher, C., Radtke, K., Rechid, D., Rounsevell, M., Samuelsson, P., Somot, S., Soussana, J.-F., Teichmann, C., Valentini, R., Vautard, R., Weber, B., Yiou, P., 2014. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg Environ Change* 14, 563–578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>
- Ji, L., Peters, A.J., 2004. A spatial regression procedure for evaluating the relationship between AVHRR-NDVI and climate in the northern Great Plains. *International Journal of Remote Sensing* 25, 297–311. <https://doi.org/10.1080/0143116031000102548>
- Kreyling, J., Thiel, D., Simmnacher, K., Willner, E., Jentsch, A., Beierkuhnlein, C., 2012. Geographic origin and past climatic experience influence the response to late spring frost in four common grass species in central Europe. *Ecography* 35, 268–275. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2011.07173.x>
- Kwon, H.-Y., Nkonya, E., Johnson, T., Graw, V., Kato, E., Kihui, E., 2016. Global Estimates of the Impacts of Grassland Degradation on Livestock Productivity from 2001 to 2011, in: Nkonya, E., Mirzabaev, A., von Braun, J. (Eds.), *Economics of Land Degradation and Improvement – A Global Assessment for Sustainable Development*. Springer International Publishing, Cham, pp. 197–214. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-19168-3\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-19168-3_8)
- Liu, S., Zhang, Y., Cheng, F., Hou, X., Zhao, S., 2017. Response of Grassland Degradation to Drought at Different Time-Scales in Qinghai Province: Spatio-Temporal Characteristics, Correlation, and Implications. *Remote Sensing* 9, 1329. <https://doi.org/10.3390/rs9121329>
- Long, R.L., Gorecki, M.J., Renton, M., Scott, J.K., Colville, L., Goggin, D.E., Commander, L.E., Westcott, D.A., Cherry, H., Finch-Savage, W.E., 2015. The ecophysiology of seed persistence: a mechanistic view of the journey to germination or demise. *Biological Reviews* 90, 31–59. <https://doi.org/10.1111/brv.12095>
- Matteodo, M., Wipf, S., Stöckli, V., Rixen, C., Vittoz, P., 2013. Elevation gradient of successful plant traits for colonizing alpine summits under climate change. *Environ. Res. Lett.* 8, 024043. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/2/024043>
- Mayer, A., Egger, C., Loyau, A., Plutzer, C., Schmeller, D.S., Gaube, V., 2022. Mountain pastures increase the resilience of livestock farming to extreme events in the Ariège department, France. *Agron. Sustain. Dev.* 42, 49. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00779-3>
- Norton, M., Volaire, F., 2012. Selection of pasture and forage species adapted to changing environmental conditions in Mediterranean climates.
- O'Mara, F.P., 2012. The role of grasslands in food security and climate change. *Annals of Botany* 110, 1263–1270. <https://doi.org/10.1093/aob/mcs209>
- Pauli, H., Gottfried, M., Dullinger, S., Abdaladze, O., Akhalkatsi, M., Alonso, J.L.B., Coldea, G., Dick, J., Erschbamer, B., Calzado, R.F., Ghosn, D., Holten, J.I., Kanka, R., Kazakis, G., Kollár, J., Larsson, P., Moiseev, P., Moiseev, D., Molau, U., Mesa, J.M., Nagy, L., Pelino, G., Puşças, M., Rossi, G., Stanisci, A., Syverhuset, A.O., Theurillat, J.-P., Tomaselli, M., Unterluggauer, P., Villar, L., Vittoz, P., Grabherr, G., 2012. Recent Plant Diversity Changes on Europe's Mountain Summits. *Science* 336, 353–355. <https://doi.org/10.1126/science.1219033>
- Peeters, A., Beaufoy, G., Canals, R., Vlieghe, A., Huyghe, C., Isselstein, J., Jones, G., Kessler, W., Kirilov, A., Mosquera-Losada, M.R., Nilsdotter-Linde, N., Parente, G., Peyraud, Jean-Louis, Pickert, J., Plantureux, S., Porqueddu, C., Rataj, D., Stypinski, P., Tonn, B., Wilkins, R.J., 2014. Grassland term definitions and classifications adapted to the diversity of European grassland-based systems. *Proceedings of the 25th European Grassland Federation Conference EGF at 50: The Future of European Grasslands* 19, 743–752.
- Pinto, P., Moreira, N., Pires, J., 1994. Lameiros de Trás-os-Montes. *Perspectivas de futuro para estas pastagens de montanha*.
- Pocas, I., Cunha, M., Pereira, L.S., 2006. Pastagens Seminaturais de Montanha: Lameiros, Sistemas Ancestrais no Século XXI, in: *Fc.up.Pt. Presented at the Taller CYTED XVII, El Agua en Ibero-América: Tecnologías Apropriadas e Tecnologías Ancestrales*, Universidad Nacional de Piura-Peru, Lima, pp. 1–25.
- Porqueddu, C., Ates, S., Louhaichi, M., Kyriazopoulos, A.P., Moreno, G., del Pozo, A., Ovalle, C., Ewing, M.A., Nichols, P.G.H., 2016. Grasslands in 'Old World' and 'New World' Mediterranean-climate zones: past trends, current status and future research priorities. *Grass and Forage Science* 71, 1–35. <https://doi.org/10.1111/gfs.12212>
- Porqueddu, C., Roggero, P.P., 1994. Effetto delle tecniche agronomiche di intensificazione foraggera sui fenomeni erosivi dei terreni in pendio in ambiente mediterraneo.
- Ramirez-Villegas, J., Jarvis, A., 2010. Downscaling Global Circulation Model Outputs: The Delta Method Decision and Policy Analysis Working Paper No. 1.

- Reinermann, S., Asam, S., Kuenzer, C., 2020. Remote Sensing of Grassland Production and Management—A Review. *Remote Sensing* 12, 1949. <https://doi.org/10.3390/rs12121949>
- Rouse, W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W., 1974. MONITORING VEGETATION SYSTEMS IN THE GREAT PLAINS WITH ERTS. *NASA Special Publication* 351 309–317.
- Schils, R.L.M., Bufer, C., Rhymer, C.M., Francksen, R.M., Klaus, V.H., Abdalla, M., Milazzo, F., Lellei-Kovács, E., Berge, H. ten, Bertora, C., Chodkiewicz, A., Dămătircă, C., Feigenwinter, I., Fernández-Rebollo, P., Ghiasi, S., Hejduk, S., Hiron, M., Janicka, M., Pellaton, R., Smith, K.E., Thorman, R., Vanwalleghe, T., Williams, J., Zavattaro, L., Kampen, J., Derkx, R., Smith, P., Whittingham, M.J., Buchmann, N., Price, J.P.N., 2022. Permanent grasslands in Europe: Land use change and intensification decrease their multifunctionality. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 330, 107891. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.107891>
- Schwager, P., Berg, C., 2019. Global warming threatens conservation status of alpine EU habitat types in the European Eastern Alps. *Reg Environ Change* 19, 2411–2421. <https://doi.org/10.1007/s10113-019-01554-z>
- Seastedt, T.R., Bowman, W.D., Caine, T.N., McKnight, D., Townsend, A., Williams, M.W., 2004. The Landscape Continuum: A Model for High-Elevation Ecosystems. *BioScience* 54, 111–121. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0111:TL CAMF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0111:TL CAMF]2.0.CO;2)
- Serrano, J., Shahidian, S., Paixão, L., Marques da Silva, J., Morais, T., Teixeira, R., Domingos, T., 2021. Spatiotemporal Patterns of Pasture Quality Based on NDVI Time-Series in Mediterranean Montado Ecosystem. *Remote Sensing* 13, 3820. <https://doi.org/10.3390/rs13193820>
- SNIG, 2022. Carta de Uso e Ocupação do Solo [WWW Document]. Registo Nacional de Dados Geográficos. URL <https://snig.dgterritorio.gov.pt/rndg/srv/por/catalog.search#/home> (accessed 1.11.23).
- Soussana, J.-F., Klumpp, K., Ehrhardt, F., 2014. The role of grassland in mitigating climate change. Presented at the 25th General Meeting of the European Grassland Federation, Institute of Biological, Environmental and Rural Sciences (IBERS), p. 919 p.
- Starks, P.J., Steiner, J.L., Neel, J.P.S., Turner, K.E., Northup, B.K., Gowda, P.H., Brown, M.A., 2019. Assessment of the Standardized Precipitation and Evaporation Index (SPEI) as a Potential Management Tool for Grasslands. *Agronomy* 9, 235. <https://doi.org/10.3390/agronomy9050235>
- Sternberg, M., Gutman, M., Perevolotsky, A., Kigel, J., 2003. Effects of grazing on soil seed bank dynamics: An approach with functional groups. *Journal of Vegetation Science* 14, 375–386. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2003.tb02163.x>
- Taube, F., Gierus, M., Hermann, A., Loges, R., Schönbach, P., 2014. Grassland and globalization – challenges for north-west European grass and forage research. *Grass and Forage Science* 69, 2–16. <https://doi.org/10.1111/gfs.12043>
- USGS, 2023. EarthExplorer [WWW Document]. URL <https://earthexplorer.usgs.gov/> (accessed 1.17.23).
- Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., López-Moreno, J.I., 2010. A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate* 23, 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- Voltaire, F., Norton, M.R., Lelièvre, F., 2009. Summer Drought Survival Strategies and Sustainability of Perennial Temperate Forage Grasses in Mediterranean Areas. *Crop Science* 49, 2386–2392. <https://doi.org/10.2135/cropsci2009.06.0317>
- Wang, R., Gamon, J.A., Montgomery, R.A., Townsend, P.A., Zygielbaum, A.I., Bitan, K., Tilman, D., Cavender-Bares, J., 2016. Seasonal Variation in the NDVI–Species Richness Relationship in a Prairie Grassland Experiment (Cedar Creek). *Remote Sensing* 8, 128. <https://doi.org/10.3390/rs8020128>
- Yang, C., Fraga, H., van Ieperen, W., Santos, J.A., 2018. Modelling climate change impacts on early and late harvest grassland systems in Portugal. *Crop Pasture Sci.* 69, 821. <https://doi.org/10.1071/CP17428>



## 07 | EXTREMOS CLIMÁTICOS





## .1 | INTRODUÇÃO

O aumento da temperatura e a diminuição da disponibilidade hídrica são eventos tipicamente associados às alterações climáticas. No entanto, é a ocorrência de eventos extremos, como as ondas de calor, as secas extremas ou as inundações, que nos dá uma maior perceção de que as alterações climáticas são de facto uma realidade. Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), no futuro, uma das principais ameaças das alterações climáticas a nível local será o aumento da frequência e intensidade de episódios de extremos climáticos. Eventos de calor extremo (temperaturas acima de 35°C) podem afetar significativamente o rendimento das culturas agrícolas, através da restrição de certos mecanismos fisiológicos como a fotossíntese (Gladstones 2011), dificultando o desenvolvimento da cultura (Kliwer and Torres 1972) e sua produtividade (Droulia and Charalampopoulos 2022). Embora as temperaturas moderadas possam ser benéficas para o potencial de amadurecimento dos frutos, o stresse térmico excessivo pode levar a uma variedade de efeitos, principalmente dependendo do estágio de desenvolvimento das espécies vegetais. Como exemplo, verificou-se que eventos de ondas de calor de até 9 dias podem diminuir os rendimentos de uma vinha em cerca de 35%. Nas frutícolas, paragens de maturação são frequentes a temperaturas do ar muito altas, principalmente se a disponibilidade de água no solo já for muito baixa (Gladstones 2011). Por outro lado, frio excessivo também poderá resultar em perdas elevadas para os agricultores. Embora a temperatura seja considerada um factor imperativo no crescimento geral e na produtividade das culturas, a precipitação também desempenha um papel importante (Santos et al. 2020). No caso particular da precipitação, projeta-se uma diminuição na zona subtropical (Dai, Zhao, and Chen 2018), levando a um aumento do período seco. Não obstante, a contínua intensificação do aquecimento global deverá também intensificar os eventos extremos de precipitação, devido ao aumento do vapor de água na atmosfera (Ingram 2016), o que poderá resultar em episódios de cheia, afetando assim o balanço hídrico e a disponibilidade hídrica. Esses impactos levam a uma superfície mais seca, menos evaporação e menor humidade relativa do ar, agravando as condições de seca (Dai 2006) e causando stresse hídrico nas plantas. Embora a maioria das culturas da região do Côa sejam de sequeiro, o stresse hídrico está se tornando cada vez mais problemático devido às temperaturas cada vez mais altas, aumento dos períodos de seca e intensidade dos eventos extremos, como ondas de calor (Yang et al. 2022). Os impactos prejudiciais podem variar desde o crescimento das culturas, peso dos frutos, qualidade e produtividade (Gambetta et al. 2020; Chacón-Vozmediano et al. 2020). No entanto, algumas medidas de adaptação como a rega deficitária (stresse hídrico

controlado), podem melhorar a qualidade de algumas culturas como a vinha e reduzir as perdas de rendimento (Dougherty 2012).

Neste capítulo, as características espaço-temporais de seis índices de extremos climáticos de precipitação e temperatura serão avaliadas e agregadas para a região do Côa. A análise é realizada para o período histórico de 1981–2010 e período futuro de 2041–2070 sob o cenário RCP4.5

## DADOS CLIMÁTICOS HISTÓRICOS, PROJEÇÕES FUTURAS E CORREÇÃO DE VIÉS |.2

Um conjunto de dados diários de alta resolução recentemente desenvolvido, Iberia01, foi usado neste estudo (Herrera et al. 2019). Este conjunto de dados abrange toda a Península Ibérica e o período de 1971 a 2015, com dados recolhidos de redes meteorológicas de 3486 e 275 estações meteorológicas para precipitação e temperatura, respetivamente. O conjunto de dados inclui dados diários sobre quantidade de precipitação (RR) e temperaturas mínimas (TN) e máximas (TX). Os dados diários de temperatura e precipitação estão disponíveis numa resolução horizontal de 0,1° (resolução espacial de ~10 km). Todas as variáveis foram extraídas dentro de um setor geográfico que abrange a região do Côa no período 1981–2010 (período histórico). A temperatura média diária (TG) foi calculada com base na média simples de TN e TX diários para ser consistente com os dados do modelo climático, conforme explicado abaixo. Este conjunto de dados foi usado como linha de base para calibrar dados futuros com um método de correção de viés de “Quantile Mapping” (“Mapeamento Empírico de Quantidades”) (Martins et al. 2021), considerado um método mais preciso na replicação de eventos extremos.

As mesmas variáveis climáticas desenvolvidas por um conjunto de simulações de modelos climáticos foram descarregadas do projeto EURO-CORDEX (Jacob et al. 2014), obtido do *Climate Data Store* do *Copernicus Climate Change Service* (<https://cds.climate.copernicus.eu/>). Este conjunto de dados climáticos em malha estão disponíveis numa resolução horizontal de 0,11° (~12,5 km de resolução espacial) cobrindo todo o domínio europeu. Para avaliar o impacto de mudanças climáticas, cinco pares de modelos climáticos globais-regionais (GCM-RCM) foram aqui usados, tendo em consideração a variabilidade inter-modelo (Fonseca and Santos 2019; Santos et al. 2020a; Fonseca et al. 2020; Santos et al. 2020). Assim como para Iberia01, os dados do modelo também foram recortados para a área de estudo. Os seguintes modelos foram considerados: CLMcom-CCLM4-8-17 conduzido por CNRM-CERFACS-



CNRM-CM5 e por MPI-M-MPI-ESM-LR, SMHI-RCA4 conduzido por CNRM-CERFACS-CNRM-CM5 e por MPI-M-MPI-ESM- L e DMI-HIRHAM5 conduzidos por ICHEC-EC-EARTH. O cenário RCP4.5 corresponde a um cenário intermédio/moderado do forçamento radiativo antropogénico (IPCC 2022).

.3 | ÍNDICES CLIMÁTICOS E ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Os índices climáticos de temperatura diária e extremos de precipitação foram calculados usando o software *Climate Data Operators* (Schulzweida, Kornblueh, and Quast 2006). Um total de seis índices de extremos climáticos foram eventualmente selecionados. Desse conjunto, três índices referem-se à precipitação e três à temperatura (Quadro 7.1). Os resultados destes índices são aqui expressos em valores anuais e definidos em função do número de dias. Os índices climáticos extremos foram calculados para o período histórico (1981–2010) bem como para o período futuro 2041–2070, sob RCP4.5.

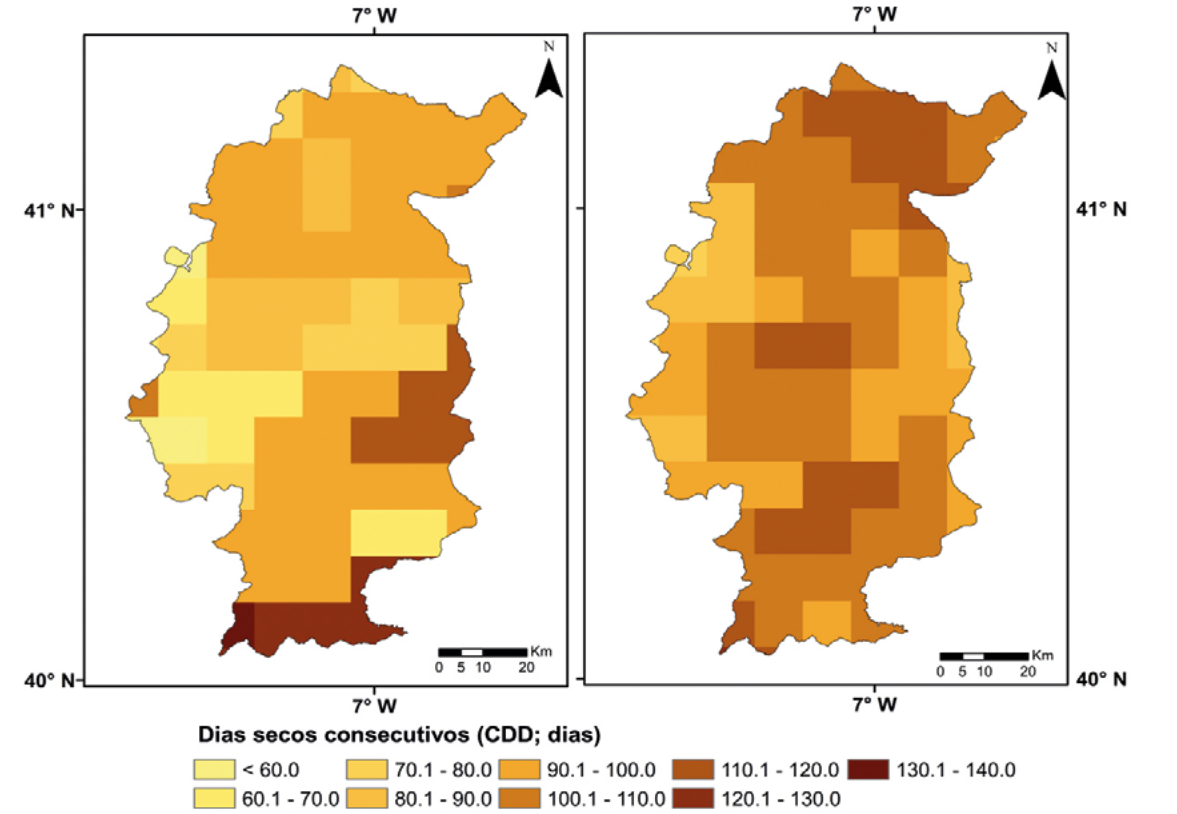
Quadro 7.1 – Descrição dos índices climáticos e respetivas unidades.

Índice Climático	Descrição	Unidades
CDD	Dias secos consecutivos — Número de dias consecutivos com precipitação inferior a 1 mm	dias
SDII	Índice de precipitação simples - Soma da precipitação em dias húmidos dividida pelo número de dias húmidos. Um dia húmido é um dia com precipitação de pelo menos 1 mm.	mm/dia
RR20mm	Número de dias com precipitação acima de 20 mm	dias
CSU	Dias consecutivos de verão — Número de dias consecutivos em que a temperatura máxima é superior a 25°C	dias
TR	Noites Tropicais — Número de dias em que a temperatura mínima é superior a 20°C	dias
ETR	Intervalo de temperatura extrema – Maior diferença entre a temperatura máxima e mínima diária	°C

ÍNDICES EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO | .4

Os resultados dos índices climáticos extremos de precipitação para o período histórico e futuro são mostrados na Figura 7.1. Em comparação com o histórico (Fig. 7.1 esquerda), o número de dias secos consecutivos (CDD) mostra um aumento notável em toda a região, com exceção das zonas mais a sul, no futuro (Fig. 7.1 direita).

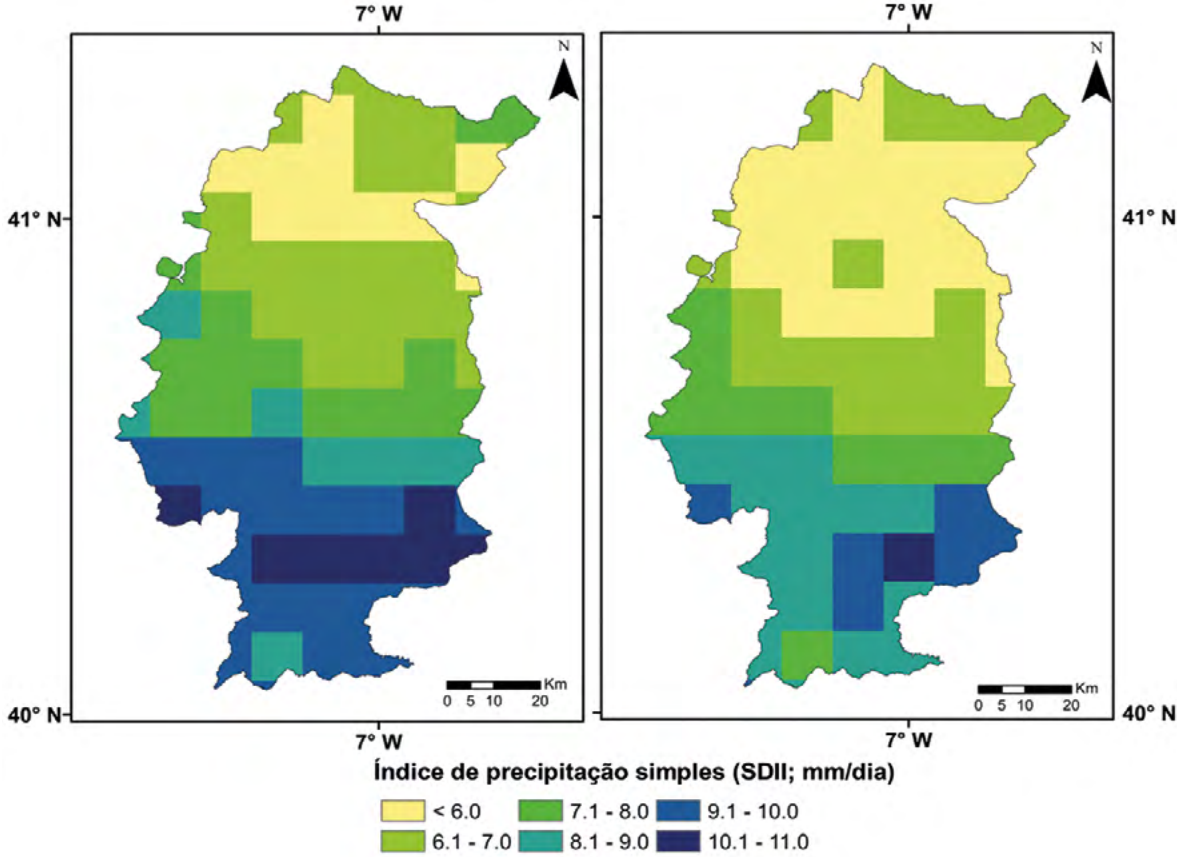
Figura 7.1- Índice de Dias Secos Consecutivos para os períodos 1981–2010 (esquerda) e 2041–2070 (direita).



De acordo com os resultados do índice de precipitação simples (SDII), que define a quantidade média de precipitação de dias húmidos, os valores variam entre 6 e 11 mm por dia. O índice apresenta uma tendência de diminuição em toda a região, no futuro (Fig. 7.2 direita). A diminuição é mais notória nas regiões do Douro Superior e Castelo Rodrigo, respetivamente, prevendo-se uma menor intensidade de precipitação no futuro (< 6 mm/dia).

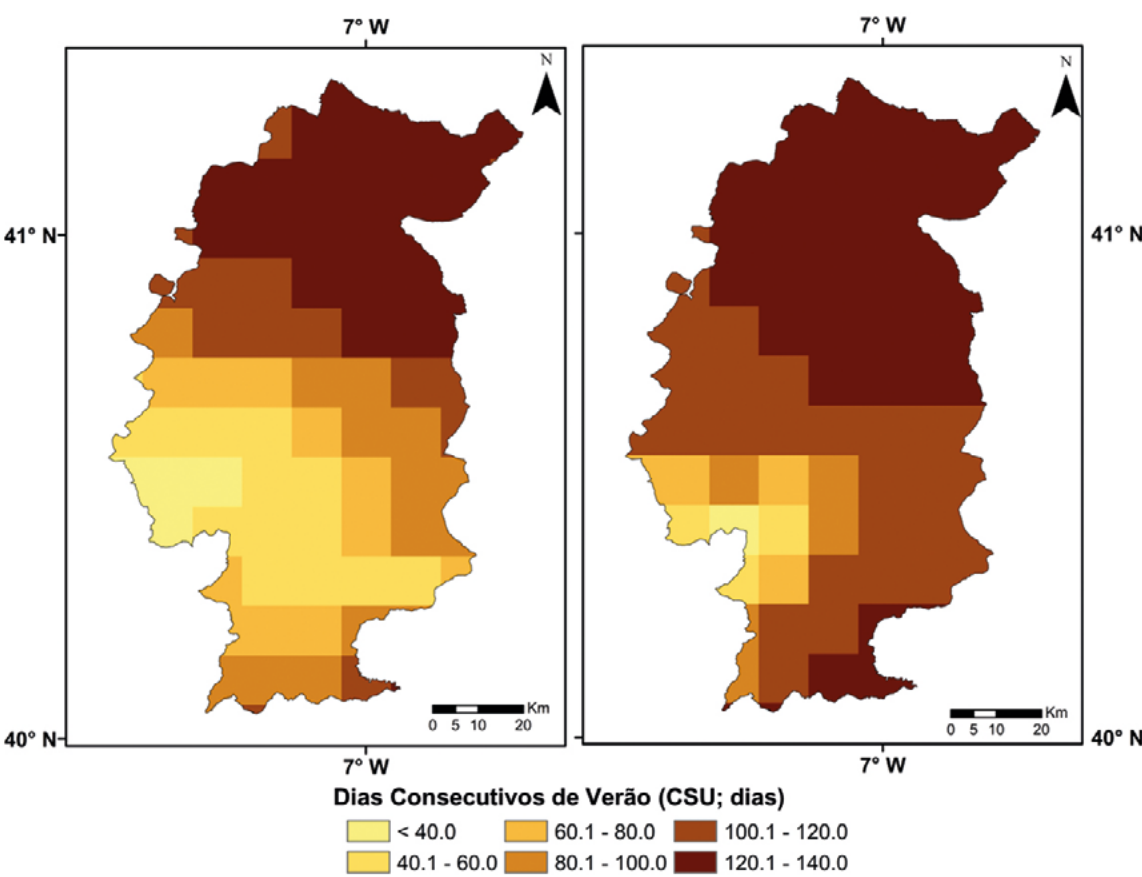


Figura 7.2- Índice de Precipitação Simples para os períodos 1981-2010 (esquerda) e 2041-2070 (direita).



O índice RR20mm determina o número de dias com precipitação superior a 20 mm. Como esperado, a região do Côa apresenta um número de dias com precipitação muito intensa relativamente baixo (<15 dias). No entanto, a norte da região, junto ao Douro este número é bastante baixo (2 a 4 dias). No sul da região do Côa estes valores podem ir até 15 dias de precipitação intensa (Fig. 7.3 esquerda). No futuro a manutenção destes valores pode revelar-se benéfico, uma vez que nesta região se encontram em declives muito acentuados, onde a erosão e a forte precipitação geralmente causam problemas (Fig. 7.3 direita).

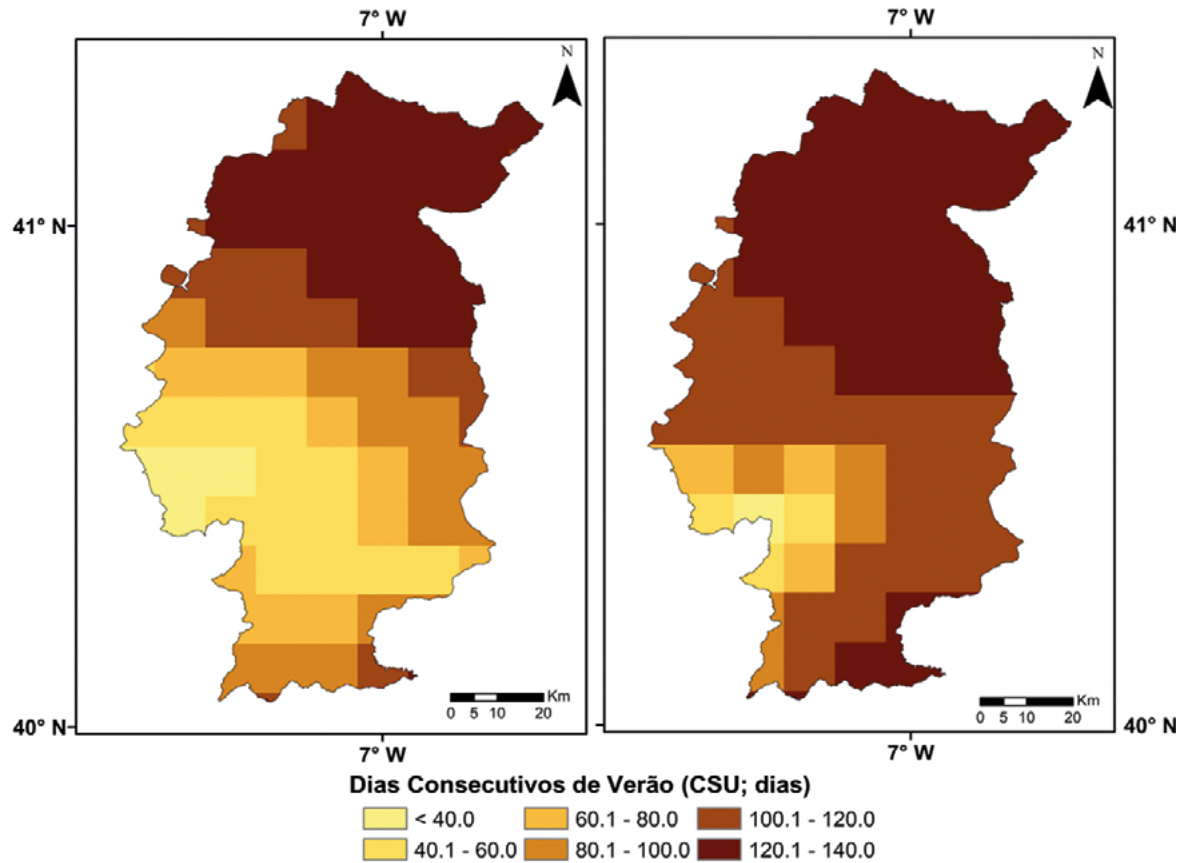
Figura 7.3- Índice de dias com precipitação acima de 20 mm para os períodos 1981-2010 (esquerda) e 2041-2070 (direita).



O índice de dias consecutivos de verão (CSU) é o número de dias consecutivos em que a temperatura máxima (TX) é superior a 25°C. Os valores mais baixos são observados nas zonas mais a sul, próximas da zona da serra da Estrela, enquanto as áreas mais a norte, próximo do rio Douro, apresentam valores bastante mais altos (> 120 dias) (Fig. 7.4 esquerda). No futuro, prevê-se um agravamento dos valores máximos, resultando em mais dias consecutivos com temperaturas acima de 25°C (Fig. 7.4 direita).

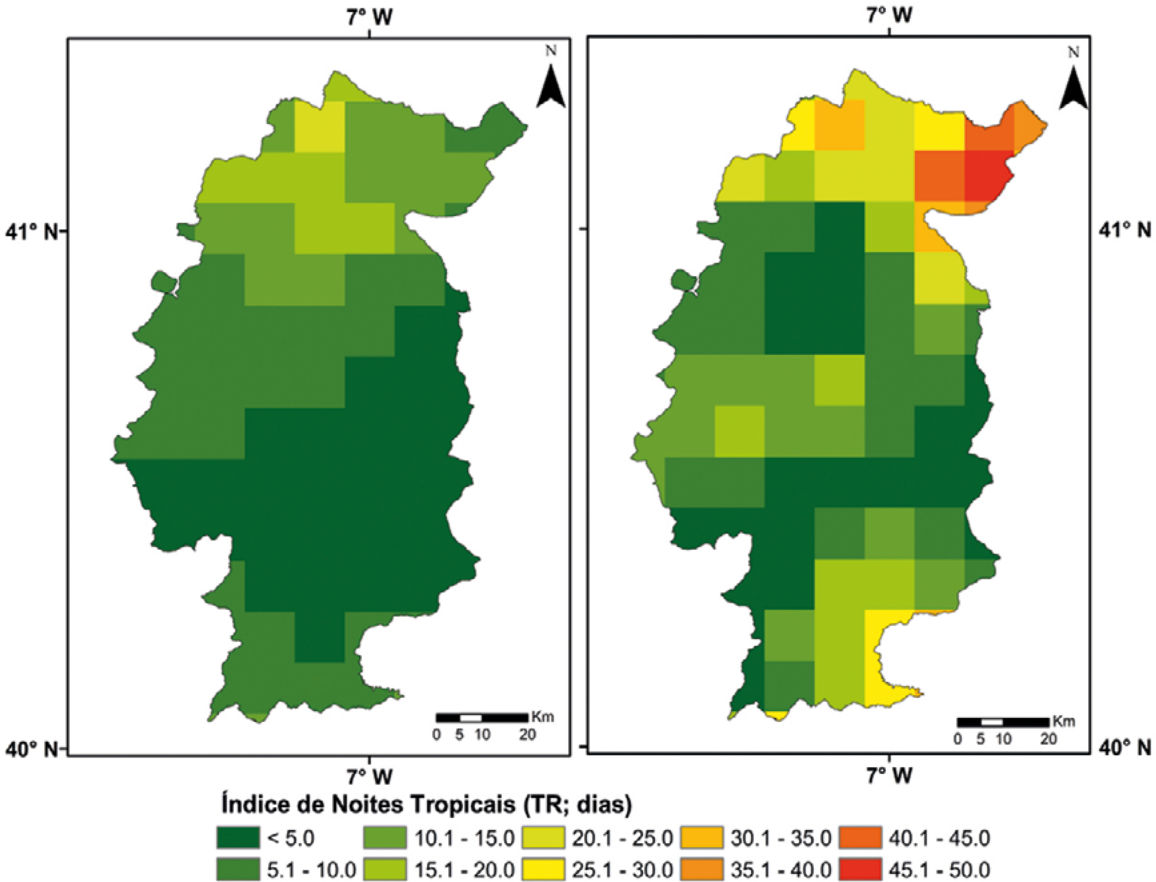


Figura 7.4- Índice de Dias Consecutivos de Verão para os períodos 1981-2010 (esquerda) e 2041-2070 (direita).



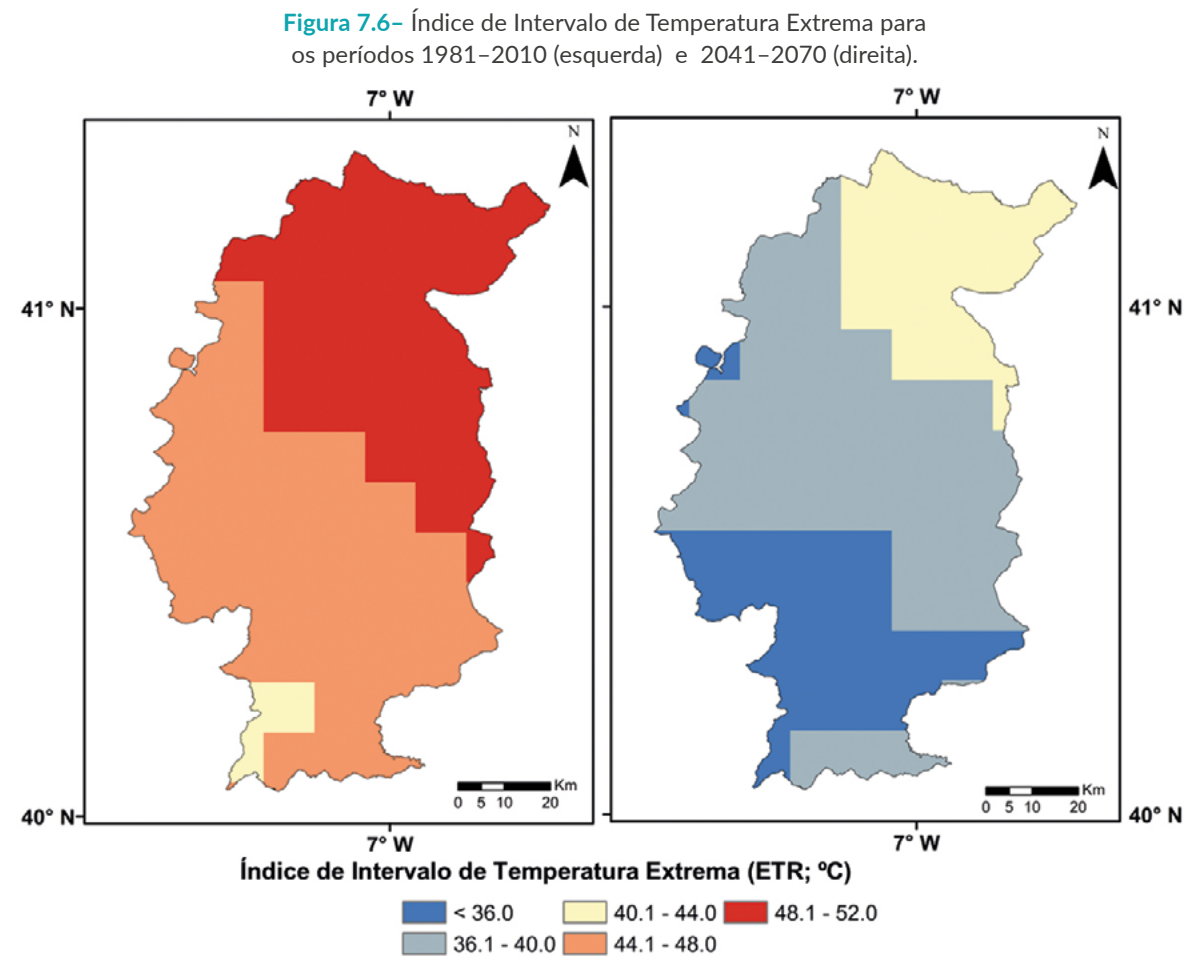
O índice de noites tropicais (TR) determina o número de dias em que a temperatura mínima é superior a 20°C. No período histórico (Fig. 7.5 esquerda), o número de dias de TR está sempre abaixo de 20, enquanto para os períodos futuros (Fig. 7.5 direita) a expectativa é chegar a até 50 dias em algumas zonas do nordeste da região. Um aumento da temperatura noturna poderá ser prejudicial para a capacidade de recuperação das plantas durante os períodos mais quentes.

Figura 7.5- Índice de Noites Tropicais para os períodos 1981-2010 (esquerda) e 2041-2070 (direita).



O índice ETR indica a maior diferença entre a temperatura máxima e mínima diária para os períodos histórico e futuro. No histórico, a região do Côa apresenta valores que variam entre 40°C e 52°C (Fig. 7.6 esquerda). No entanto, no futuro, estes intervalos irão encurtar, provavelmente ao maior aumento das temperaturas mínimas, em relação às máximas (Fig. 7.6 direita).





## .5 | IMPACTOS E ESTRATÉGIAS DE ADAPTAÇÃO

No contexto das alterações climáticas em curso, os agricultores da região do Côa deverão esperar impactos relevantes resultantes dos eventos climáticos extremos (Fraga et al. 2016; Webb, Whetton, and Barlow 2007). Adotar estratégias para fazer face às alterações climáticas é crucial para mitigar os seus efeitos (Bai et al. 2022). Para tornar as culturas mais resistentes aos climas futuros e para melhorar ou manter o desenvolvimento e crescimento

das plantas face a este stresse ambiental, os agricultores podem adotar estratégias de curto prazo (normalmente focadas em ameaças específicas) ou estratégias de longo prazo (adoção durante várias épocas de crescimento ou antes de implementar uma nova plantação).

Estratégias de curto prazo sugerem mudanças nas práticas agrícolas para proteger a planta do calor extremo e da escassez de água. A irrigação é amplamente aplicada para melhorar o rendimento e a qualidade das culturas quando a precipitação não atende às necessidades hídricas da planta. Normalmente, o método de gestão de água mais económico e eficiente é baseado em sistemas rega gota-a-gota (Sauer et al. 2010; Peacock et al. 1977), embora a rega por aspersão (muito menos eficiente devido à elevada evaporação) seja ainda muito utilizada (Djaman et al. 2021). Além disso, sistemas de irrigação inteligentes automatizados podem ser implementados para melhorar a economia de água, particularmente em zonas com défice hídrico elevado (Flexas et al. 2010; Koech e Langat 2018).

Por outro lado, as estratégias de adaptação a longo prazo podem ser aplicadas pelos agricultores ao longo de vários anos (Hannah et al. 2013). Através de sistemas de gestão agrícola adaptados ao clima mais seco e quente, como por exemplo a seleção de solos com maior capacidade de retenção de água, ou a seleção de espécies ou cultivares mais resistentes à seca (van Leeuwen et al. 2019; Duchêne, Huard, and Pieri 2014). Algumas zonas, porém, podem ficar excessivamente secas e quentes para uma agricultura sustentável (Moriondo et al. 2013) e, portanto, uma realocação de certas culturas também deve ser considerada. Mudanças para locais menos quentes e com menor radiação solar (ou seja, altitudes mais elevadas) podem ser uma opção (Moriondo et al. 2011; Karvonen 2014). No entanto, a realocação de culturas pode resultar em prováveis conflitos de uso da terra e da água (Ollat, Touzard, e Van Leeuwen 2016), por conseguinte, devem ser avaliados cuidadosamente, considerando as consequências económicas apropriadas (Zhu et al. 2016).

## CONCLUSÕES | .6

Os factores climáticos, são fundamentais para o crescimento e produtividade de culturas agrícolas. Não obstante a elevada adaptabilidade das plantas a diferentes condições climáticas e a sua relativa resiliência a stresse hídrico e térmico, o seu desenvolvimento está sujeito às pressões de eventos extremos (Fraga et al. 2017). Os resultados apresentados sugerem que o clima futuro aumentará a pressão sobre as culturas da região do Côa.



Bai, H., G. A. Gambetta, Y. Wang, J. Kong, Q. Long, P. Fan, W. Duan, Z. Liang, and Z. Dai. 2022. "Historical Long-Term Cultivar×climate Suitability Data to Inform Viticultural Adaptation to Climate Change." *Scientific Data* 9 (1): 271. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01367-6>.

Chacón-Vozmediano, J. L., J. Martínez-Gascueña, F. J. García-Navarro, and R. Jiménez-Ballesta. 2020. "Effects of Water Stresse on Vegetative Growth and 'Merlot' Grapevine Yield in a Semi-Arid Mediterranean Climate." *Horticulturae* 6 (4): 95.

Dai, A. 2006. "Recent Climatology, Variability, and Trends in Global Surface Humidity." *Journal of Climate* 19 (15): 3589–3606.

Dai, A., T. Zhao, and J. Chen. 2018. "Climate Change and Drought: A Precipitation and Evaporation Perspective." *Current Climate Change Reports* 4 (3): 301–12.

Djaman, K., S. Irmak, K. Koudahe, and S. Allen. 2021. "Irrigation Management in Potato (*Solanum Tuberosum* L.) Production: A Review." *Sustainability* 13 (3). <https://doi.org/10.3390/su13031504>.

Dougherty, P. H. 2012. *The Geography of Wine: Regions, Terroir and Techniques*. Springer Science & Business Media.

Droulia, F., and I. Charalampopoulos. 2022. "A Review on the Observed Climate Change in Europe and Its Impacts on Viticulture." *Atmosphere* 13 (5). <https://doi.org/10.3390/atmos13050837>.

Duchêne, E., F. Huard, and P. Pieri. 2014. "Grapevine and Climate Change: What Adaptations of Plant Material and Training Systems Should Be Anticipate?"

Flexas, J., J. Galmés, A. Gallé, J. Gulías, A. Pou, M. Ribas-Carbo, M. Tomàs, and H. Medrano. 2010. "Improving Water Use Efficiency in Grapevines: Potential Physiological Targets for Biotechnological Improvement." *Australian Journal of Grape and Wine Research* 16 (s1): 106–21. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2009.00057.x>.

Fonseca, A. R., and J. A. Santos. 2019. "Predicting Hydrologic Flows under Climate Change: The Tâmega Basin as an Analog for the Mediterranean Region." *Science of the Total Environment* 668. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.435>.

Fonseca, A. R., J. A. Santos, S. G. P. Varandas, S. M. Monteiro, J. L. Martinho, R. M. V. Cortes, and E. Cabecinha. 2020. "Current and Future Ecological Status Assessment: A New Holistic Approach for Watershed Management." *Water (Switzerland)* 12 (10). <https://doi.org/10.3390/w12102839>.

Fraga, Helder, I. G. de Cortázar Atauri, A. C. Malheiro, J. Moutinho-Pereira, and J. A. Santos. 2017. "Viticulture in Portugal: A Review of Recent Trends and Climate Change Projections." *Oeno One* 51 (2): 61–69.

Fraga, H, J. A. Santos, J. Moutinho-Pereira, C. Carlos, J. Silvestre, J. Eiras-Dias, T. Mota, and A. C. Malheiro. 2016. "Statistical Modelling of Grapevine Phenology in Portuguese Wine Regions: Observed Trends and Climate Change Projections." *The Journal of Agricultural Science* 154 (05): 795–811. <https://doi.org/10.1017/S0021859615000933>.

Gambetta, G. A., J. C. Herrera, S. Dayer, Q. Feng, U. Hochberg, and S. D. Castellarin. 2020. "The Physiology of Drought Stresse in Grapevine: Towards an Integrative Definition of Drought Tolerance." *Journal of Experimental Botany* 71 (16): 4658–76.

Gladstones, J. 2011. *Wine, Terroir and Climate Change*. Wakefield Press.

Hannah, L., P. R. Roehrdanz, M. Ikegami, A. v Shepard, M. R. Shaw, G. Tabor, L. Zhi, P. A. Marquet, and R. J. Hijmans. 2013. "Climate Change, Wine, and Conservation." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110 (17): 6907–12. <https://doi.org/10.1073/pnas.1210127110>.

Herrera, S., R. M. Cardoso, P. M. Soares, F. Espírito-Santo, P. Viterbo, and J. M. Gutiérrez. 2019. "Iberia01: A New Gridded Dataset of Daily Precipitation and Temperatures over Iberia." *Earth System Science Data* 11 (4): 1947–56.

Ingram, W. 2016. "Increases All Round." *Nature Climate Change* 6 (5): 443–44.

IPCC. 2022. "Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the IPCC Sixth Assessment Report."

Jacob, D., J. Petersen, B. Eggert, A. Alias, O. B. Christensen, L. M. Bouwer, A. Braun, A. Colette, M. Déqué, and G. Georgievski. 2014. "EURO-CORDEX: New High-Resolution Climate Change Projections for European Impact Research." *Regional Environmental Change* 14 (2): 563–78.

Karvonen, J. 2014. "Northern European Viticulture Compared to Central European High Altitude Viticulture: Annual Growth Cycle of Grapevines in the Years 2012-2013." *International Journal of Wine Research*.

Kliewer, W. M., and R. E. Torres. 1972. "Effect of Controlled Day and Night Temperatures on Grape Coloration." *American Journal of Enology and Viticulture* 23 (2): 71–77.

Koech, R., and P. Langat. 2018. "Improving Irrigation Water Use Efficiency: A Review of Advances, Challenges and Opportunities in the Australian Context." *Water* 10 (12). <https://doi.org/10.3390/w10121771>.

Leeuwen, C. van, A. Destrac-Irvine, M. Dubernet, E. Duchêne, M. Gowdy, E. Marguerit, P. Pieri, A. Parker, L. de Rességuier, and

N. Ollat. 2019. "An Update on the Impact of Climate Change in Viticulture and Potential Adaptations." *Agronomy* 9 (9). <https://doi.org/10.3390/agronomy9090514>.

Martins, J., H. Fraga, A. Fonseca, and J. A. Santos. 2021. "Climate Projections for Precipitation and Temperature Indicators in the Douro Wine Region: The Importance of Bias Correction." *Agronomy* 11 (5). <https://doi.org/10.3390/agronomy11050990>.

Moriondo, M., M. Bindi, C. Fagarazzi, R. Ferrise, and G. Trombi. 2011. "Framework for High-Resolution Climate Change Impact Assessment on Grapevines at a Regional Scale." *Regional Environmental Change* 11 (3): 553–67. <https://doi.org/10.1007/s10113-010-0171-z>.

Moriondo, M., G. v Jones, B. Bois, C. Dibari, R. Ferrise, G. Trombi, and M. Bindi. 2013. "Projected Shifts of Wine Regions in Response to Climate Change." *Climatic Change* 119 (3): 825–39.

Ollat, N., J.-M. Touzard, and C. van Leeuwen. 2016. "Climate Change Impacts and Adaptations: New Challenges for the Wine Industry." *Journal of Wine Economics* 11 (1): 139–49.

Peacock, W. L., D. E. Rolston, F. K. Aljibury, and R. S. Rauschkolb. 1977. "Evaluating Drip, Flood, and Sprinkler Irrigation of Wine Grapes [California]." *American Journal of Enology and Viticulture (USA)*.

Santos, J. A., H. Fraga, A. C. Malheiro, J. Moutinho-Pereira, L.-T. Dinis, C. Correia, M. Moriondo, L. Leolini, C. Dibari, and S. Costafreda-Aumedes. 2020. "A Review of the Potential Climate Change Impacts and Adaptation Options for European Viticulture." *Applied Sciences* 10 (9): 3092.

Santos, M., A. Fonseca, H. Fraga, G. V. Jones, and J. A. Santos. 2020a. "Bioclimatic Conditions of the Portuguese Wine Denominations of Origin under Changing Climates." *International Journal of Climatology* 40 (2). <https://doi.org/10.1002/joc.6248>.

Sauer, T., P. Havlík, U. A. Schneider, E. Schmid, G. Kindermann, and M. Obersteiner. 2010. "Agriculture and Resource Availability in a Changing World: The Role of Irrigation." *Water Resources Research* 46 (6). <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2009WR007729>.

Schulzweida, U., L. Kornblueh, and R. Quast. 2006. "CDO User's Guide." *Climate Data Operators, Version 1* (6): 205–9.

Webb, L. B., P. H. Whetton, and E. W. R. Barlow. 2007. "Modelled Impact of Future Climate Change on the Phenology of Winegrapes in Australia." *Australian Journal of Grape and Wine Research* 13 (3): 165–75.

Yang, C., C. Menz, H. Fraga, S. Costafreda-Aumedes, L. Leolini, M. C. Ramos, D. Molitor, C. van Leeuwen, and J. A. Santos. 2022. "Assessing the Grapevine Crop Water Stresse Indicator over the Flowering-Veraison Phase and the Potential Yield Lose Rate in Important European Wine Regions." *Agricultural Water Management* 261: 107349. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107349>.

Zhu, X., M. Moriondo, E. C. van Ierland, G. Trombi, and M. Bindi. 2016. "A Model-Based Assessment of Adaptation Options for Chianti Wine Production in Tuscany (Italy) under Climate Change." *Regional Environmental Change* 16 (1): 85–96. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0622-z>.





## 08 | IMPACTOS ECONÓMICOS



## .1 | INTRODUÇÃO

○ Côa é uma região vulnerável aos efeitos das alterações climáticas cuja modificação dos padrões de produção agrícola resultantes do impacto do clima nos ecossistemas coloca desafios aos sectores socioeconómicos do país, nomeadamente ao sector vitivinícola (Fraga et al., 2016). A alteração do clima pode afetar a condição dos ecossistemas e consequentemente o fornecimento de serviços de ecossistema (Zawude Bakure, Hundera, & Abara, 2022), i.e., os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas e são coproduzidos pelas interações entre ecossistemas e sociedades . Apesar dos sistemas de produção vitivinícolas estarem muitas vezes associados apenas à produção de bens alimentares com valor de mercado, é reconhecido que a paisagem vinhateira pode ser um sistema multifuncional, fornecendo vários serviços de ecossistema que podem gerar diferentes tipos de valor, seja ele económico, social ou cultural (Winkler, Viers, & Nicholas, 2017). No entanto, a resiliência destas paisagens e das suas condições ecológicas depende em grande medida da perceção de risco associado ao contexto climático futuro, do reconhecimento de práticas de gestão adaptativas que são aplicadas na produção e meio envolvente, bem como da importância do fornecimento potencial de serviços de ecossistema nestes ecossistemas (Candiago, Winkler, Giombini, Giupponi, & Egarter Vigl, 2022; Garcia et al., 2018; Vaz et al., 2021).

Para perceber a visão local dos efeitos das alterações climáticas no sector vitivinícola da região do Vale do Côa, este trabalho focou as perceções da partes interessadas envolvidas no sector económico vitivinícola tais como agricultores, associação de produtores, e empresas, da região do Vale do Côa sobre (i) os potenciais impactos das alterações climáticas neste sector económico, (ii) medidas e práticas de gestão dos sistemas de produção vitivinícola em contexto de alterações climáticas, (iii) a perceção acerca da capacidade de fornecimento potencial de serviços de ecossistema pelas paisagens vinhateiras, e (iv) a relevância destes serviços para o sector económico vitivinícola da região. Utilizou-se uma abordagem participativa de valoração não monetária recorrendo a métodos consultivos através da combinação da aplicação de questionários e discussão orientada (Christie, Fazey, Cooper, Hyde, & Kenter, 2012), realizados numa sessão de trabalho presencial no Museu da Fundação do Côa, com dezassete participantes qualificados, partindo de uma recolha de dados prévia, online, aos associados da ADVID. O trabalho foi dividido em três momentos principais: (i) apresentação dos objetivos e conceitos-chave relacionados com a temática das alterações climáticas, medidas de gestão e serviços de ecossistema; (ii) aplicação de questionários individuais; (iii) discussão geral com os participantes.

Os questionários incluíram quatro partes com o objetivo responder a quatro questões de investigação, nomeadamente (Q1) Qual o impacto percecionado das alterações climáticas no sector vitivinícola? (Q2) Quais as medidas de gestão implementadas nos sistemas agrícolas associados à produção vitivinícola? (Q3) Qual a capacidade de fornecimento de serviços de ecossistema pelas paisagens vinhateiras? (Q4) Qual a relevância do fornecimento de serviços de ecossistema para o sector de atividade vitivinícola? Foram considerando dois momentos temporais de avaliação, i.e., “Atual” - relativo ao período compreendido aos últimos 10 anos e “Futuro” - relativo ao período compreendido nos próximos 10 anos considerando o potencial impacto das alterações climáticas.

## ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E ADEQUAÇÃO DE MEDIDAS DE GESTÃO NO SECTOR VITIVINÍCOLA | .2

○ nível de impacto das alterações climáticas no sector vitivinícola da região do Vale do Côa nos últimos 10 anos é, de uma forma geral, percecionado como moderadamente negativo, mantendo-se a tendência para o futuro próximo. A ocorrência de ondas de calor, períodos de seca e a desertificação continuarão a ser os factores com um nível de impacto negativo mais elevado, embora os seus efeitos no sector vitivinícola possam ser mais pronunciados. A perceção do impacto negativo relacionado com a ocorrência de grandes incêndios na região e da incidência de pragas e doenças que afetam a vinha poderá também aumentar, enquanto o nível impacto negativo devido à ocorrência de ondas de frio poderá diminuir.

Quanto às medidas de gestão na produção vitivinícola aplicadas no passado recente evidenciam uma maior intervenção ao nível da planta (42%), nomeadamente pela utilização de fertilizantes e produtos fitofarmacêuticos, seguida de intervenções ao nível do campo de cultivo (32%), nomeadamente na instalação/manutenção de socalcos, utilização de culturas de cobertura e controlo de pragas com recurso a armadilhagem, e por último intervenções ao nível da paisagem (26%), nomeadamente a proteção e conservação de pontos de água (Quadro 1). Para o futuro, a tendência é decrescente nas medidas de intervenção ao nível da planta, substituídas por intervenções ao nível da paisagem, o que traduz um reconhecimento à partida pela importância do contexto natural.



**Quadro 8.1-** Percepção da aplicação e adequação das medidas de gestão em sistemas vitivinícolas da região do Vale do Côa de acordo com a sua aplicação ao nível da planta, campo de cultivo/terreno e paisagem para o período atual (últimos 10 anos) e futuro (próximos 10 anos) (%).

Sistema	Medida de gestão	Atual	Futuro	Tendência
Planta	Aplicação de fertilizantes orgânicos	100%	88%	▼
	Aplicação de fertilizantes sintéticos	88%	41%	▼
	Aplicação de fungicidas	94%	65%	▼
	Aplicação de pesticidas	88%	65%	▼
	Irrigação de culturas	88%	82%	▼
	Seleção de cultivares mais resistentes/adaptadas	76%	94%	▲
Campo de cultivo/Terreno	Uso de armadilhas para pragas	82%	88%	▲
	Uso de culturas de cobertura	88%	88%	■
	Uso de sebes	71%	76%	▲
	Instalação/manutenção de socalcos	94%	82%	▼
	Intensificação da lavoura	29%	12%	▼
	Lavoura reduzida	47%	53%	▲
	Rotação de culturas	0%	12%	▲
Paisagem	Controlo de espécies invasoras	53%	59%	▲
	Diversificação de culturas	53%	76%	▲
	Expansão de monocultura	47%	24%	▼
	Promoção de abrigos para predadores de pragas	53%	88%	▲
	Proteção e conservação de pontos de água	71%	82%	▲
	Proteção e conservação de linhas de água	59%	82%	▲

▲

 Crescente

■

 Sem alteração

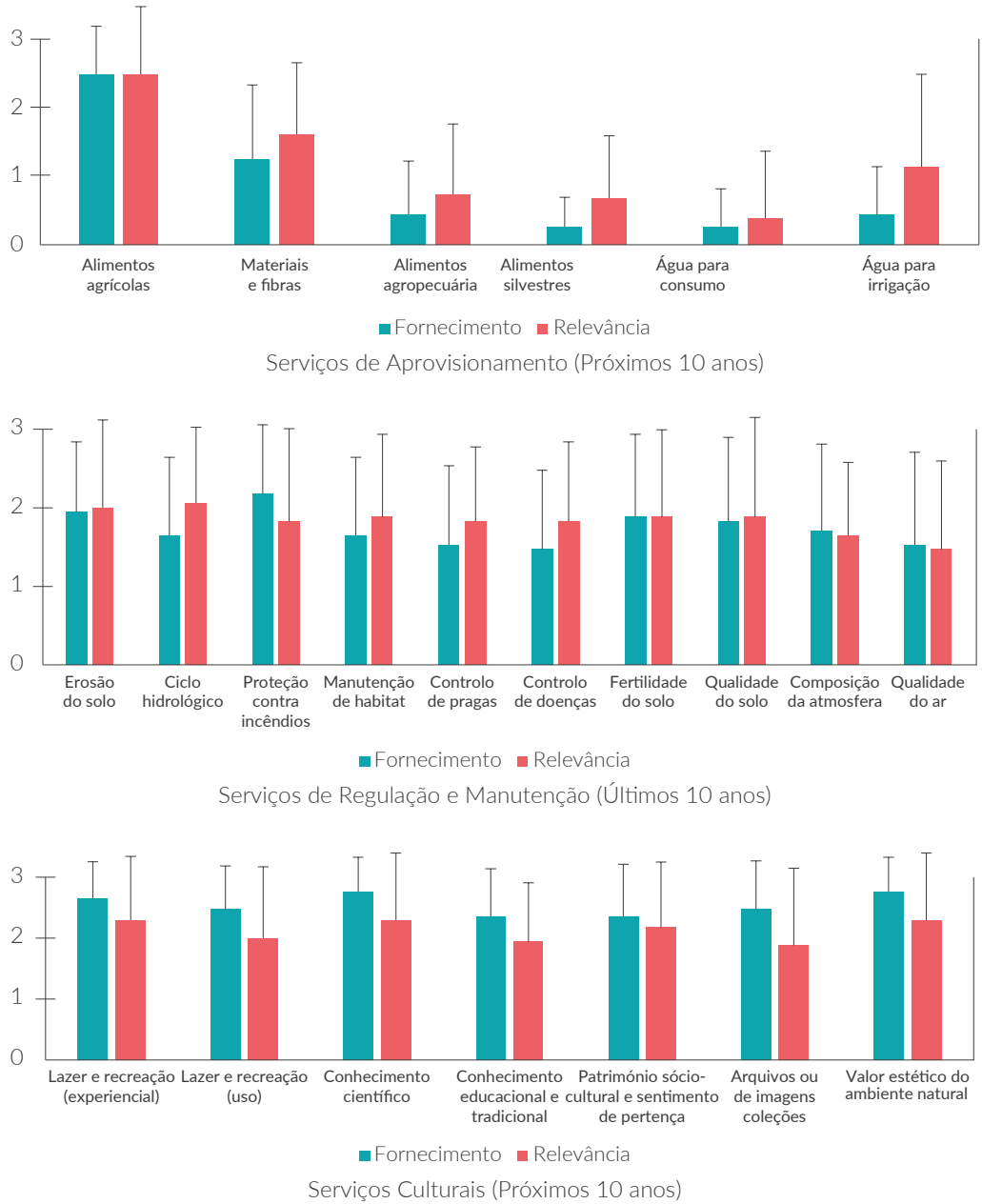
▼

 Decrescente

.3 | CAPACIDADE DE OFERTA DO ECOSISTEMA EM ÁREAS VINHATEIRAS E RELEVÂNCIA PARA O SECTOR VITIVINÍCOLA

No contexto apresentado, os ecossistemas das áreas vinhateiras disponibilizam serviços de aprovisionamento, de regulação e manutenção, e serviços culturais. De forma sucinta descrevem-se os principais resultados associados a cada um na Figura 1.

**Figura 8.1-** Percepção do nível de capacidade de fornecimento (média) e relevância do fornecimento (média) de serviços de ecossistemas pelas áreas vitivinícolas do Vale do Côa para os próximos 10 anos.





- Serviços de aprovisionamento:

Relativamente à perceção da capacidade de fornecimento de serviços de aprovisionamento, a produção de alimentos agrícolas é considerada o serviço com maior nível de fornecimento pelas paisagens vinhateiras da região do Vale do Côa em ambos os períodos analisados, aproximando-se do nível máximo de fornecimento (nível 3 – fornecimento elevado), enquanto os restantes serviços de ecossistema são percecionados como fornecidos em níveis reduzidos. Contudo, há a perceção de poder ocorrer um eventual decréscimo na produção de alimentos agrícolas no futuro próximo, enquanto o fornecimento dos restantes serviços de aprovisionamento poderá vir a aumentar ligeiramente, principalmente a produção de materiais e fibras.

- Serviços de regulação e manutenção:

O serviço de proteção contra incêndios apresenta o maior nível de fornecimento (nível 2 – fornecimento moderado) pelas paisagens vinhateiras da região do Vale do Côa em ambos os períodos analisados. Para os próximos 10 anos sugere-se uma tendência de aumento da capacidade de fornecimento de todos os serviços de manutenção e regulação, principalmente os serviços relacionados com a regulação do ciclo hidrológico e manutenção da qualidade e fertilidade do solo.

- Serviços culturais

Quanto à capacidade de fornecimento de serviços culturais pela paisagem vinhateira da região do Vale do Côa, de uma forma geral, os atores consideram que nos últimos 10 anos a capacidade de fornecimento de serviços culturais foi moderada (i.e., nível 2), principalmente os serviços relacionados com a apreciação do valor estético do ambiente natural, o desenvolvimento atividades de carácter científico e atividades de lazer e recreio na vertente experiencial, bem como a valorização do património sociocultural da região. Ainda assim, a perceção dos atores indica uma tendência de aumento da capacidade fornecimento futura de todos os serviços culturais para um nível mais próximo do máximo de fornecimento (nível 3 – fornecimento elevado).

Os impactos das alterações climáticas no sector vitivinícola da região do Vale do Côa são percecionados como moderadamente negativos, sendo que a ocorrência de ondas de calor, seca e desertificação são os fenómenos mais preocupantes, podendo traduzir-se numa potencial quebra de produção vitivinícola. Desta forma, a utilização de plantas mais adaptadas/resistentes é considerada como uma alternativa viável enquanto medida adaptativa desta cultura às condições climáticas futuras na região. Por outro lado, a relevância atribuída à produção de água para irrigação das culturas é crescente, uma vez que a sua produção é relativamente insuficiente face às necessidades, especialmente considerando o maior impacto de ondas de calor e seca prolongada no futuro. Juntamente com o aumento dos níveis de aridez, o abandono do território nesta região poderá contribuir para a ocorrência de grandes incêndios na região, colocando em risco pessoas e meios de subsistência. Assim, na perspetiva dos atores do setor, o investimento em medidas de gestão da paisagem vinhateira, por exemplo a preservação das linhas e pontos de água, são consideradas importantes para uma melhor adaptação e resiliência das culturas, bem como o aumento da proteção destes ecossistemas face a eventuais riscos naturais causados pela alteração das condições climáticas futuras.

A importância crescente atribuída pelos *stakeholders* aos serviços dos ecossistemas, sugere uma potencial disponibilidade para implementar medidas de gestão direcionadas a aumentar a provisão destes serviços. Por exemplo, a implementação de práticas de conservação de habitats e estruturas será importante para manter níveis de biodiversidade elevados nestes ecossistemas e simultaneamente favorecer o controlo de pragas; a preferência por uma mobilização do solo de intensidade reduzida cuja associação à utilização de sebes e culturas de cobertura permita minimizar a erosão e aumentar a fertilidade e a conservação da água no solo. Neste sentido, os resultados sugerem que a adaptação aos impactos das alterações climáticas pode passar pelo investimento em soluções adaptativas baseadas na natureza, as quais poderão reduzir a aplicação de fitofármacos e fertilizantes sintéticos e manter a qualidade e sustentabilidade ambiental e económica da produção vitivinícola na região.

Embora a produção vitivinícola seja de elevada relevância para a economia da região, o potencial interesse noutros benefícios que resultam desta atividade também são considerados importantes pelos stakeholders. Assim, o aproveitamento de subprodutos, por exemplo, a produção de madeiras/fibras, mas sobretudo o reconhecido do valor cultural das paisagens vinhateiras do Vale do Côa, como é sugerido pelas perceções relativas ao fornecimento e



relevância de serviços culturais, evidencia a dimensão multifuncional destas paisagens. Neste sentido, estimular o sector a manter a multifuncionalidade destas paisagens é fundamental, seja para a conservação destes ecossistemas e para desenvolvimento socioeconómico da região, permitindo compensar eventuais perdas económicas associadas a quebras de produção causadas pelo impacto das alterações futuras do clima.



REFERÊNCIAS | .5

Candiago, S., Winkler, K. J., Giombini, V., Giupponi, C., & Egarter Vigl, L. (2022). An ecosystem service approach to the study of vineyard landscapes in the context of climate change: a review. Sustainability Science. doi:10.1007/s11625-022-01223-x

Christie, M., Fazey, I., Cooper, R., Hyde, T., & Kenter, J. O. (2012). An evaluation of monetary and non-monetary techniques for assessing the importance of biodiversity and ecosystem services to people in countries with developing economies. Ecological Economics, 83, 67-78. doi:https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.012

Fraga, H., Santos, J. A., Malheiro, A. C., Oliveira, A. A., Moutinho-Pereira, J., & Jones, G. V. (2016). Climatic suitability of Portuguese grapevine varieties and climate change adaptation. International Journal of Climatology, 36(1), 1-12. doi:https://doi.org/10.1002/joc.4325

Garcia, L., Celette, F., Gary, C., Ripoche, A., Valdés-Gómez, H., & Metay, A. (2018). Management of service crops for the provision of ecosystem services in vineyards: A review. Agriculture, Ecosystems & Environment, 251, 158-170. doi:https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.030

Vaz, A. S., Graça, M., Carvalho-Santos, C., Pinto, E., Vicente, J. R., Honrado, J. P., & Santos, J. A. (2021). Perceptions of Public Officers Towards the Effects of Climate Change on Ecosystem Services: A Case-Study From Northern Portugal. Frontiers in Ecology and Evolution, 9. doi:10.3389/fevo.2021.710293

Winkler, K. J., Viers, J. H., & Nicholas, K. A. (2017). Assessing Ecosystem Services and Multifunctionality for Vineyard Systems. Frontiers in Environmental Science, 5. doi:10.3389/fenvs.2017.00015

Zawude Bakure, B., Hundera, K., & Abara, M. (2022). Review on the effect of climate change on ecosystem services. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1016(1), 012055. doi:10.1088/1755-1315/1016/1/012055



## 09 | CONSIDERAÇÕES FINAIS





.1 | ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NO CÔA E MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO

De acordo com os capítulos anteriores (resultados do projeto CoaClimateRisk), prevê-se que as alterações climáticas tenham implicações nas culturas agrícolas e desafiem setor agrário na região do Côa. Embora as culturas agrícolas tenham várias estratégias de sobrevivência (por exemplo, sistema radicular profundo, controle estomático eficiente), não será o suficiente para que estas não sejam afetadas pelo agravamento das condições climáticas. As inúmeras evidências de mudanças climáticas nas próximas décadas e os efeitos negativos sobre as culturas, exigem a implementação de medidas de adaptação. Assim, cada uma das principais culturas da região do Côa irá responder às alterações climáticas de acordo com as suas especificidades. Na Quadro 9.1, de uma forma resumida, são apresentados os resultados do projeto, de acordo com a espécie:

Quadro 9.1 – Compilação dos resultados obtidos no decorrer do projeto. As Cores ● e ● correspondem a impactos negativos e positivos, respetivamente.

Impacto	Impactos previstos na região do Côa
Todas as culturas	Aumento da temperatura média anual (Martins et al., 2021);
	Diminuição da precipitação total anual (Martins et al., 2021);
	Aumento da precipitação no inverno (Stolarski et al., 2023);
	Diminuição da acumulação de frio necessária para o ciclo das fruteiras (Fraga and Santos, 2021);
	Impacto das ondas de calor no rendimento (Fraga et al., 2020);
	Aumento dos episódios de secas extrema (Fonseca et al., 2023);
	Aumento dos episódios de precipitação extrema (Fonseca et al., 2023);
	Aumento dos episódios de calor extremo (Fonseca et al., 2023);
Vinha	Diminuição da disponibilidade de recursos hídricos do rio Côa (Rodrigues et al., 2023).
	Diminuição do potencial produtivo, mais severo nas região do Douro Superior (Fraga et al., 2022);
	Antecipação dos estados fenológicos (Leolini et al., 2020; Reis et al., 2020; Yang et al., 2023);
	Maior irregularidade na maturação da uva (Clemente et al., 2022);
	Algumas castas com maior potencial adaptativo, maior resistência ao stresse hídrico e térmico, poderão ser mais usadas (Adão et al., 2023).

Olival	Diminuição do potencial produtivo nas áreas atuais de olival (Fraga et al., 2022);
	Potencial aumento da área para produção onde atualmente não existem olivais (Fraga et al., 2022);
	Pode beneficiar de temperaturas mínimas mais elevadas (Fraga et al., 2022).
Amendoal	Maior irregularidade na produção (Freitas et al., 2023b);
	Diminuição das condições ótimas para o desenvolvimento em termos de forçamento térmico (Freitas et al., 2023a).
Castanheiro	Diminuição das condições climáticas ótimas para a cultura do castanheiro (Freitas et al., 2022);
Pastagens	Redução geral do vigor das pastagens no Côa (Stolarski et al., 2023);
	Manutenção dos níveis de vigor nas estações mais secas devido ao aumento de precipitação projetado para o inverno (Stolarski et al., 2023).

Os impactos das alterações climáticas serão de modo geral negativos para as principais culturas. No entanto, prevê-se que a cultura da oliveira poderá estar mais adaptada ao clima futuro, uma vez que estão previstos aumentos da área ótima para cultivo. Em termos gerais, a redução na adequação de algumas zonas para o cultivo de determinadas culturas, vem ao encontro de outros estudos para outras regiões (Hall and Jones, 2009). Tendo por base este estudo, medidas apropriadas necessitam ser planeadas atempadamente e adotadas pelo setor agrário para enfrentar os impactos das mudanças climáticas (Metzger et al., 2008). Por todo o mundo, os agricultores estão a tornar-se cada vez mais conscientes deste problema (Battaglini et al., 2009), até porque o planeamento estratégico poderá proporcionar uma vantagem competitiva no futuro. No entanto, para lidar efetivamente com as mudanças projetadas, estratégias de curto e longo prazo merecem muito mais atenção em investigação futura (Metzger and Rounsevell, 2011). Estas estratégias podem ser altamente benéficas no setor agrícola (Tubiello and Fischer, 2007), pois podem reduzir amplamente os impactos das mudanças climáticas e da variabilidade climática na produtividade das culturas (Reidsma et al., 2010).

As medidas de adaptação de curto prazo podem ser consideradas como a primeira estratégia de proteção contra as alterações climáticas, pois podem ser implementadas relativamente rápido. Estas medidas implicam maioritariamente práticas de gestão como por exemplo a rega. No entanto esta é uma medida que além de controversa, pelo facto da água ser um bem escasso, também não pode ser aplicada a todas as regiões secas. A disponibilidade de água para rega é um factor a ter em conta, bem como os custos da implementação destes sistemas. Outra medida a considerar é aumentar a eficiência da rega (Flexas et al., 2010), reduzindo assim a quantidade de água utilizada (Chaves et al., 2010). Estratégias de rega, como

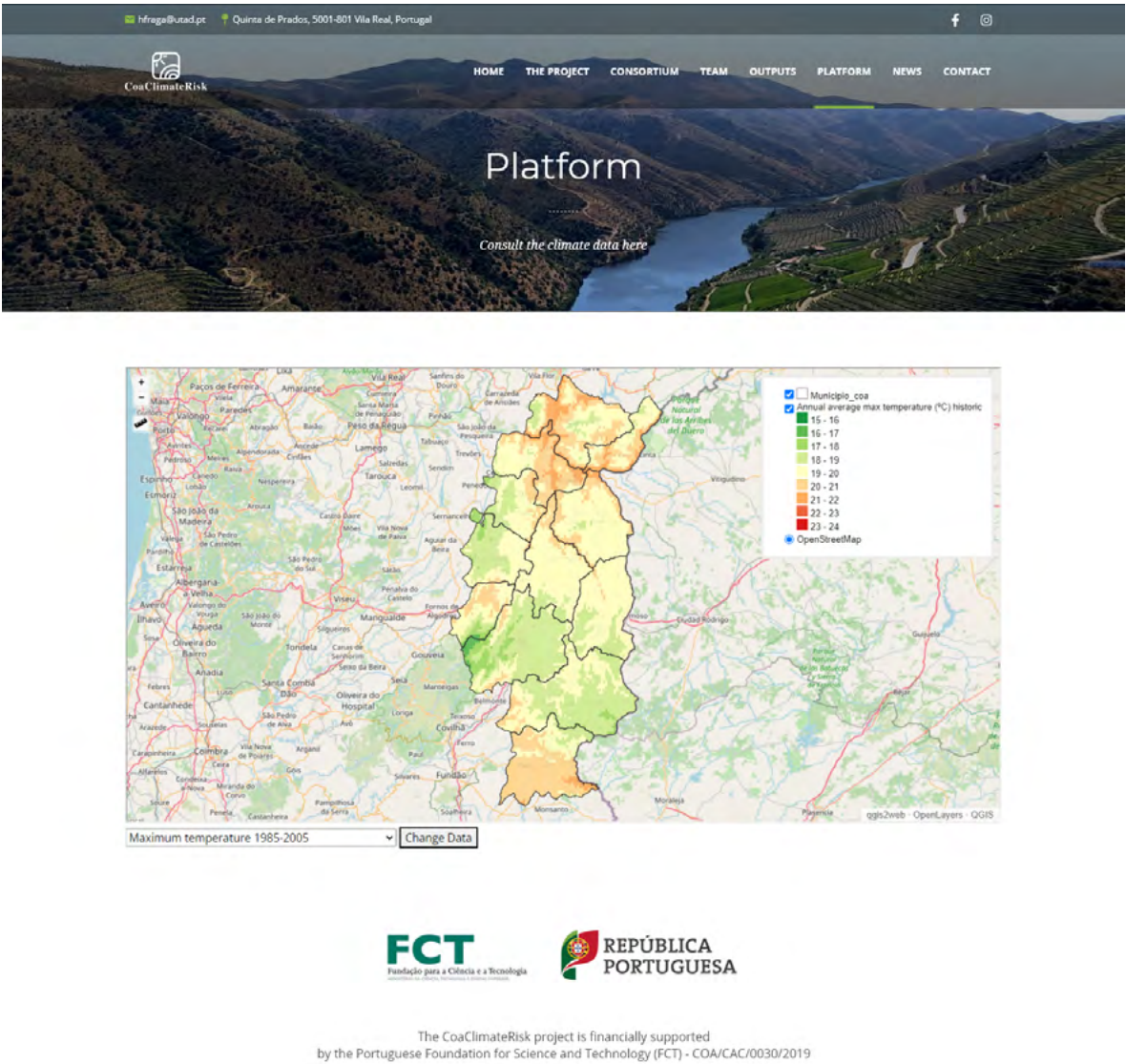


a rega deficitária, rega parcial, podem ser usadas para melhorar a eficiência do uso da água. A sustentabilidade destas técnicas de rega, geralmente são alcançadas avaliando o potencial hídrico do solo e parâmetros fisiológicos da planta, como transpiração usando técnicas de fluxo de seiva, variações de crescimento do tronco, trocas gasosas, e fluorescência da clorofila. como indicadores do estado da água (Centeno et al., 2010; Cifre et al., 2005; Pellegrino et al., 2004; Sousa et al., 2006). Estas técnicas para avaliar o potencial hídrico do solo e planta podem hoje ser conjugadas com sensores automáticos instalados no campo, estações meteorológicas automáticas ou mesmo instrumentos de deteção remota, como os veículos aéreos não tripulados ou os satélites (Stolarski et al., 2022). Pode então afirmar-se que uma gestão hídrica sustentável é uma estratégia económica rentável para o viticultor (Garcia et al., 2012), fornecendo uma solução de compromisso entre os custos ambientais e os requisitos de água da planta (Bruinsma, 2009), que é altamente pertinente em climas cada vez mais secos da região do Côa.

As medidas de adaptação a longo prazo incluem principalmente mudanças de variedades ou mesmo realocação das culturas, já que algumas zonas podem-se tornar excessivamente quentes e secas. As mudanças para locais mais frescos, para altitudes mais elevadas pode ser uma possibilidade. O clima ideal para uma determinada variedade produz rendimentos consistentes, composição de frutas equilibrada e variação de colheita aceitável (Jones, 2006). Um factor chave na adaptação às mudanças climáticas pode incluir o cultivo de variedades com diferentes requisitos térmicos e maior resistência ao calor estival. Programas de melhoramento genético estão a ser desenvolvidos para várias espécies para que se tornem mais resistentes ao calor e à seca (White et al., 2006).

Além destas medidas de adaptação, não podemos deixar de mencionar os sistemas de apoio à decisão (SAD), como uma ferramenta fundamental no auxílio ao combate dos efeitos negativos das alterações climáticas. Dentro do projeto foi criada uma SAD em forma de uma plataforma interativa online (<http://coaclimaterisk.utad.pt>) (Fig. 9.1), onde os agentes do sector podem obter toda a informação sobre o impacto das alterações climáticas nas principais culturas agrícolas da região do Côa, bem como todas as publicações científicas geradas no decorrer do projeto. Durante o projeto também foram geradas outras ferramentas SAD, como a ferramenta de previsão de níveis de açúcar na uva através de dados meteorológicos (Clemente et al., 2022), modelos de diferenciação de variedades de amendoeira (Guimarães et al., 2023), e também um estudo que compara os benefícios de combinar dados de drones e satélite de uma vinha (Stolarski et al., 2022). No geral estes estudos podem ser mais valias para monitorizar as culturas e tomar decisões em tempo real.

Figura 9.1– Plataforma interativa online (<http://coaclimaterisk.utad.pt>).



Como principal conclusão do projeto podemos afirmar que as alterações climáticas, embora possam representar uma ameaça importante, também podem servir como uma oportunidade para desenvolver medidas de adaptação e políticas de gestão de riscos adequadas e rentáveis



(Aryal et al., 2020; Di Gregorio et al., 2019; Rickards and Howden, 2012; Taylor, 2018). A sua implementação pode mitigar significativamente os impactos das alterações climáticas nestas culturas e na economia regional/nacional em geral. A agricultura na região do Côa tem uma grande importância em termos socioeconómicos e culturais, e como tal deve ser preservada no futuro. Nesse sentido o projeto CoaClimateRisk poderá ajudar a aumentar a consciencialização para esta problemática emergente e ajudar na tomada de decisões por parte dos agentes do sector. Concluimos convictos que a aposta na ciência é fundamental para compreender o efeito do clima futuro e em todo o território objeto de estudo no projeto em apreço.



REFERÊNCIAS | .2

Adão, F., Campos, J.C., Santos, J.A., Malheiro, A.C. and Fraga, H., 2023. Relocation of bioclimatic suitability of Portuguese grapevine varieties under climate change scenarios. *Front. Plant Sci.*, 14.

Aryal, J.P. et al., 2020. Climate change and agriculture in South Asia: adaptation options in smallholder production systems. *ENVIRONMENT DEVELOPMENT AND SUSTAINABILITY*, 22(6): 5045-5075.

Battaglini, A., Barbeau, G., Bindi, M. and Badeck, F.W., 2009. European winegrowers' perceptions of climate change impact and options for adaptation. *Reg Environ Change*, 9(2): 61-73.

Bruinsma, J., 2009. The Resource Outlook to 2050: By how much do land, water and crop yields need to increase by 2050? Food and Agriculture Organization, Rome.

Centeno, A., Baeza, P. and Lissarrague, J.R., 2010. Relationship between Soil and Plant Water Status in Wine Grapes under Various Water Deficit Regimes. *Horttechnology*, 20(3): 585-593.

Chaves, M.M. et al., 2010. Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Ann Bot*, 105(5): 661-76.

Cifre, J., Bota, J., Escalona, J.M., Medrano, H. and Flexas, J., 2005. Physiological tools for irrigation scheduling in grapevine (*Vitis vinifera* L.) An open gate to improve water-use efficiency? *Agric Ecosyst Environ*, 106(2-3): 159-170.

Clemente, N. et al., 2022. Grapevine Sugar Concentration Model (GSCM): A Decision Support Tool for the Douro Superior Winemaking Region. *Agronomy*, 12(6): 1404.

Di Gregorio, M. et al., 2019. Multi-level governance and power in climate change policy networks. *Global Environ Chang*, 54: 64-77.

Flexas, J. et al., 2010. Improving water use efficiency in grapevines: potential physiological targets for biotechnological improvement. *Aust J Grape Wine R*, 16: 106-121.

Fonseca, A., Fraga, H. and Santos, J.A., 2023. Exposure of Portuguese viticulture to weather extremes under climate change. *Climate Services*, 30: 100357.

Fraga, H., Guimarães, N., Freitas, T.R., Malheiro, A.C. and Santos, J.A., 2022. Future Scenarios for Olive Tree and Grapevine Potential Yields in the World Heritage Côrc;a Region, Portugal. *Agronomy*, 12(2): 350.

Fraga, H., Molitor, D., Leolini, L. and Santos, J.A., 2020. What Is the Impact of Heatwaves on European Viticulture? A Modelling Assessment. *Applied Sciences*, 10(9): 3030.

Fraga, H. and Santos, J.A., 2021. Assessment of Climate Change Impacts on Chilling and Forcing for the Main Fresh Fruit Regions in Portugal. *Front. Plant Sci.*, 12.

Freitas, T., Santos, A., Silva, A., Fonseca, A. and Fraga, H., 2023a. Evaluation of historical and future thermal conditions for almond trees, in north-eastern Portugal. *Clim Change*, Submitted.

Freitas, T., Santos, J., Silva, A. and Fraga, H., 2023b. Modelo Regional da previsão da produção da amêndoa na Região de Trás-os-Montes. *Revista das Ciências Agrárias*, In Print.

Freitas, T.R., Santos, J.A., Silva, A.P., Martins, J. and Fraga, H., 2022. Climate Change Projections for Bioclimatic Distribution of *Castanea sativa* in Portugal. *Agronomy*, 12(5): 1137.

Garcia, J.G., Martinez-Cutillas, A. and Romero, P., 2012. Financial analysis of wine grape production using regulated deficit irrigation and partial-root zone drying strategies. *Irrig Sci*, 30(3): 179-188.

Guimarães, N., Pádua, L., Sousa, J., Bento, A. and Couto, P., 2023. Almond Cultivar Identification Using Machine Learning Classifiers Applied to UAV-Based Multispectral Data. *Int J Remote Sens*, in Print.

Hall, A. and Jones, G.V., 2009. Effect of potential atmospheric warming on temperature-based indices describing Australian winegrape growing conditions. *Aust J Grape Wine R*, 15(2): 97-119.

Jones, G.V., 2006. Climate and Terroir: Impacts of Climate Variability and Change on Wine In *Fine Wine and Terroir - The Geoscience Perspective*. Macqueen, R.W., and Meinert, L.D., (eds.). Geoscience Canada, Geological Association of Canada, Newfoundland, Canada.

Leolini, L. et al., 2020. Phenological Model Intercomparison for Estimating Grapevine Budbreak Date (*Vitis vinifera* L.) in Europe. *Applied Sciences*, 10(11): 3800.

Martins, J., Fraga, H., Fonseca, A. and Santos, J.A., 2021. Climate Projections for Precipitation and Temperature Indicators in the Douro Wine Region: The Importance of Bias Correction. *Agronomy*, 11(5).



- Metzger, M.J. and Rounsevell, M.D.A., 2011. A need for planned adaptation to climate change in the wine industry PERSPECTIVE. *Environ Res Lett*, 6(3).
- Metzger, M.J., Schroter, D., Leemans, R. and Cramer, W., 2008. A spatially explicit and quantitative vulnerability assessment of ecosystem service change in Europe. *Reg Environ Change*, 8(3): 91-107.
- Pellegrino, A., Lebon, E., Voltz, M. and Wery, J., 2004. Relationships between plant and soil water status in vine (*Vitis vinifera* L.). *Pl. Soil*, 266(1-2): 129-142.
- Reidsma, P., Ewert, F., Lansink, A.O. and Leemans, R., 2010. Adaptation to climate change and climate variability in European agriculture: The importance of farm level responses. *Eur J Agron*, 32(1): 91-102.
- Reis, S. et al., 2020. Grapevine Phenology in Four Portuguese Wine Regions: Modeling and Predictions. *Applied Sciences*, 10(11): 3708.
- Rickards, L. and Howden, S.M., 2012. Transformational adaptation: agriculture and climate change. *Crop Pasture Sci*, 63(3): 240-250.
- Rodrigues, D., Fonseca, A., Stolarski, O., Santos, J. and Fraga, H., 2023. Climate change impacts on agricultural water use: the study case of the Côa river basin *J. Hydrol.*, Submitted.
- Sousa, T.A., Oliveira, M.T. and Pereira, J.M., 2006. Physiological indicators of plant water status of irrigated and non-irrigated grapevines grown in a low rainfall area of Portugal. *Pl. Soil*, 282(1-2): 127-134.
- Stolarski, O., Fraga, H., Sousa, J.J. and Pádua, L., 2022. Synergistic Use of Sentinel-2 and UAV Multispectral Data to Improve and Optimize Viticulture Management. *Drones*, 6(11): 366.
- Stolarski, O. et al., 2023. Climate change impacts on grassland vigour in northern Portugal: A machine learning approach to assess drought influence on remote sensing data. *GIScience & Remote Sensing* - Submitted.
- Taylor, M., 2018. Climate-smart agriculture: what is it good for? *JOURNAL OF PEASANT STUDIES*, 45(1): 89-107.
- Tubiello, F.N. and Fischer, G.I., 2007. Reducing climate change impacts on agriculture: Global and regional effects of mitigation, 2000-2080. *Technol. Forecast. Soc. Change*, 74(7): 1030-1056.
- White, M.A., Diffenbaugh, N.S., Jones, G.V., Pal, J.S. and Giorgi, F., 2006. Extreme heat reduces and shifts United States premium wine production in the 21st century. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 103(30): 11217-22.
- Yang, C. et al., 2023. Performance of seasonal forecasts for the flowering and veraison of two major Portuguese grapevine varieties. *Agric For Meteorol*, 331: 109342.



INSTITUIÇÕES PARCEIRAS

**utad** UNIVERSIDADE  
DE TRÁS-OS-MONTES  
E ALTO DOURO

 **CITAB**

**Fundação CoaParque**



  
**SOGRAPE**

 **ADVID**  
Cluster da Vinha e do Vinho  
Vine and Wine Cluster



**Universidade do Minho**

FINANCIAMENTO

**FCT** Fundação  
para a Ciência  
e a Tecnologia



**GOVERNO DE  
PORTUGAL**