



SCIENCE4POLICY

CONCURSO DE ESTUDOS DE CIÊNCIA PARA AS POLÍTICAS PÚBLICAS



Relatório Técnico Final

Impactos da desertificação e seca na Bacia transfronteiriça do Rio Xévoras. Definição de metodologias e de instrumentos de recolha de dados para apoio à tomada de decisão

Emanuel Dutra^{1*}, Patricia Pereira¹, Rui Rodrigues², Graça Pereira³ & Rita Costa³

¹ Instituto Português do Mar e da Atmosfera

² Laboratório Nacional de Engenharia Civil

³ Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária

* emanuel.dutra@ipma.pt

Janeiro 2026.



Este relatório foi desenvolvido no âmbito do projeto 2024.02853.S4P24 do Science4Policy 2024 (S4P-24): Concurso de Estudos de Ciência para as Políticas Públicas, uma iniciativa do Centro de Planeamento e de Avaliação de Políticas Públicas (PLANAPP), em parceria com a Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), financiada pelo Plano de Recuperação e Resiliência de Portugal.

COMO CITAR ESTE DOCUMENTO

Dutra, E., Pereira, P., Rodrigues R., Pereira, G. & Costa R. (2026). Relatório Técnico Final: Impactos da desertificação e seca na Bacia transfronteiriça do Rio Xévoira. Definição de metodologias e de instrumentos de recolha de dados para apoio à tomada de decisão.

Índice

Índice.....	3
Sumario executivo.....	4
1 Introdução.....	5
2 Enquadramento e caracterização da bacia do Xévor.....	7
2.1 Enquadramento.....	7
2.2 Dados meteorológicos e de satélite.....	8
2.2.1 Descrição dos dados utilizados.....	8
2.2.2 Bacia do Xévor e cobertura do solo.....	11
2.2.3 Normais climáticas e tendências baseadas nas estações meteorológicas.....	14
2.2.4 Caracterização temporal recorrendo a dados de satélite e reanálise.....	21
2.3 Dados agrícolas e de ocupação do solo.....	25
2.4 Dados hidrológicos.....	26
3 Rede hidrometeorológica e plataforma e visualização.....	30
3.1 Proposta de rede de monitorização hidrometeorológica.....	30
3.2 Plataforma de visualização.....	31
4 Projeções a longo prazo.....	33
5 Conclusões.....	38
6 Bibliografia.....	41

Sumario executivo

A desertificação e a seca estão a intensificar-se e a tornar-se mais frequentes, com impactos profundos nos sistemas agrícolas, ecológicos e socioeconómicos. O projeto IDD-XB surge neste contexto, procurando integrar informação climática, agrícola e hidrológica proveniente de múltiplas fontes — observações in situ, satélite e reanálises — para melhorar a monitorização e previsão destes fenómenos e reforçar a resiliência das comunidades rurais.

Sendo um projeto de “Estudos de Ciência para as Políticas Públicas”, enquadrado na linha temática de financiamento “Estratégias de combate à desertificação, degradação dos solos e seca (escala ibérica)” do PLANAPP/S4P, procedeu-se à seleção de uma bacia hidrográfica para teste das metodologias que fosse partilhada entre Portugal e Espanha e estivesse situada numa região propensa a secas e à desertificação.

O relatório enquadra a região de estudo, caracteriza os seus sistemas agrícola e hidrológico e apresenta desenvolvimentos metodológicos e operacionais relevantes para a gestão do risco climático.

Os resultados mostram um sinal claro de aquecimento na região, com tendências positivas de temperatura nas últimas décadas, e uma redução generalizada da precipitação anual, embora com aumento no outono em algumas estações. A integração de dados de satélite, reanálises e observações locais revelou-se essencial para caracterizar a variabilidade hidrometeorológica, evidenciando relações consistentes entre água no solo, vegetação, evaporação e índices de seca. Esta abordagem integrada permitiu identificar de forma robusta episódios de seca entre 2004 e 2025 e demonstrou o elevado potencial destes produtos para sistemas de monitorização e alerta precoce.

Do ponto de vista agrícola, a região apresenta uma matriz produtiva diversificada, com predominância de culturas temporárias, olival e pastagens. A entrada em funcionamento da rede de rega do Aproveitamento Hidroagrícola do Xévorá representa um marco estratégico, permitindo intensificar e diversificar culturas, aumentar a produtividade e promover práticas mais sustentáveis. Paralelamente, foi identificada a necessidade de reforçar a rede hidrometeorológica local, nomeadamente através da reativação e instalação de novas estações e da monitorização da água no solo, garantindo dados de maior qualidade para calibração e validação de produtos climáticos. Complementarmente, uma plataforma de visualização do IPMA, foi estendida no âmbito deste projeto com novas funcionalidades e parâmetros, sendo uma ferramenta essencial para o acompanhamento em tempo real das condições hidrometeorológicas, reforçando o potencial de integração futura de novos produtos de satélite e consolidando a infraestrutura necessária para sistemas de alerta precoce e gestão operacional.

Por fim, o relatório demonstra que a precipitação acumulada no ano hidrológico é um indicador particularmente útil para antecipar secas e apoiar a gestão da água. A metodologia de previsão por ensemble climatológico mostrou elevada capacidade preditiva a partir de dezembro — e especialmente entre janeiro e fevereiro — permitindo estimar com confiança a probabilidade de anos secos ou húmidos. Esta ferramenta quantitativa reforça o potencial de apoio à decisão em setores como a agricultura, gestão de albufeiras e planeamento de recursos hídricos.

1 Introdução

A desertificação e a seca são fenómenos ambientais cada vez mais recorrentes e preocupantes, com impactos significativos na produção agrícola mundial. Segundo as Nações Unidas, até 2050 a degradação das terras poderá provocar a deslocação de 143 milhões de pessoas, em resultado dos impactos iniciais das alterações climáticas. Definida pela ONU como “a degradação da terra nas regiões áridas, semiáridas e sub-húmidas secas, resultante de vários fatores, entre eles as variações climáticas e as atividades humanas” (CNUCD, 1994), a desertificação exige uma mudança de paradigma na gestão sustentável dos recursos terrestres. Em Portugal, a comparação da distribuição espacial do Índice de Aridez (IA) calculado para o período 2000-2010 com a do mesmo índice mapeado para o período de 1960-1990, revela um aumento superior a 1,7 vezes quanto às áreas qualificadas como semiáridas e sub-húmidas secas (Figueiredo et al., 2015).

A seca, por sua vez, corresponde a períodos prolongados de escassez de precipitação que podem conduzir a stress hídrico nos ecossistemas terrestres. Contudo, está longe de ser apenas um fenómeno hidrometeorológico: constitui uma das bases de crises sociais, políticas e económicas complexas, expondo vulnerabilidades dos sistemas agrícolas e evidenciando a necessidade urgente de desenvolver estratégias de adaptação resilientes e sustentáveis (Van Lanen et al., 2017).

A grande variedade de setores afetados pela seca, a sua diversidade geográfica e distribuição temporal, bem como a procura crescente do fornecimento de água para uso humano torna difícil o desenvolvimento de uma única definição de seca. Torna-se, por isso, necessário um procedimento numérico padronizado que permita comparar medidas de seca entre regiões e períodos distintos. No entanto, a falta de consenso em torno da definição de seca torna inviável a criação de um índice universal. Além disso, as características da seca e a variedade de setores económicos que sentem os seus efeitos dificultam a sua quantificação. Devido à sua complexidade, não existe nenhum índice capaz de captar adequadamente a intensidade e severidade da seca e os seus potenciais efeitos nos vários sectores potencialmente afetados e vulneráveis.

O desenvolvimento de indicadores e índices de avaliação é fundamental para sistematizar, quer os processos de gestão e prevenção de secas (Heim Jr, 2002; Steinemann et al., 2005), quer as medidas de combate à desertificação (Pimenta et al, 1999) relacionadas. Estes instrumentos de apoio à decisão permitem monitorizar condições de seca, determinar o momento adequado de atuação e definir níveis de resposta. São essenciais para a elaboração de planos de gestão (Tsakiris et al., 2007) e facilitam a utilização de modelos de apoio à decisão para simular cenários futuros (Andreu et al., 2007).

Ambos os fenómenos (secas e desertificação) têm impactos severos na produção agrícola, incluindo a redução da produtividade das culturas, a perda de terras aráveis, a degradação dos solos e a escassez de água para irrigação. Estes efeitos podem resultar em insegurança alimentar, aumento da pobreza rural e migração forçada de populações agrícolas.

Diversas metodologias têm sido utilizadas para estudar (Pimenta et al, 1997) e mitigar os riscos agrícolas associados à desertificação e à seca, incluindo técnicas de monitorização remota, modelação climática e de solo, avaliação de vulnerabilidade e resiliência, e abordagens de gestão integrada da terra.

Foram também desenvolvidas várias ferramentas de apoio à decisão para auxiliar agricultores, gestores de recursos naturais e decisores políticos na adoção de medidas informadas. Entre estas incluem-se sistemas de alerta precoce para secas, programas de conservação de água e solo e políticas de gestão de riscos agrícolas.

Apesar dos avanços na compreensão e gestão dos impactos da desertificação e da seca na produção agrícola (Costa et al, 2019; Almeida et al, 2018), persistem lacunas significativas na investigação. Entre elas destacam-se a necessidade de integrar de forma mais completa dados hidrometeorológicos, de solo e de cultivo para melhorar a precisão das previsões e dos modelos de risco; o desenvolvimento de estratégias adaptativas que considerem os efeitos das alterações climáticas; o reforço das capacidades de resposta e recuperação das comunidades agrícolas afetadas; e o envolvimento ativo das comunidades locais e dos diferentes stakeholders na conceção e implementação de medidas de adaptação e mitigação.

O projeto IDD-XB procura colmatar algumas destas lacunas, nomeadamente através do desenvolvimento de um modelo de integração mais abrangente de dados hidrometeorológicos e agrícolas provenientes de diferentes fontes (in situ, satélite e reanálises), com o objetivo de melhorar a capacidade de monitorização e previsão e de reforçar a resiliência das comunidades agrícolas afetadas por estes fenómenos.

A parte técnica deste relatório está organizado em 5 capítulos cobrindo de uma forma transversal as várias tarefas propostas no projeto. Após a introdução no capítulo 1, o capítulo 2 enquadra e caracteriza a região de interesse do ponto de vista meteorológico, agrícola, hidrológico e de ocupação dos solos, seguido pelo capítulo 3 focado nos potenciais desenvolvimento da rede hidrometeorológica e plataforma de visualização. O capítulo 4 apresenta uma nova metodologia e resultados de projeções do ano hidrológico, terminando o relatório com o capítulo 5 com as principais conclusões.

2 Enquadramento e caracterização da bacia do Xévor

2.1 Enquadramento

O rio Xévor (Gévora em Espanha) é um afluente da margem direita do Rio Guadiana que define uma bacia hidrográfica com uma área drenante de 2131,6 km², dos quais 1149,2 km², correspondem à contribuição da sub-bacia do principal afluente da margem esquerda: o rio Zapatón.

Na Figura 1 é possível observar que a linha de fronteira intersesta o Rio Xévor em três pontos, definindo assim a sub-bacia das cabeceiras, a montante (identificada a verde, e compreendendo as nascentes do rio), a sub-bacia de jusante (preenchida a amarelo, e incorporando a confluência do Rio Abrilongo com o Rio Xévor); e, entre as duas, a sub-bacia do Rio Abrilongo definida na barragem (preenchida a azul), com mais de 75 % da área drenante em território português.

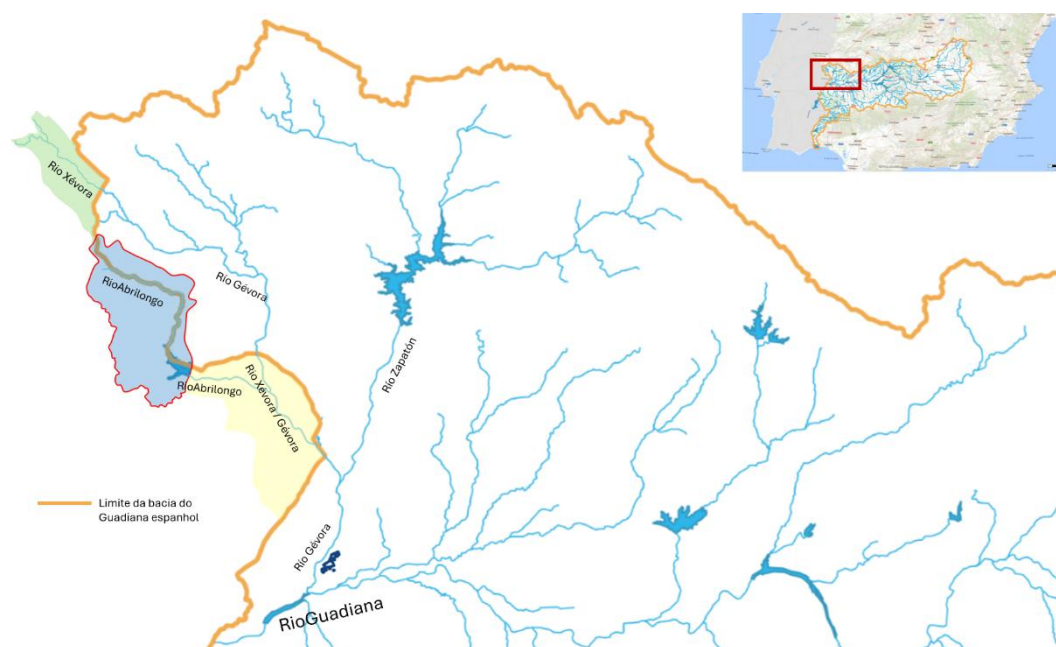


Figura 1 - Limite da bacia do Rio Guadiana espanhol com sobreposição da bacia hidrográfica do Rio Abrilongo (definida na barragem do Abrilongo – a azul) e com os acrescentos da contribuição da parte portuguesa das sub-bacias do Rio Xévor (a verde, as cabeceiras das nascentes; e a amarelo, a confluência do Rio Abrilongo com o Rio Xévor).

A bacia do Rio Xévor é, assim, uma bacia transfronteiriça, já que o rio principal nasce em território português, passa para território espanhol, retorna ao território português e, por fim, transpõe a fronteira uma terceira vez para confluir com o Rio Guadiana em território espanhol.

A sub-bacia do Rio Abrilongo definida na barragem do Abrilongo, com uma área drenante 17 vezes menor do que a área total da bacia do Xévor/Gévora, foi a parcela de território escolhida para referência dos balanços hídricos efetuados no projeto.

A escolha de uma bacia transfronteiriça visa não só dar resposta a um requisito da “linha temática” (a escala ibérica) do programa de estudos, visando uma escala ibérica, como também “alicerçar a avaliação da viabilidade de se desenvolver um Plano de Ação Ibérico de Combate à Desertificação e Seca” fomentado pelo PLANAPP/S4P. De facto, se confrontadas as

estimativas do índice de aridez para ambos os países ibéricos na região em estudo (Figura 2) é possível reconhecer que, para além de alguma iniciativa de harmonização de procedimentos havida nos trabalhos dos países do ANEXO IV-Mediterrâneo Norte da Convenção de Combate à Desertificação (UNCCD) - entre eles Portugal e Espanha - há ainda algum trabalho de homogeneização que é necessário desenvolver.

Por ser uma região sujeita à pressão desertificadora (não só física como social), a agricultura sustentável representa, nesta região, uma medida estratégica significativa de combate à tendência progressiva da desertificação, estando esta componente devidamente coberta nas valências da equipa do projeto.

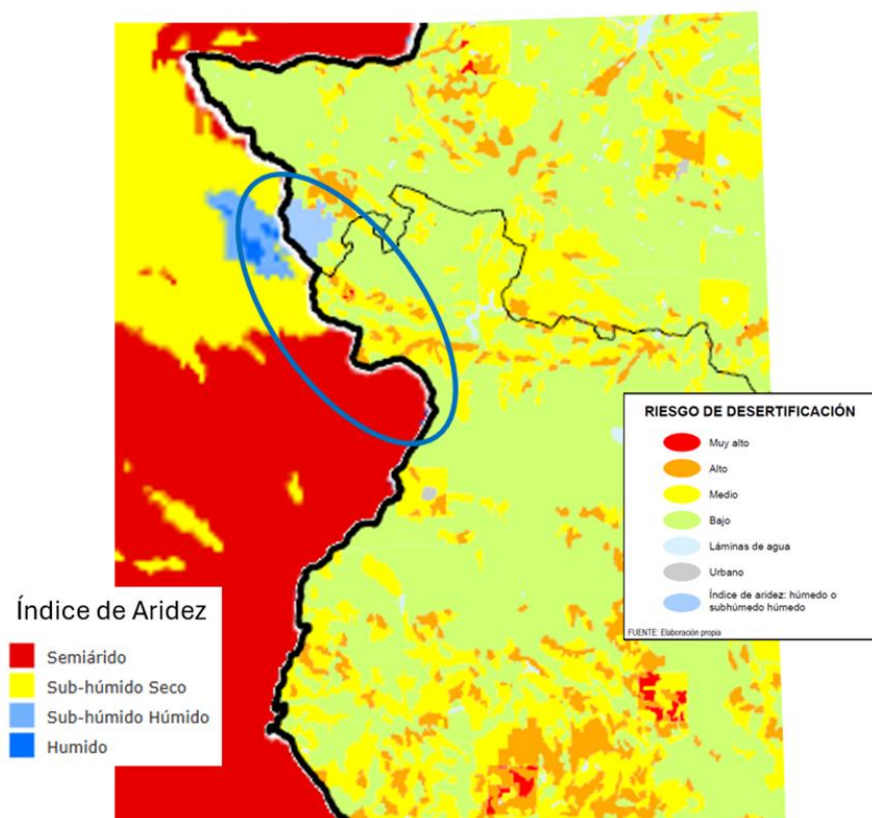


Figura 2 - Sobreposição dos resultados do cálculo do índice de aridez, de Portugal e de Espanha, para a zona de fronteira do Guadiana, onde se destaca, por uma elipse, a área da bacia do Rio Xévara/Gévora antes da confluência com o Rio Zapatón.

2.2 Dados meteorológicos e de satélite

2.2.1 Descrição dos dados utilizados

2.2.1.1 Produtos de satélite e reanálise

A Tabela 1 apresenta um resumo e os acrónimos dos produtos de satélite e reanálise utilizados neste projeto, que são descritos nos próximos parágrafos.

A classificação da cobertura do solo foi avaliada com o produto **C3S_LCC** (ver Tabela 1) . Este produto disponibiliza mapas globais da superfície terrestre classificada em 22 classes de acordo com a classificação da Organização das Nações Unidas para a alimentação e a agricultura (UN FAO). Estes mapas são produzidos a partir de imagens de satélite de alta resolução com uma frequência anual e resolução espacial de 300 metros. Atualmente, os

dados estão disponíveis desde 1992 até 2022 (apesar do serviço pretender ter atualizações anuais, os mapas de 2023 e 2024 ainda não estavam disponíveis até ao final de 2025).

Devido à reduzida amostra de dados de estações meteorológicas na área de estudo, foram utilizados dados com médias mensais de precipitação (**ERA5_TP**) e temperatura do ar aos 2 metros (**ERA5_2T**) da reanálise atmosférica ERA5, produzida pelo Centro Europeu de Previsões Meteorológicas a Médio Prazo (ECMWF). ERA5 é a quinta geração de reanálises produzida pelo ECMWF e foca em aplicações de clima e estado do tempo globais nas últimas oito décadas. Os dados estão disponíveis desde 1940. As reanálises resultam da integração de dados de modelos numéricos com observações provenientes de várias fontes (superfície, rádios sondagens, satélite, entre outras), recorrendo a métodos de assimilação de dados que garantem consistência física e cobertura espacial. Este processo, baseado nos princípios utilizados nos sistemas de previsão numérica do tempo, combina periodicamente (no caso do ECMWF, a cada 12 horas) uma previsão de curto prazo com as observações mais recentes, produzindo uma estimativa estatisticamente ótima do estado atmosférico — a análise — que serve de condição inicial para a previsão subsequente. No contexto das reanálises, o mesmo esquema é aplicado, mas com resolução espacial e temporal ajustada, permitindo gerar um conjunto de dados homogêneo que se estende por várias décadas. Como não existe a exigência operacional de disponibilizar previsões em tempo real, é possível incorporar um volume mais alargado de observações, incluindo versões reprocessadas ou corrigidas de dados históricos, o que contribui significativamente para a melhoria da qualidade e consistência do produto final. Atualmente, a ERA5 é um dos produtos de referência para a monitorização do clima global e continental.

Para a caracterização da água no solo (ou humidade no solo), e não havendo dados de observações, recorreu-se aos produtos **C3S_SSM** e **C3S_RZSM**. Os produtos de água no solo do C3S disponibilizam um conjunto de variáveis globais derivadas de vários sensores de micro-ondas. Estes produtos destinam-se a aplicações relacionadas com variabilidade e alterações climáticas, estudos de interação superfície-atmosfera, ciclos biogeoquímicos globais, ecologia, modelação hidrológica e de superfície terrestre, monitorização de secas e aplicações meteorológicas. Os dados são disponibilizados numa grelha regular latitude-longitude, com uma frequência diária, podendo ocorrer falhas espaciais ou temporais associadas à ausência de passagens de satélite. Foram utilizados dois produtos: (i) Surface Soil Moisture – água no solo superficial (SSM), que integra observações provenientes de diferentes sensores, sendo o produto “COMBINED” utilizado seguindo as recomendações do C3S; (ii) Root-Zone Soil Moisture – água no solo na zona das raízes (RZSM), que é um produto derivado a partir de (i), utilizando um modelo de infiltração para propagar a informação da água no solo superficial para camadas subsuperficiais na zona das raízes (0–10, 10–40, 40–100 e 0–100 cm). O RZSM é geralmente recomendado em aplicações de monitorização de secas, modelação hidrológica e análises agrícolas em larga escala, dada a sua maior relevância fisiológica e hidrológica.

A caracterização da temperatura da superfície, do estado da vegetação e da evapotranspiração foi efetuada recorrendo aos dados produzidos pela LSA SAF (Satellite Application Facility on Land Surface Analysis), que integra o Segmento Terrestre distribuído da EUMETSAT (Organização Europeia para a Exploração de Satélites Meteorológicos). Em operação há mais de duas décadas, a LSA SAF disponibiliza uma vasta gama de produtos e serviços dedicados à caracterização e monitorização da superfície terrestre, sendo coordenada pelo IPMA. Os produtos da LSA SAF focam-se em três áreas temáticas: Radiação, Vegetação e Trocas de Energia-Água-Carbono. Neste trabalho utilizaram-se produtos derivados do satélite Meteosat

Second Generation (MSG) que cobre África, parte da Europa e América do Sul com uma resolução de 3 km no nadir e uma frequência temporal de 15 minutos. Os produtos estão disponíveis desde 2004 com atualizações em tempo real.

O produto de temperatura da superfície terrestre (LST) do LSA SAF derivado do MSG (Meteosat Second Generation) fornece estimativas contínuas e de alta frequência da temperatura radiativa da superfície terrestre. Utiliza observações no infravermelho térmico aplicando um algoritmo “split-window” para estimar campos de LST a cada 15 minutos, com elevada resolução espacial (3 km nadir). Este produto tem inúmeras aplicações, incluindo (i) estudos de balanço de energia à superfície, (ii) monitorização de secas e ondas de calor, (iii) modelação hidrológica e agrícola, bem como na (iv) validação de esquemas de superfície terrestre em sistemas de previsão numérica do tempo. Neste estudo utilizaram-se as médias mensais do ciclo médio diurno, em particular o máximo do ciclo médio diurno mensal (**MSG_LSTX**).

Para a caracterização do estado da vegetação, utilizou-se o produto da LSA SAF do Índice de Área Foliar (**MSG_LAI**). O Índice de Área Foliar é um parâmetro biofísico que quantifica a área total de folhas por unidade de superfície horizontal do solo. Expressa-se como uma razão adimensional (m^2 de folha por m^2 de solo) e representa a densidade e o desenvolvimento do vegetal. Este produto é estimado a partir de dados multiespectrais através de um modelo de transferência radiativa permitindo estimativas diárias do estado da vegetação com inúmeras aplicações desde monitorização agrícola a assimilação em modelos de previsão numérica do tempo.

O produto de evapotranspiração da LSA SAF (**MSG_ET**) também foi incluído devido à relevância deste fluxo de água para a monitorização das condições da superfície terrestre. O produto é derivado através do balanço de energia à superfície baseado em radiação de produtos da LSA SAF bem com outras características da superfície (por exemplo Albedo e Índice de Área Foliar). Este produto está disponível com uma frequência de 30 minutos. Para complementar o balanço de energia à superfície, também foi utilizado o produto de evapotranspiração de referência da LSA SAF (**MSG_METREF**). Este produto estima a procura evaporativa da atmosfera de uma forma independente das condições da superfície, correspondendo à evapotranspiração idealizada de um campo de relva extenso e bem regado de acordo com as condições atmosféricas e de radiação solar incidente. Para completar análise, um diagnóstico de stress evaporativo (**MSG_ES**) foi também avaliado. Este diagnóstico é calculado como a razão entre a evapotranspiração e a evapotranspiração de referência $\text{MSG_ET} / \text{MSG_METREF}$. Este diagnóstico varia entre 1 (sem stress evaporativo) e 0 (máximo de stress evaporativo) sendo uma indicação de como as condições da superfície (por exemplo água no solo, estado da vegetação) condicionam a evapotranspiração, o que é relevante em situações extremas, como secas.

Os dados da precipitação da ERA5 (ERA5_TP), foram utilizados para o cálculo do índice de seca **SPI** (standardized precipitation index). O SPI é calculado transformando a precipitação acumulada num determinado período — normalmente 3, 6, 9 ou 12 meses — numa distribuição normal de média zero e desvio padrão 1, indicando o quão invulgar é o valor observado face à climatologia de longo prazo desse local. O método começa por ajustar o registo histórico de precipitação a uma distribuição estatística (neste estudo foi utilizada a distribuição gama), convertendo depois a precipitação observada no período de interesse numa probabilidade acumulada, que é finalmente transformada numa variável normal padronizada. O resultado é um índice em que valores negativos indicam condições mais secas

do que o normal e valores positivos indicam condições mais húmidas, sendo utilizados limiares específicos para classificar a severidade da seca. O SPI é amplamente utilizado por ser simples, comparável entre diferentes climas e ajustável a vários processos hidrológicos consoante a escala temporal, tornando-o uma ferramenta fundamental para monitorização de secas, sistemas de alerta precoce e avaliação de risco climático (Dutra et al. 2014a). O SPI é o índice de seca padrão recomendado pela organização mundial meteorológica.

Tabela 1 – Resumo dos produtos de satélite e reanálise utilizados.

Produto	Descrição
C3S_LCC	Copernicus Climate Change Service (C3S) Land Cover Classification (LCC) DOI: 10.24381/cds.006f2c9a
C3S_SSM C3S_RZSM	Copernicus Climate Change Service (C3S) Soil moisture gridded data. SSM – Surface Soil Moisture (água no solo à superfície), RZSM – Root zone soil moisture (água no solo na zona das raízes) DOI: 10.24381/cds.d7782f18 Versão v202505
ERA5_TP ERA5_2T SPI3,SPI6,SPI9,SPI12	Copernicus Climate Change Service (C3S) ERA5 reanalysis TP – Total precipitation (precipitação); 2T – 2 meters temperature (temperatura aos 2 metros). DOI: 10.24381/cds.adbb2d47 SPI : Standard Precipitation Index a diferentes escalas temporais 3, 6, 9 ou 12 meses calculado utilizando a precipitação da ERA5
MSG_LSTX MST_LAI MSG_ET MSG_METREF MSG_ES	Meteosat Second Generation (MSG) Land Surface Analysis Satellite Application Facility (LSA SAF) produtos: LSTX: Temperatura superfície máxima diária LAI : Índice de área foliar ET: Evapotranspiração METREF: Evapotranspiração de referência ES: Stress evaporativo https://lsa-saf.eumetsat.int/en/data/products/

2.2.2 Bacia do Xévor e cobertura do solo

Como já foi referido, o rio Xévor é um curso de água transfronteiriço que após atravessar a paisagem agrícola e de montado da Extremadura espanhola, entra em Portugal no concelho de Campo Maior, recebendo a contribuição do rio Abrilongo. No território português, o rio tem uma elevada relevância ecológica e socioeconómica, estruturando vales férteis, zonas ribeirinhas e sistemas agrícolas dependentes da sua disponibilidade hídrica. A sua importância como reserva hídrica também se deve à presença da Barragem do Abrilongo, construída no leito de um dos seus principais afluentes da margem direita em 2000, sendo uma infraestrutura estratégica para o abastecimento de água, regadio e apoio à gestão de períodos de seca. O Xévor, enquanto afluente da margem direita do Guadiana, integra um sistema hidrográfico internacional que articula ecossistemas e recursos hídricos partilhados entre Portugal e Espanha, sendo abrangido por instrumentos de cooperação luso-espanhóis para a gestão sustentável dos recursos hídricos.

O enquadramento espacial da área de estudo é representado na Figura 3 identificando a delimitação da bacia hidrográfica do Abrilongo (a vermelho) e a área limítrofe (a amarelo) que

foi utilizada para o processamento dos dados de satélite e reanálise (descritos na secção 2.2.1.1). Na Figura é também identificada a localização das duas estações meteorológicas automáticas (EMA) do IPMA em Portalegre e Elvas utilizadas neste estudo.

A bacia hidrografia do Abrilongo tem uma área de cerca de 120 km², um perímetro de 50 km e uma topografia variando entre 253m e 522m com uma mediana de 329m. A área limítrofe utilizada para o processamento dos dados de satélite e reanálise tem uma área de cerca de 2400 km², um perímetro de 200km e uma topografia variando entre 167m e 910m com uma mediana de 312m. Esta área é constituída com 4 pontos da malha da reanálise ERA5 que tem uma resolução regular latitude-longitude de 0.25°.

Os dados de classificação da cobertura do solo anuais do produto C3S_LCC foram processados para o período entre 1992 e 2022 a partir da malha global com 300m de resolução espacial para as duas regiões de estudo. As 22 classes identificadas no produto foram agregadas em 3 classes genéricas: (i) terrenos agrícolas, (ii) terrenos naturais e (iii) zonas urbanas e com cobertura de água. Os resultados são apresentados na Tabela 2 para a área limítrofe à bacia do Abrilongo e na Tabela 3 para a área da bacia do Abrilongo. Os resultados apresentam a percentagem da área total e área para cada uma das classes genéricas para a média entre 1992 e 2022, os valores em 1992 e 2022 bem como as diferenças entre 2022 e 1992.

A análise da classificação da cobertura do solo a partir dos dados do C3S_LCC para a região limítrofe à bacia (zona amarelo na Figura 3, ver Tabela 2) indica que cerca de 60% da área tem terrenos agrícolas, 39% de terrenos naturais e 1% de zonas urbanas e com cobertura de água. Em 30 anos (2022 – 1992) as diferenças são residuais, sugerindo uma redução de 0.44% (10.6 km²) de terrenos agrícolas que foram substituídos por áreas urbanas. Focando apenas na bacia do Abrilongo (Tabela 3) a cobertura do solo é semelhante à área limítrofe, com 56% da área classificada como terrenos agrícolas, 41% como terrenos naturais e 1 % zonas urbanas e com cobertura de água. As diferenças no período de 30 anos analisado são também reduzidas, sugerindo uma redução de 0.89% de terrenos agrícolas que foram substituídos por terrenos naturais.

Estes resultados devem ser também interpretados tendo em conta as incertezas do produto C3S_LCC. Estas incertezas resultam da combinação de limitações inerentes à deteção remota ótica, da variabilidade espaço-temporal da superfície terrestre e das escolhas metodológicas adotadas no processo de classificação. Os principais contributos para a incerteza incluem a incerteza espectral entre classes com assinaturas semelhantes, a heterogeneidade sub-pixel (abaixo dos 300m) bem como a influência de fenómenos sazonais, fenológicos ou de perturbação que alteram as reflectâncias da superfície observada pelos satélites utilizados. Além destes fatores, existem também incertezas associadas ao pré-processamento multisensor (correções atmosféricas, calibração, agregação temporal), bem como as definições utilizadas pelos algoritmos de classificação. Dados estes níveis de incerteza, e as alterações residuais identificadas na região, os resultados sugerem que não houve alterações significativas da cobertura do solo na região nos últimos 30 anos. No entanto, esta análise não permite detalhar alterações ao nível do uso do solo e/ou tipos de agricultura.

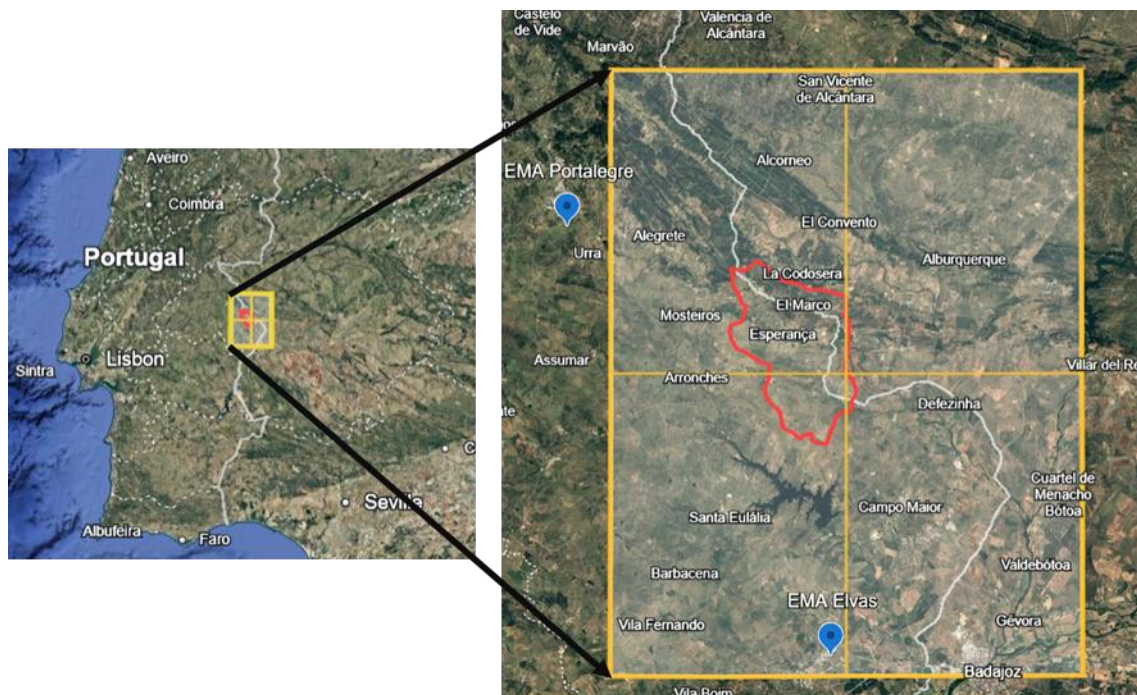


Figura 3 – Localização da área de estudo. A delimitação da bacia hidrográfica Abrilongo está marcada a vermelho, enquanto a área limítrofe utilizada para o processamento dos dados de satélite e da reanálise está marcada a amarelo. Os marcadores a azul indicam a localização das estações meteorológicas automáticas (EMA) do IPMA em Portalegre e Elvas.

Tabela 2: Estatísticas da cobertura do solo para a área limítrofe à bacia do Abrilongo (área a amarelo na Figura 3). São apresentadas a percentagem em relação à área total, e área identificada como terrenos agrícolas, terrenos com ocupação natural e água e zonas urbanas para a média entre 1992-2022, anos de 1992 e 2022 e a diferença entre 2022 e 1992. Dados processados do C3S LCC.

	Média 1992-2022	1992	2022	Diferença 2022-1992
Terrenos agrícolas	59.87% 1436.88 Km ²	60.07% 1441.68 Km ²	59.63% 1431.12 Km ²	-0.44% -10.56 Km ²
Terrenos naturais	38.73% 929.53 Km ²	38.77% 930.48 Km ²	38.76% 930.24 Km ²	-0.01% -0.24 Km ²
Água e zonas urbanas	1.4% 33.6 Km ²	1.17% 28.08 Km ²	1.62% 38.88 Km ²	0.45% 10.8 Km ²

Tabela 3: Estatísticas da cobertura do solo para a área da bacia do Abrilongo (área a amarelo na Figura 3). São apresentadas a percentagem em relação à área total, e área identificada como terrenos agrícolas, terrenos com ocupação natural e água e zonas urbanas para a média entre 1992-2022, anos de 1992 e 2022 e a diferença entre 2022 e 1992. Dados processados do C3S LCC.

	Média 1992-2022	1992	2022	Diferença 2022-1992
Terrenos agrícolas	57.52 % 69.02 Km ²	57.72% 69.26 Km ²	56.83 % 68.20 Km ²	-0.89% -1.07 Km ²
Terrenos naturais	41.37% 49.64 Km ²	47.17% 49.40 Km ²	46.02 % 50.47 Km ²	0.89% 1.07 Km ²
Água e zonas urbanas	1.12% 1.34 Km ²	1.12% 1.34 Km ²	1.12 % 1.34 Km ²	0 % 0 Km ²

2.2.3 Normais climáticas e tendências baseadas nas estações meteorológicas

Neste estudo foram analisadas duas estações meteorológicas da rede do IPMA que estão na zona limítrofe da área de estudo (ver marcadores na Figura 3).

2.2.3.1 Portalegre

A estação de Portalegre (Nº da estação 1200571) está localizada nas seguintes coordenadas: Latitude: 39.24419; Longitude: -7.4212, cerca de 5 km a sul do centro de Portalegre, com um início de funcionamento da estação clássica a 01/01/1941 e início de funcionamento da estação automática a 26/06/1997.

Apresenta-se uma análise e caracterização do comportamento climatológico da Estação Meteorológica Automática de Portalegre, com base nas normais climatológicas relativas aos períodos de referência 1971-2000, 1981-2010 e 1991-2020. A análise incide sobre a temperatura média do ar e a precipitação total mensal. Os resultados permitem avaliar a evolução recente do clima local, identificar tendências e contextualizar alterações face às normais climatológicas anteriores.

A normal climática mais recente na Figura 4 mostra um ciclo anual da temperatura média bem definido, comum ao interior sul de Portugal. Valores mínimos no Inverno (janeiro e fevereiro), com médias entre 11° e 13°, e valores máximos em julho e agosto próximos dos 30°. A comparação entre os três períodos de referência (ver Figura 5) evidencia o aumento consistente da temperatura média do período 1971-2000 para 1991-2020, com valores mais elevados sobretudo entre abril e agosto.

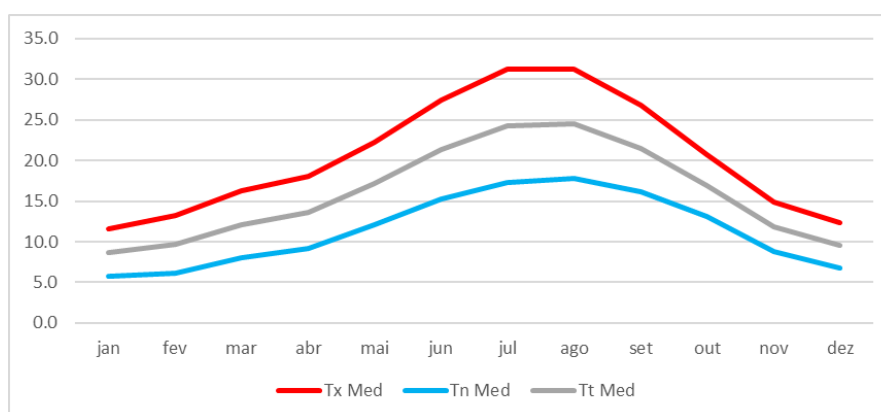


Figura 4 – Normais climatológicas 1991-2020 da estação de Portalegre para a temperatura máxima diária (curva a vermelho), temperatura média (curva a cinzento) e temperatura mínima diária (curva a azul).

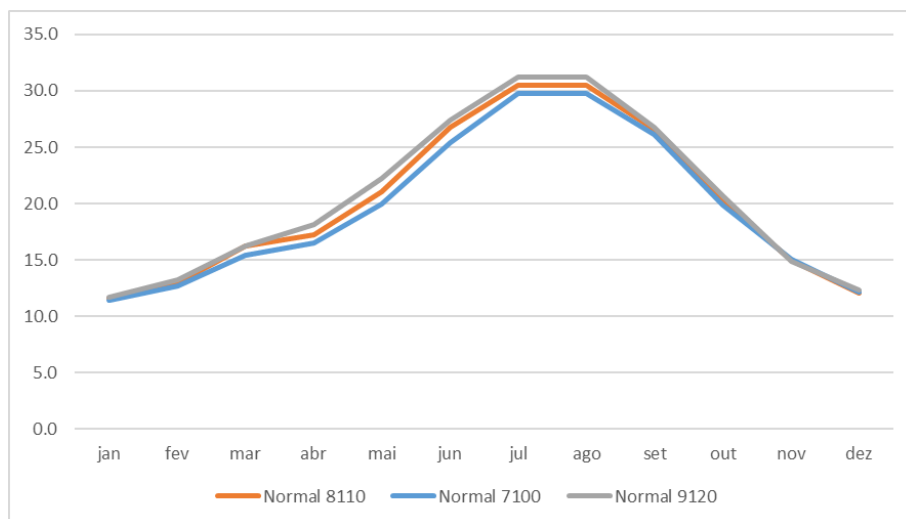


Figura 5 – Comparação da temperatura média diária nas normais climáticas 1991-2020 (cinzento), 1971-2000 (azul) e 1981-2010 (laranja) da estação de Portalegre.

O valor médio da quantidade de precipitação total na estação de Portalegre apresenta uma forte sazonalidade (ver Figura 6), com valores mais elevados nos meses de outono e inverno, em especial em outubro, novembro e dezembro e valores mínimos durante o verão, com destaque para julho e agosto. Na análise comparativa das normais torna-se evidente um aumento da variabilidade intra-anual na normal 1991-2020. Nos meses de março, maio e outubro verifica-se um ganho de precipitação na normal 1991-2020, enquanto junho e dezembro são os meses onde se verifica uma maior perda de precipitação.

A análise conjunta da temperatura média e da precipitação total mensal permite concluir que, na estação de Portalegre verifica-se um aquecimento progressivo ao longo das últimas décadas cujo regime térmico evidencia verões mais quentes e prolongados. A precipitação apresenta maior irregularidade, no entanto, verifica-se um aumento no outono.

Conclui-se que a estação meteorológica automática de Portalegre evidencia sinais claros de alteração do regime climático, nomeadamente: incremento do valor médio anual temperatura média, em especial na época estival e um aumento da precipitação no outono, como consequência de um maior número de episódios de precipitação intensa, em particular no mês

de outubro.

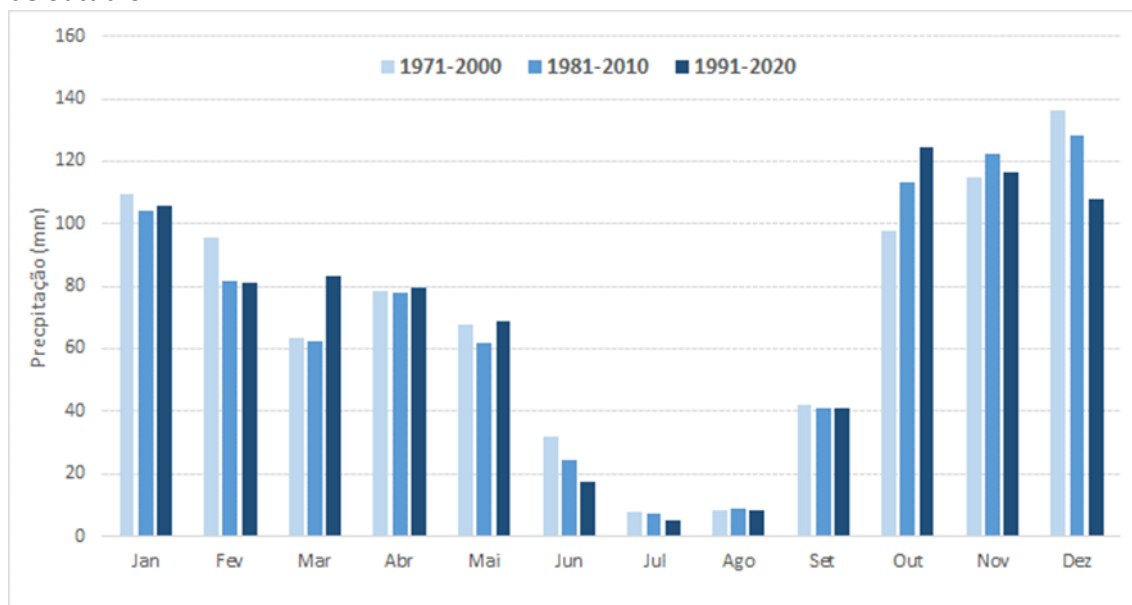


Figura 6 - Comparação das normais climáticas de precipitação na estação de Portalegre para os períodos 1971-2000 (azul-claro), 1981-2010 (azul) e 1991-2020 (azul-escuro).

Foram calculadas as tendências da temperatura média (Figura 7), máxima (Figura 8) e mínima (Figura 9) assim como da precipitação (Figura 10) para a série total de dados climatológica da estação de Portalegre (1942-2024). Para estimar as tendências temporais, aplicou-se uma regressão linear simples através do método dos mínimos quadrados ordinários e a significância estatística da tendência foi avaliada através do teste t à hipótese nula ($p < 0,05$ - tendência estatisticamente significativa, $p \geq 0,05$ - tendência não significativa). As tendências são expressas em $^{\circ}\text{C}/\text{década}$ para a temperatura e em $\text{mm}/\text{década}$ para a precipitação.

Verifica-se uma tendência de aumento do valor médio da temperatura média anual de $0.09^{\circ}\text{C}/\text{década}$ a qual é estatisticamente significativa. Esta tendência encontra-se em linha com as tendências médias nacionais para o interior do país. A nível sazonal o inverno e o verão apresentam tendências positivas estatisticamente significativas na temperatura média do ar. O comportamento resulta da combinação de: aumento claro das mínimas e incremento mais moderado das máximas. Observa-se um aumento de $0.12^{\circ}\text{C}/\text{década}$, estatisticamente significativo, no valor médio temperatura mínima anual. Também no verão e no inverno a tendência de aumento da temperatura mínima é estatisticamente significativo. Este comportamento é coerente com os relatórios do IPMA, que identificam: um aquecimento mais pronunciado das temperaturas mínimas em Portugal, uma redução da frequência de noites frias e um aumento de noites tropicais (temperatura mínima $\geq 20^{\circ}\text{C}$), em particular nos meses de verão. A temperatura máxima diária não apresenta uma tendência significativa. Finalmente, em relação à precipitação, e apesar de anualmente não existir uma tendência bem definida de aumento ou diminuição, sazonalmente a tendência é de ligeira diminuição no inverno, primavera e verão, exceto no outono onde se verifica um aumento. Este aumento de $11.8 \text{ mm}/\text{década}$ é estatisticamente significativo e deve-se ao aumento dos dias de precipitação intensa nesta estação do ano.

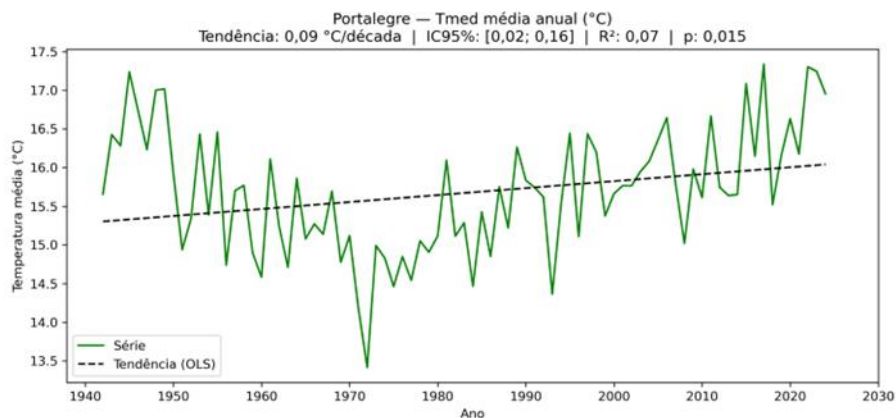


Figura 7 – Evolução anual da temperatura média na estação de Portalegre (linha a cheio) e curva da tendência (tracejado) baseada numa regressão linear.

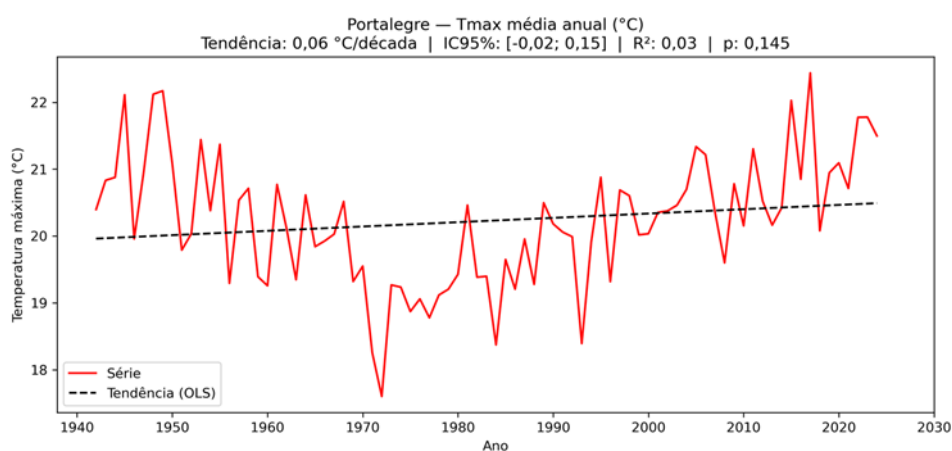


Figura 8 – Evolução anual da temperatura máxima diária na estação de Portalegre (linha a cheio) e curva da tendência (tracejado) baseada numa regressão linear.

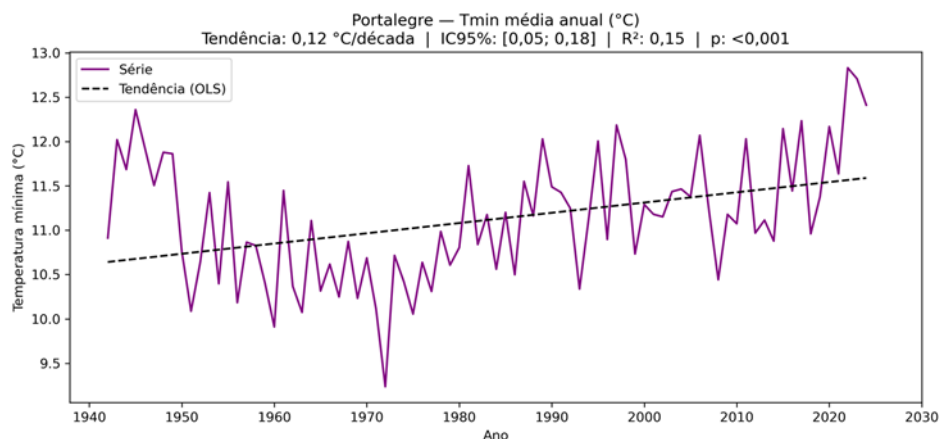


Figura 9 – Evolução anual da temperatura mínima diária na estação de Portalegre (linha a cheio) e curva da tendência (tracejado) baseada numa regressão linear.

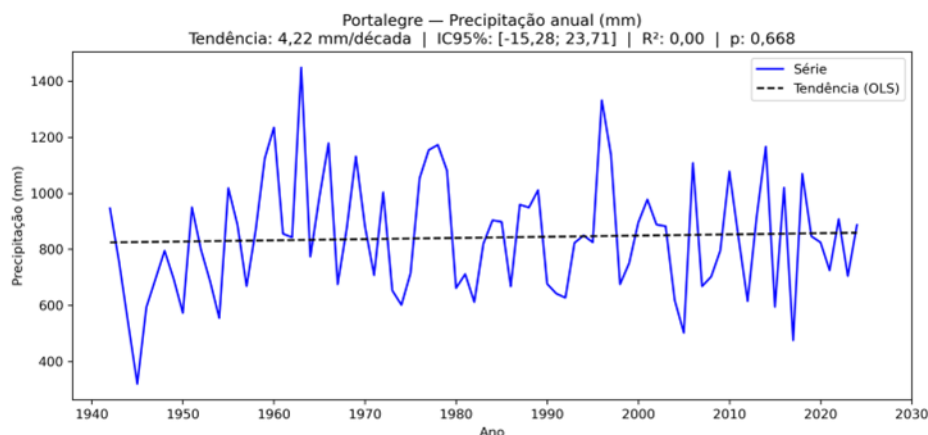


Figura 10 - Evolução anual da precipitação na estação de Portalegre (linha a cheio) e curva da tendência (tracejado) baseada numa regressão linear.

2.2.3.2 Elvas

A estação de Elvas (Nº 1210835) está localizada nas seguintes coordenadas: Latitude: 38.8896; Longitude: -7.14093, a cerca de 2 km a Noroeste do centro de Elvas, com um início de funcionamento da estação clássica a 01/01/1941 e início de funcionamento da estação automática a 31/05/1997.

Apresenta-se uma análise e caracterização do comportamento climatológico da Estação Meteorológica Automática de Elvas, com base nas normais climatológicas relativas aos períodos de referência 1971-2000, 1981-2010 e 1991-2020. A análise incide sobre a temperatura média do ar e a precipitação total mensal. Os resultados permitem avaliar a evolução recente do clima local, identificar tendências e contextualizar alterações face às normais climatológicas anteriores.

A normal climática mais recente na Figura 11 mostra um ciclo anual da temperatura média bem definido, comum ao interior sul de Portugal. Valores mínimos no Inverno (janeiro e fevereiro), com médias entre 4° e 5°, e valores máximos em julho e agosto próximos dos 35°. A comparação entre os três períodos de referência (ver Figura 12) evidencia o aumento consistente da temperatura média do período 1971-2000 para 1991-2020, com valores mais elevados sobretudo entre abril e agosto.

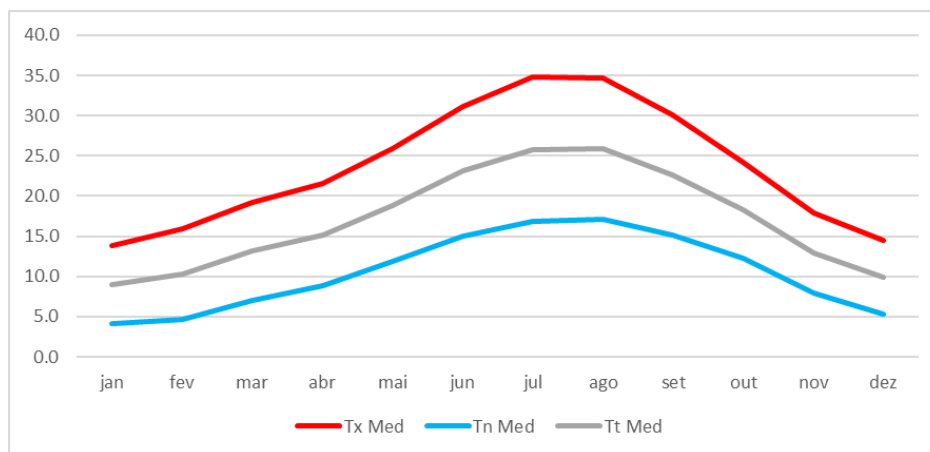


Figura 11 – Normais climatológicas 1991-2020 da estação de Elvas para a temperatura máxima diária (curva a vermelho), temperatura média (curva a cinzento) e temperatura mínima diária (curva a azul).

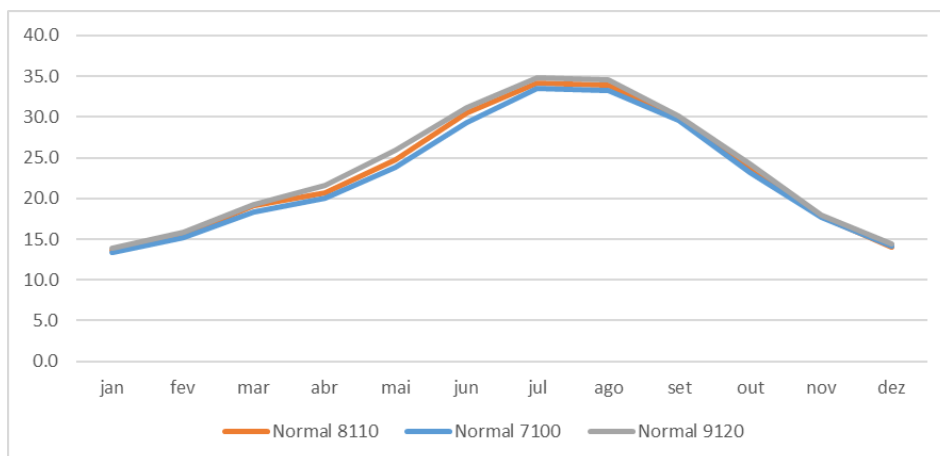


Figura 12 – Comparação da temperatura média diária nas normais climáticas 1991-2020 (cinzento), 1971-2000 (azul) e 1981-2010 (laranja) da estação de Elvas.

O valor médio da quantidade de precipitação total na estação de Elvas apresenta uma forte sazonalidade (ver Figura 13), com valores mais elevados nos meses de outono e inverno, em especial em outubro, novembro e dezembro e valores mínimos durante o verão, com destaque para julho e agosto. Na análise comparativa das normais torna-se evidente um aumento da variabilidade intra-anual na normal 1991-2020.

A análise conjunta da temperatura média e da precipitação total mensal permite concluir que, na estação de Elvas verifica-se um aquecimento progressivo ao longo das últimas décadas do valor médio anual da temperatura do ar com verões mais quentes e prolongados e por outro lado com outonos mais chuvosos, como consequência de um maior número de episódios de precipitação intensa, em particular no mês de outubro. Também em março se verifica um ganho de precipitação na normal 1991-2020 em relação às normais anteriores.

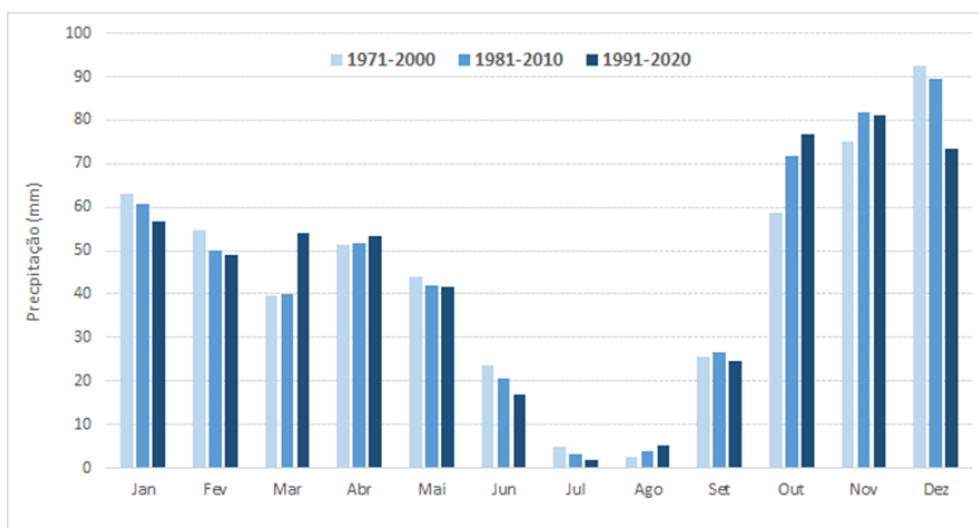


Figura 13 - Comparação das normais climáticas de precipitação na estação de Elvas para os períodos 1971-2000 (azul-claro), 1981-2010 (azul) e 1991-2020 (azul-escuro).

À semelhança da análise para a estação de Portalegre, Foram calculadas as tendências da temperatura média (Figura 14) , máxima (Figura 15) e mínima (Figura 16) assim como da precipitação (Figura 17) para a série total de dados climatológica da estação de Elvas (1942-2024). O valor médio da temperatura médio anual e sazonal regista uma tendência de aumento, o qual é estatisticamente significativo. Maiores aumentos na primavera e no verão +0.24

$^{\circ}\text{C}/\text{década}$ e $+0.23\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$ respetivamente. No valor médio da temperatura mínima anual, assim como na temperatura mínima sazonal observa-se um aumento estatisticamente significativo, variando entre os $+0.18\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$ e os $+0.21\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$. Também na temperatura máxima se verifica uma tendência de aumento a nível anual e sazonal, o qual é estatisticamente significativo. Destaca-se o verão e a primavera com os maiores aumentos, $+0.29\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$. Finalmente, em relação à precipitação verifica-se uma diminuição no valor anual em todas as estações do ano, exceto no outono, onde há uma ligeira tendência de aumento. Os aumentos no total anual, no inverno e na primavera são estatisticamente significativos. Destaca-se a perda de precipitação anual, $-23\text{ mm}/\text{década}$.

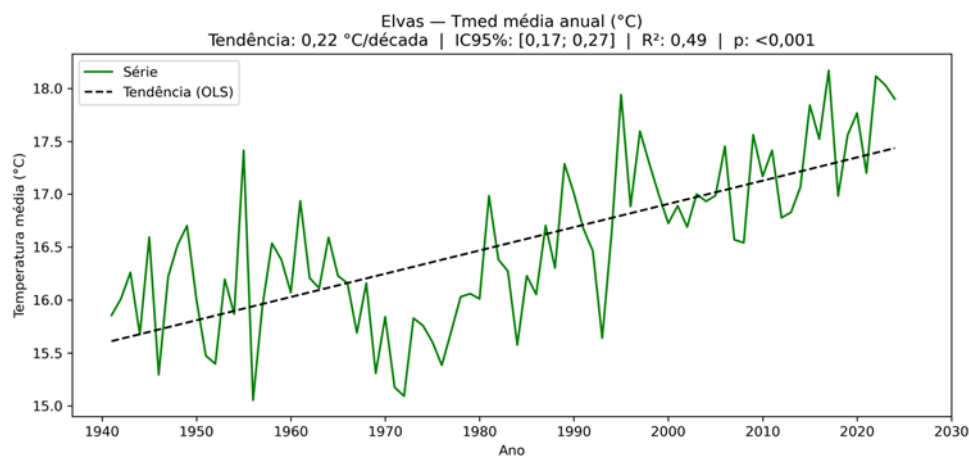


Figura 14 – Evolução anual da temperatura média na estação de Elvas (linha a cheio) e curva da tendência (tracejado) baseada numa regressão linear.

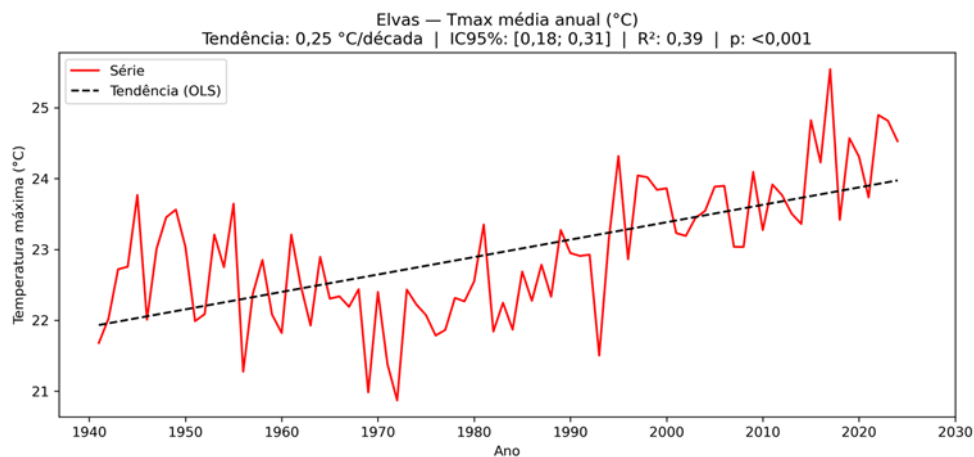


Figura 15 – Evolução anual da temperatura máxima diária na estação de Elvas (linha a cheio) e curva da tendência (tracejado) baseada numa regressão linear.

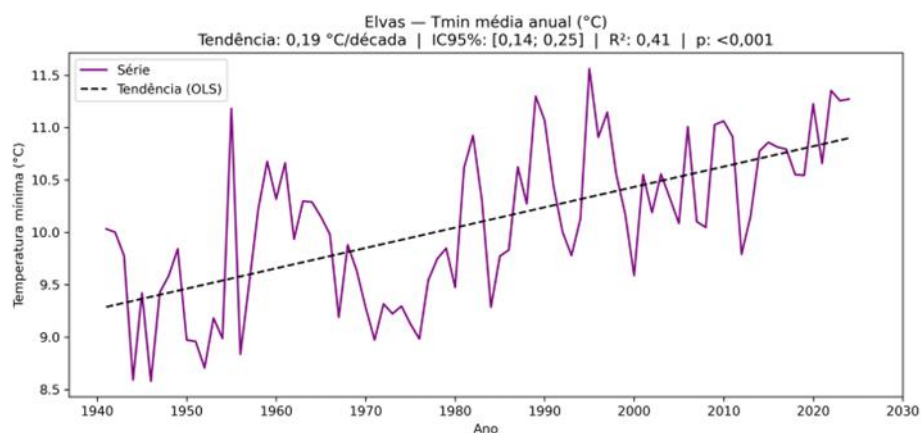


Figura 16 – Evolução anual da temperatura mínima diária na estação de Elvas (linha a cheio) e curva da tendência (tracejado) baseada numa regressão linear.

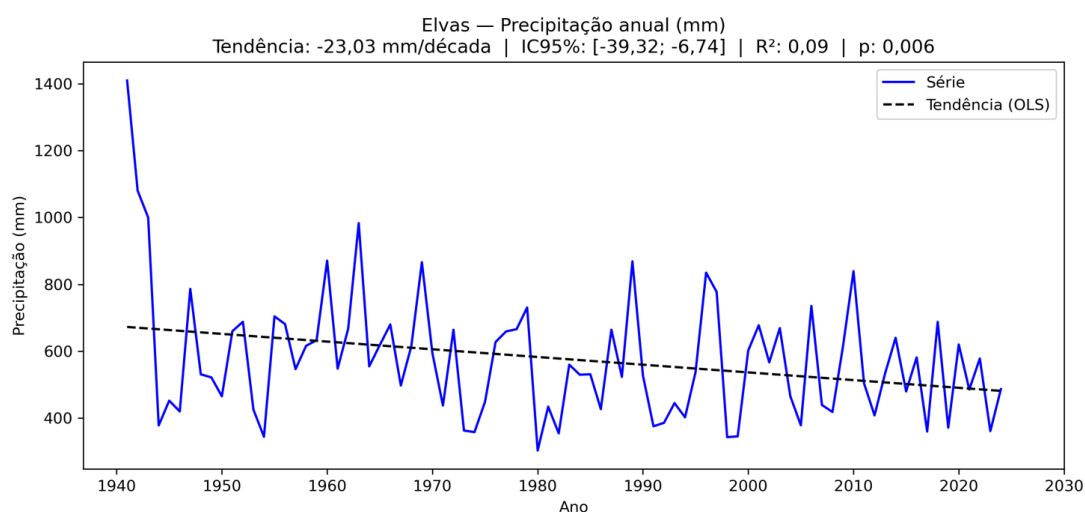


Figura 17 - Evolução anual da precipitação na estação de Elvas (linha a cheio) e curva da tendência (tracejado) baseada numa regressão linear.

2.2.4 Caracterização temporal recorrendo a dados de satélite e reanálise

Os dados de satélite e de reanálises são complementares às observações in-situ na caracterização e monitorização do clima, especialmente no contexto de eventos extremos, como é o caso das secas. As estações meteorológicas fornecem observações pontuais de elevada qualidade, mas a sua distribuição é frequentemente irregular ou insuficiente, sobretudo em regiões com topografia complexa ou fraca cobertura observacional. No caso da bacia do Abrilongo, não dispomos de nenhuma estação com qualidade e com uma série temporal longa, havendo apenas as 2 estações, descritas na secção anterior, na zona limítrofe.

Os produtos de satélite disponibilizam estimativas consistentes e frequentes de variáveis relevantes da superfície terrestre — como temperatura da superfície, indicadores de humidade do solo, estado da vegetação e radiação — permitindo detetar padrões espaciais, bem como acompanhar a sua evolução em escalas locais a continentais. Os produtos de reanálise complementam ambas as fontes ao integrar observações em modelos físicos, produzindo campos contínuos de variáveis meteorológicas essenciais para a avaliações de balanço hídrico. Em conjunto, estes três tipos de dados fornecem uma visão mais robusta e coerente das características da superfície, e a sua variabilidade temporal e espacial que são

fundamentais para apoiar sistemas de alerta precoce, avaliações de impacto e monitorização climática de longo prazo.

Nesta secção os resultados serão apresentados para a região limítrofe da bacia do Abrilongo (área a amarelo na Figura 3), considerando médias espaciais para os diferentes produtos apresentados na secção 2.2.1.1 (ver Tabela 1) e médias mensais. O período considerado é de janeiro de 2004 a setembro de 2025 por ser o período comum a todos os produtos disponíveis. É de realçar que os produtos foram selecionados pelo (i) seu potencial na monitorização das condições da superfície; (ii) reconhecimento internacional da qualidade dos produtos e (iii) disponibilidade de pelo menos 20 anos de dados e compromisso das entidades produtoras em continuar a sua disponibilização em tempo real. O último ponto da disponibilidade dos produtos em tempo real é fundamental para a sua potencial utilização futura em sistemas de monitorização e alerta precoce.

A Figura 18 ilustra o ciclo médio anual dos vários produtos entre 2004-2025 normalizados pela diferença entre o valor máximo e mínimo do ciclo médio anual, de forma que 1 representa o máximo e 0 o mínimo. Esta normalização permite a inter-comparação visual dos vários produtos que têm unidades e amplitudes dispares numa única representação gráfica, facilitando a sua interpretação. O ciclo médio anual da precipitação (ERA5_TP, curva azul) e temperatura aos 2 metros (ERA5_2T curva amarela) ilustram o típico clima mediterrâneo caracterizado por um inverno ameno e chuvoso e verão seco e quente. O ciclo anual da temperatura de superfície do produto de satélite (MSG_LSTX, curva tracejado amarela) é quase idêntica à da temperatura aos 2 metros, demonstrando a consistência do balanço de energia à superfície e a camada superficial da atmosfera. A evapotranspiração de referência (MSG_METREF, curva preto) é também semelhante à temperatura aos 2 metros, mas com o máximo em julho associado ao máximo de radiação solar incidente.

A água no solo superficial (C3S_SSM, curva castanho) tem um máximo em janeiro enquanto a água no solo na zona das raízes (C3S_RZSM, curva tracejado castanho) é máxima em fevereiro/março, mantendo o desfaseamento de cerca de 1 mês ao longo do ano. Este desfaseamento é espetável devido ao tempo necessário para a infiltração da água superficial bem como a demora na depleção devido à maior capacidade de armazenamento. A vegetação via o Índice de Área foliar (MSG_LAI) é máxima em março/abril, tendo uma queda acentuada de abril para maio, e mais rápida do que a depleção de água no solo. A evapotranspiração (MSG_ET, curva a tracejado preta) é máxima em maio como balanço entre disponibilidade de água e radiação, sendo visível a clara consistência temporal entre a fração evaporativa (MSG_ES, curva a vermelho) e a água no solo. Esta consistência demonstra o papel crucial da disponibilidade de água no solo na evolução sazonal da vegetação e da evaporação. Finalmente, é de realçar a consistência entre os vários produtos de satélite e reanálise que são produzidos independentemente e com modelos/algoritmos diferente sem imposição destas consistências biogeofísicas.

Para analisar a variabilidade interanual e Intra sazonal, as médias mensais de cada produto foram normalizadas e são apresentadas na Figura 19. A normalização é efetuada para cada mês de forma independente, sendo a razão entre a diferença entre o valor mensal e a média multianual para esse mês e o desvio padrão multianual para esse mês. Desta forma, a evolução temporal de cada produto é também comparável com o índice de seca SPI que é também apresentado na Figura 19. Complementando as séries temporais da Figura 19, as correlações entre todos os pares possíveis de produtos são apresentadas na forma de uma matriz de correlações na Figura 20. A matriz das correlações tem o valor de 1 na diagonal principal

correspondendo à correlação de um produto com ele próprio e é simétrica ao longo da diagonal, isto é, a correlação de A vs. B é idêntica à correlação de B vs. A.

A análise das series temporais das anomalias normalizadas dos vários produtos (Figura 19) e as suas correlações (Figura 20) permitem identificar os seguintes pontos:

- Elevada correlação entre a água no solo superficial e a água no solo na zona das raízes. Água no solo superficial tem correlações mais elevadas com o SPI3 (precipitação nos últimos 3 meses) enquanto a água no solo na zona das raízes tem correlações mais elevadas com o SPI6 (precipitação nos últimos 6 meses).
- A temperatura de superfície máxima (MSG_LSTX) tem valores elevados (negativos, anti correlação) com a água no solo, enquanto o sinal da temperatura do ar é menos evidente. A MSG_LSTX também tem um sinal consistente com a evolução da vegetação MSG_LAI e com o SPI3-SPI9;
- A variabilidade interannual do stress evaporativo (MSG_ES) é dominada pela variabilidade da evapotranspiração (MSG_ET);
- A variabilidade da vegetação (MSG_LAI) tem correlações mais elevadas com o SPI6 e com a água no solo na zona das raízes do que com a água no solo superficial.
- A variabilidade interannual da evapotranspiração de referência tem uma elevada anti correlação com a precipitação que se deve não diretamente à precipitação, mas à variabilidade das nuvens que influenciam a quantidade de radiação disponível, e indiretamente a precipitação.
- É possível identificar vários períodos de seca prolongada na região entre 2004 e 2025 de uma forma consistente em todos os indicadores, em particular 2005 e 2019.

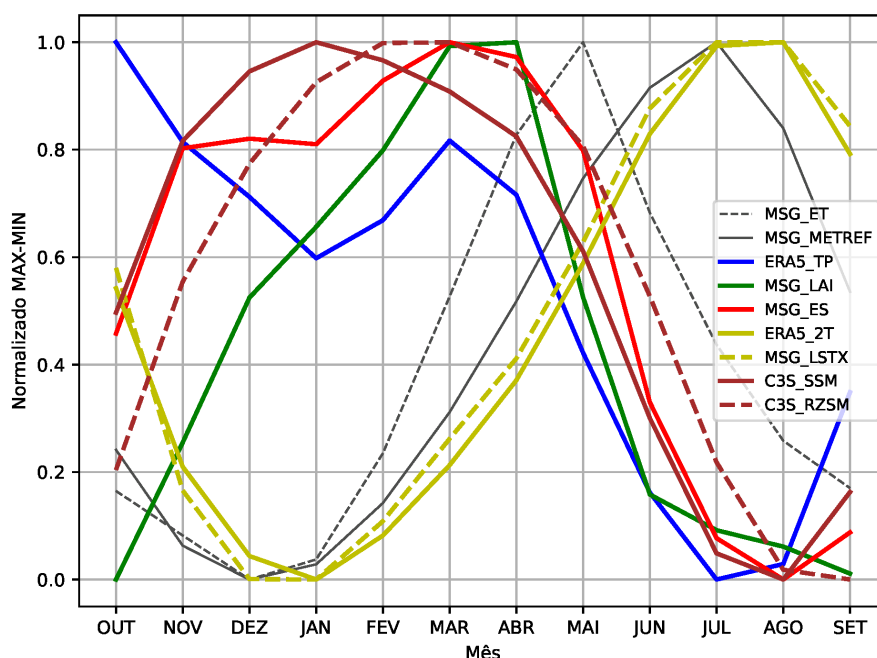


Figura 18 – Ciclo médio anual para o período 2004-2025 de vários produtos de satélite e reanálise na região limítrofe à bacia do Abrilongo (área a amarelo na Figura 3). Cada produto foi normalizado pela diferença entre o valor máximo e mínimo do ciclo médio anual, de forma que 1 representa o máximo e 0 o mínimo.

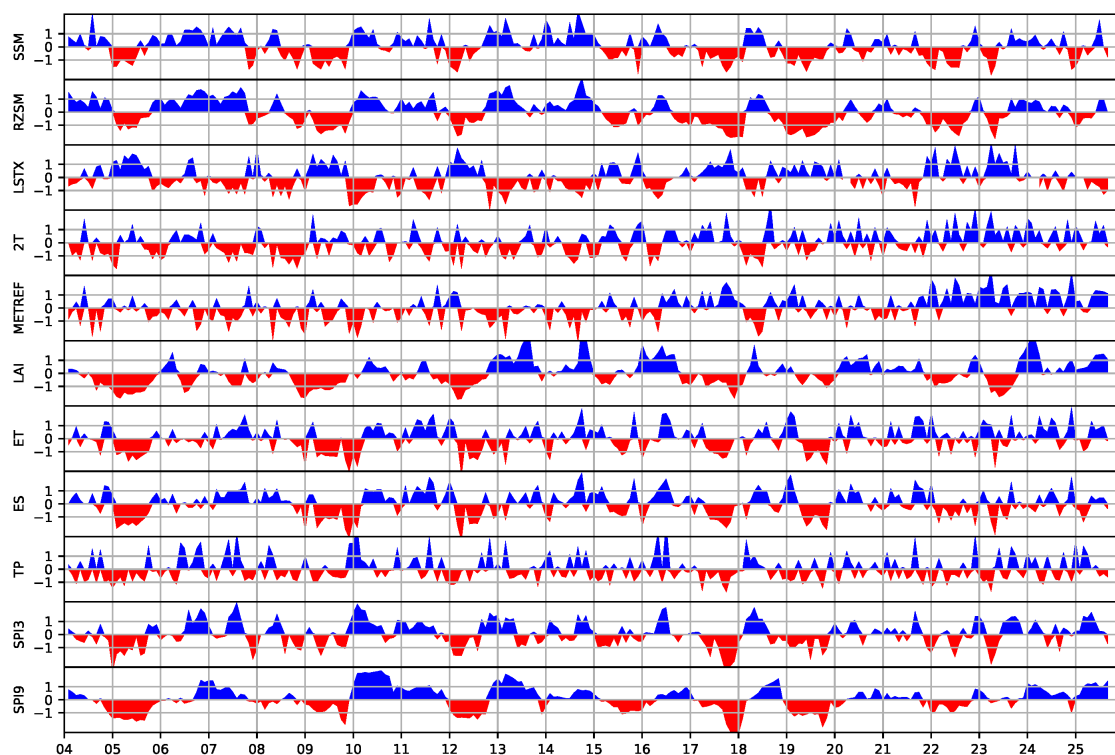


Figura 19 – Séries temporais de anomalias normalizadas de vários produtos de satélite e reanálise na região limítrofe à bacia do Abrislongo (área a amarelo na Figura 3).

C3S_SSM -	0.84	-0.63	0.38	0.094	0.32	-0.55	-0.2	0.61	0.68	0.59	0.52	0.46	
C3S_RZSM -	0.84		-0.62	0.48	0.34	0.5	-0.33	-0.17	0.33	0.66	0.71	0.66	0.58
MSG_LSTX -	-0.63	-0.62		-0.53	-0.13	-0.33	0.52	0.49	-0.37	-0.53	-0.58	-0.57	-0.51
MSG_LAI -	0.38	0.48	-0.53		0.28	0.34	-0.046	0.069	0.15	0.4	0.57	0.55	0.45
MSG_ET -	0.094	0.34	-0.13	0.28		0.91	0.42	0.1	-0.2	0.2	0.26	0.24	0.33
MSG_ES -	0.32	0.5	-0.33	0.34	0.91		0.09	-0.12	0.001	0.33	0.35	0.32	0.4
MSG_METREF -	-0.55	-0.33	0.52	-0.046	0.42	0.09		0.53	-0.6	-0.35	-0.26	-0.21	-0.13
ERA5_2T -	-0.2	-0.17	0.49	0.069	0.1	-0.12	0.53		-0.083	-0.092	-0.017	-0.023	-0.033
ERA5_TP -	0.61	0.33	-0.37	0.15	-0.2	0.001	-0.6	-0.083		0.55	0.41	0.3	0.25
SPI3 -	0.68	0.66	-0.53	0.4	0.2	0.33	-0.35	-0.092	0.55		0.7	0.57	0.5
SPI6 -	0.59	0.71	-0.58	0.57	0.26	0.35	-0.26	-0.017	0.41	0.7		0.81	0.68
SPI9 -	0.52	0.66	-0.57	0.55	0.24	0.32	-0.21	-0.023	0.3	0.57	0.81		0.85
SPI12 -	0.46	0.58	-0.51	0.45	0.33	0.4	-0.13	-0.033	0.25	0.5	0.68	0.85	
	C3S_SSM -	C3S_RZSM -	MSG_LSTX -	MSG_LAI -	MSG_ET -	MSG_ES -	MSG_METREF -	ERA5_2T -	ERA5_TP -	SPI3 -	SPI6 -	SPI9 -	SPI12 -

Figura 20 – Matriz de correlações entre os pares das séries temporais de anomalias normalizadas de vários produtos de satélite e reanálise na região limítrofe à bacia do Abrislongo (área a amarelo na Figura 3).

2.3 Dados agrícolas e de ocupação do solo

Segundo o recenseamento agrícola de 2019, a atividade agrícola no concelho de Campo Maior ocupa uma área total de 20 872 hectares. A terra arável constitui a principal utilização do solo agrícola, com 7 280 hectares, dos quais 6 631 hectares são dedicados a culturas temporárias, nomeadamente culturas de ciclo anual como os cereais praganosos e o milho. Uma área mais reduzida, correspondente a 649 hectares, encontra-se em pousio. As hortas familiares assumem um papel marginal em termos de área, ocupando apenas 3 hectares. As culturas permanentes, como olivais ou amendoeiras, representam 6 399 hectares. Por fim, as pastagens permanentes ocupam 7 189 hectares, destacando-se como um dos principais usos do solo agrícola, desempenhando um papel relevante na atividade pecuária.

A área abrangida por este estudo, e que corresponde à bacia hidrográfica do rio Xévor, ocupa aproximadamente a 1 500 hectares, integrando as freguesias de Nossa Senhora da Graça dos Degolados e S. João Baptista, ambas pertencentes ao concelho de Campo Maior.

No que respeita às características do solo, apresenta uma grande diversidade de unidades pedológicas, refletindo a variação litológica que caracteriza esta região. Conforme a Carta de Solos de Portugal (escala 1:50 000, Folha 33C), destacam-se quatro grandes grupos de solos: os aluviossolos modernos e os aluviossolos antigos, localizados nas áreas mais baixas e associadas ao vale fluvial, e os solos mediterrânicos pardos e os solos mediterrânicos vermelhos.

Por sua vez, a carta de capacidade de uso do solo identifica a presença predominante das Classes II, III, IV e VI, evidenciando uma paisagem agrícola marcada por variações de fertilidade, profundidade e suscetibilidade à erosão.

Atualmente, o solo agrícola da bacia hidrográfica do rio Xévor encontra-se ocupado pelas culturas indicadas na Tabela 4, com a respetiva área cultivada e rendimento obtido.

Tabela 4 - Área ocupada e rendimento obtido nas culturas presentes na bacia hidrográfica do rio Xévor.

Cultura	Área (ha)	Produção (kg/ha)
Olival em Sebe	320	7500
Olival Intensivo	100	5000
Olival tradicional	300	2500
Prados permanentes	250	extensivo
Culturas hortícolas	90	80000 (tomate)
Cereais Outono-Inverno	90	2500
Milho para silagem	100	12000 MS/ha
Milho Grão	250	10000

Com base nos dados recolhidos na Associação de Agricultores do Xévor, podemos dizer que com a entrada em funcionamento da rede de rega associada ao Aproveitamento Hidroagrícola

do Xévora (Figura 21), a ocupação do solo agrícola nesta área passa a distribuir-se da seguinte forma:

- Cereais praganosos – 183,02 ha
- Milho – 425,95 ha
- Tomate – 57,10 ha
- Prados permanentes – 189,84 ha
- Olival – 648,72 ha
- **Total – 1504,63**

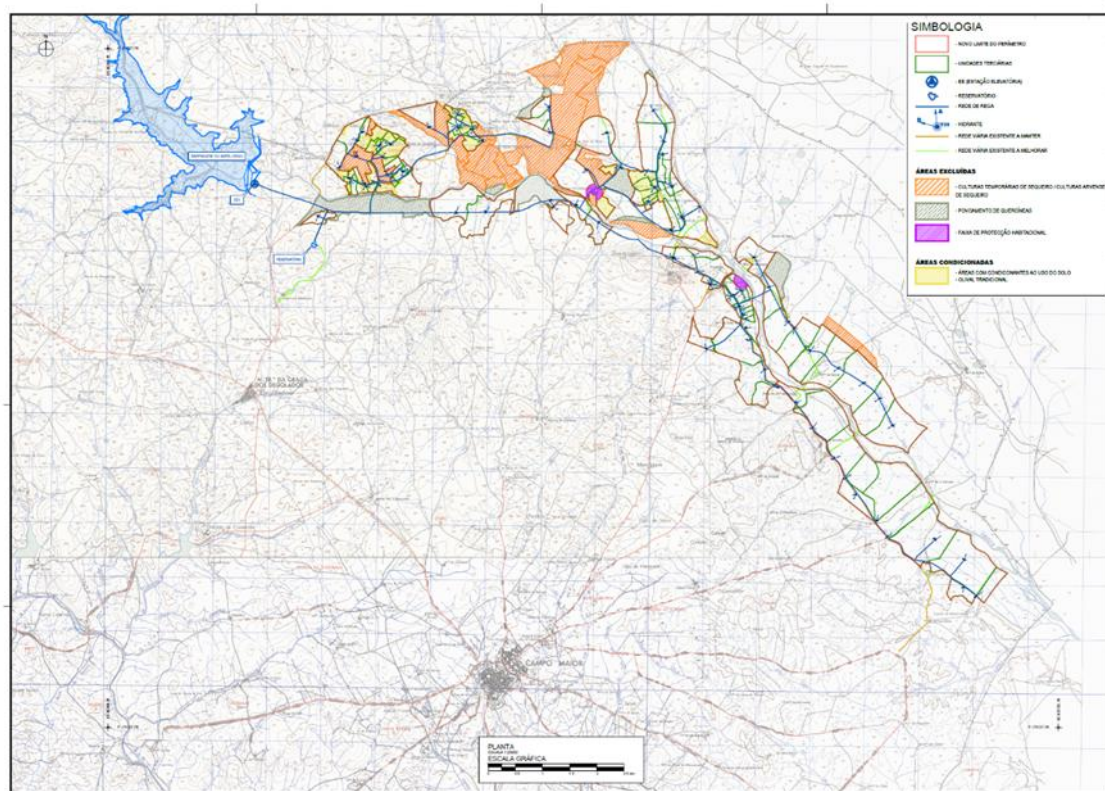


Figura 21 - Sistema hidroagrícola da barragem do Abridongo e perímetro de rega a beneficiar na região da confluência do Rio Abridongo com o Rio Xévora (DGADR, 2015).

A implementação desta rede de rega do Aproveitamento Hidroagrícola do Xévora configura-se como um marco decisivo para a revitalização agrícola da região. Para além do previsível aumento da produção e rentabilidade das explorações, este projeto tem o potencial de:

- Reduzir o abandono das terras agrícolas;
- Atrair jovens agricultores e novos investimentos;
- Reforçar a segurança alimentar e a produção local;
- Promover práticas de produção mais eficientes e ambientalmente sustentáveis.

2.4 Dados hidrológicos

A seca hidrológica é o prolongamento dos efeitos da seca meteorológica no território através dos mecanismos de desfasamento constituintes do ciclo hidrológico, que estão associados aos

processos de infiltração, armazenamento e evapotranspiração, traduzidos na equação simples da análise de sistemas

$$dS/dt = P - Q - E \quad (1)$$

onde P, Q e E são, respetivamente, a Precipitação, o Escoamento e a Evapotranspiração, e dS/dt é a variação do armazenamento de água na bacia (S - storage), que geralmente traduz os episódios de acumulação/esgotamento do armazenamento subterrâneo e subsuperficial (no solo), mas que também engloba outros tipos de variações de armazenamento, como as que ocorrem em lagos, naturais ou artificiais (albufeiras), e em pequenas depressões do terreno, ou aquelas associadas à acumulação de neve (Rodrigues, 2023).

As variáveis P, Q e E são, assim, variáveis hidrometeorológicas importantes nos estudos de secas hidrológicas (pois controlam as entradas e saídas dos sistemas hídricos), assim como as variáveis relacionadas com o estado dos volumes hídricos armazenados (nas albufeiras ou como humidade no solo), que dependem da interação contabilizada na equação (1).

Na secção 2.2.3 foram descritas as duas estações meteorológicas da rede do IPMA que estão na zona limítrofe da área de estudo. Para além dessas duas estações de controlo sinóptico sobre a quadricula regional em análise (bordejadas a azul na Figura 22), existem seis estações udométricas da APA, instaladas pelos antigos Serviços Hidráulicos e depois pelo Instituto da Água (INAG), que podem eventualmente ser úteis para testar *downscalings* das estimativas sinópticas da precipitação (dados em <http://snirh.pt>). Contudo a sua instalação teve como principal objetivo o apoio ao planeamento e gestão de albufeiras por controlo do *input* para os sistemas hídricos e, malgradadamente, estes postos não funcionaram durante o período 2011-2014 por constrangimentos financeiros na sua manutenção.

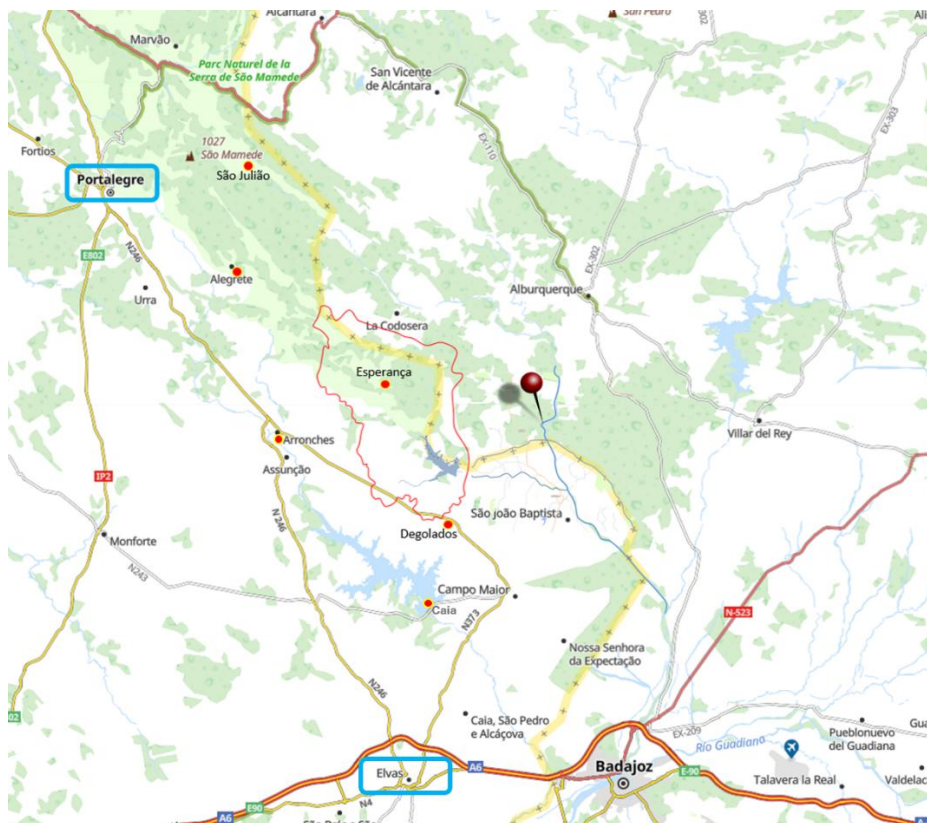


Figura 22 - Rede hidrometeorológica das estações dentro da bacia hidrográfica da Barragem do Abrilongo e na sua envolvente próxima

A estação do Caia (situada na albufeira de maiores dimensões a Sul do Abrilongo) é uma estação meteorológica onde, para além da precipitação, se mede (a 5 e a 8 m) a temperatura, a humidade relativa e a velocidade do vento, bem como a radiação e a evaporação tina. Funcionou como estação flutuante de 2002 até 2010, com os aparelhos de medida instalados numa balsa como descrito em Rodrigues (2023). Permitiu a recolha de dados importantes para a determinação da evaporação em albufeiras (Rodrigues, 2009) que podem ser explorados na gestão de secas na albufeira do Abrilongo.

Na Figura 22 surge também (indicado no mapa por um alfinete) uma estação de medição de caudais, correspondente à estação hidrométrica de Los Riscos. Não está localizada no Rio Abrilongo, mas sim no Rio Gévora (Espanha) antes da entrada em território português. Os seus dados (disponíveis no site <https://ceh.cedex.es/anuarioaforos/afo/estaf-datos.asp?indroea=4244>) são de grande utilidade pois não existe medição de caudais na parte portuguesa da bacia.

Dadas as semelhanças morfológicas, geológicas, de usos do solo e de regime pluviométrico em ambas as bacias, é possível usar os dados do Xévora para estimar os caudais afluentes à albufeira do Abrilongo usando uma proporção de áreas. A Figura 23 apresenta as afluições mensais do Rio Gévora a Portugal, junto à fronteira, bem como a curva que caracteriza o regime fluvial do rio (curva de duração dos caudais médios diários), onde o decrescimento retilíneo (em escala logarítmica) do caudal durante mais de 70% dos dias do ano, pressupõe um regime de escoamento pouco modificado antropicamente (facilitando as extrapolações). Apresenta, em média, caudais inferiores a 10 litros por segundo em 10% dos dias do ano.

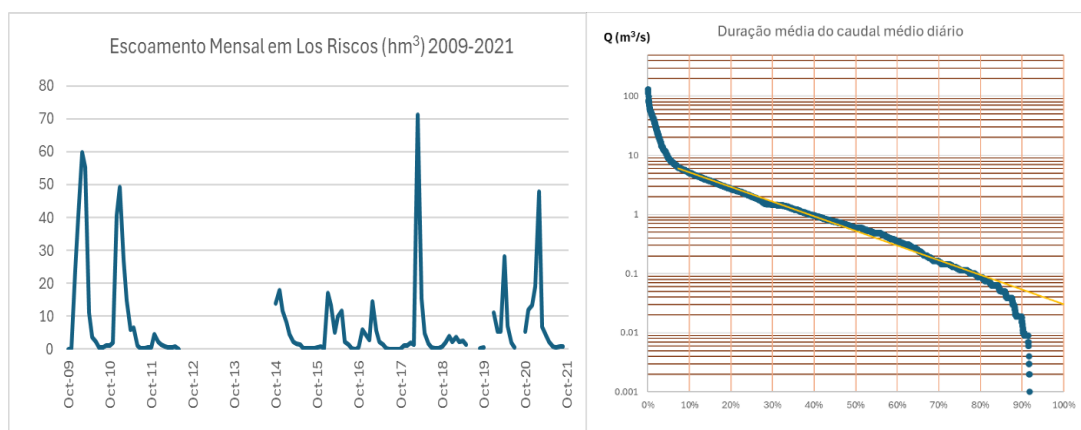


Figura 23 - Valores das afluições mensais no Rio Gévora em Los Riscos (à esquerda) e de caudal classificado (à direita).

Para além dos dados de controlo das entradas e saídas do sistema é importante controlar os volumes retidos na bacia que, no caso em estudo, correspondem aos valores armazenados na albufeira do Abrilongo.

Esses dados estão disponíveis no site do SNIRH ou da DGADR, e permitem uma avaliação de secas dedicado, já que são o resultado de todas as entradas e abstrações do sistema. Assim, através da atribuição de diferentes limiares de aviso de seca, associados a diferentes graus de escassez de armazenamento (limiares 1 e 2 da Figura 24) é possível fazer o estudo estocástico dos volumes em falta, sua perseverança (duração) e sua intensidade, bem como a caracterização da sua ocorrência no tempo, no que é descrito como um processo estocástico bi-variado, abordado em Correia et al. (1987).

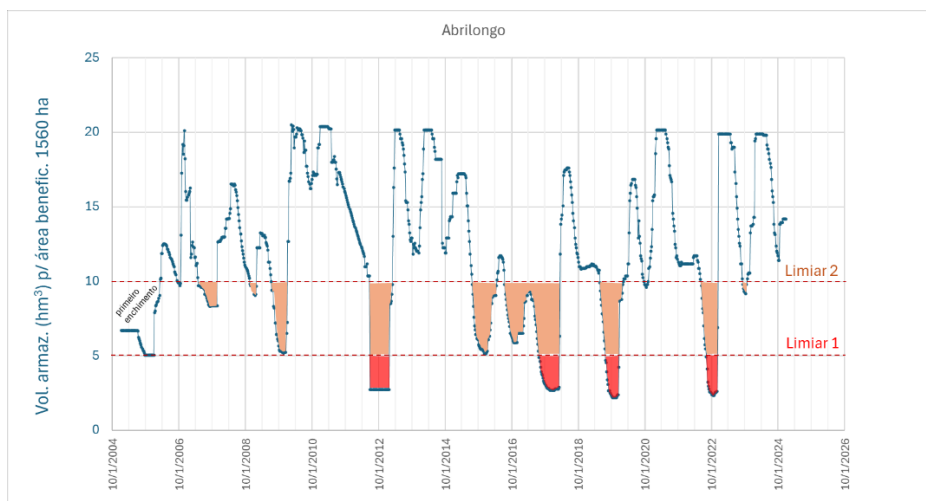


Figura 24 - Volumes armazenados na albufeira do Abrilongo e volumes em déficit para dois limiares diferentes

A resiliência do sistema, ou a rapidez com que o armazenamento recupera de uma escassez, também pode ser determinada como by-product da análise estocástica (Correia et al., 1987; 1991) mas pode ser otimizada de forma a adequar a área regada e as necessidades de água das culturas ao objetivo de cumprimento dos níveis mínimos de operação. Daí que o uso de culturas menos exigentes, e/ou a redução da extensão de área regada, baseadas na previsão de escassez meteorológica, possa reduzir significativamente o impacto da seca no volume armazenado no final do ano hidrológico.

Neste âmbito é importante possuir dados dos consumos de água para rega ao longo do tempo em várias situações. Durante este estudo não foi possível obter consumos de água para fins agrícolas na albufeira do Abrilongo, mas foram recuperados esses consumos para a albufeira do Caia (extraídos do site SNIRH), que podem ser usados como primeira aproximação para o estudo de secas no Abrilongo, desde que ponderados. A parte esquerda da Figura 25 revela a semelhança entre o regime de variação dos armazenamentos nas duas albufeiras, ainda que a maior capacidade de armazenamento da albufeira do Caia, 10 vezes superior, lhe confira menor resiliência. Na mesma Figura apresentam-se os consumos específicos mensais (por unidade de área regada) em diferentes anos na albufeira do Caia, de forma a permitir avaliar a adequação destes consumos em diferentes situações de escassez se transpostos para o Abrilongo.

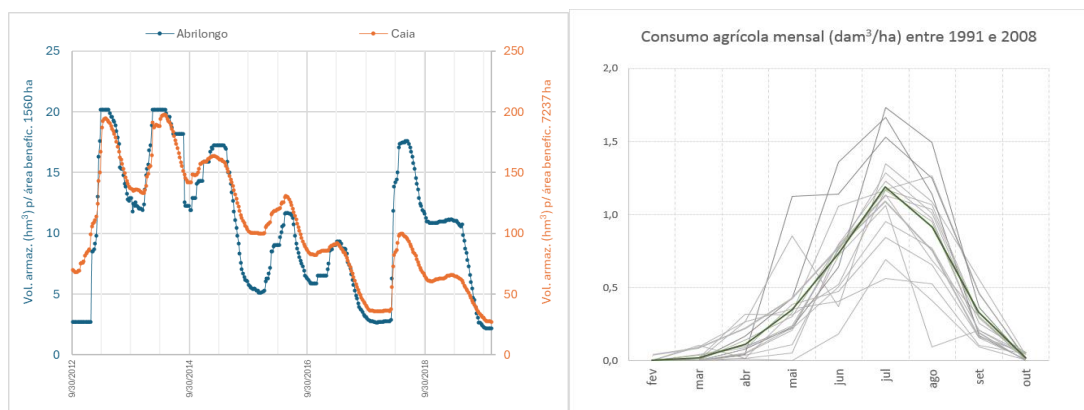


Figura 25 - Comparação dos efeitos plurianuais das secas nas albufeiras do Abrilongo e do Caia, e consumo agrícola mensal específico (em dam^3/ha) no período 1991-2008.

3 Rede hidrometeorológica e plataforma e visualização

3.1 Proposta de rede de monitorização hidrometeorológica

Apesar do crescente número de produtos baseados em satélite e da crescente qualidade das reanálises globais, as redes de observação hidrometeorológica de superfície permanecem insubstituíveis. Os satélites oferecem cobertura espacial e monitorização consistente, enquanto as reanálises fornecem campos contínuos no tempo e espaço. No entanto, ambos dependem fundamentalmente das medições *in situ* para calibração, validação e estabilidade a longo prazo. As observações locais captam processos de pequena escala, eventos extremos e respostas hidrológicas específicas de cada bacia que os sistemas de deteção remota e modelos usados nas reanálises não conseguem representar completamente. Assim, uma rede observacional resiliente funciona como a fundação de toda a cadeia de informação do sistema terrestre, garantindo que produtos de satélite, reanálises e serviços derivados sejam precisos, fiáveis e adequados ao apoio operacional à decisão.

Uma rede de observação hidrometeorológica robusta constitui a base de qualquer sistema eficaz de apoio à decisão relacionado com o clima e os recursos hídricos. Ao monitorizar continuamente variáveis essenciais como precipitação, caudal dos rios, humidade do solo, temperatura e condições atmosféricas, estas redes fornecem dados em tempo real e séries históricas fundamentais para compreender a dinâmica ambiental e antecipar riscos. O seu valor vai muito além da investigação científica: apoiam sistemas de alerta precoce para cheias e secas, orientam a gestão dos recursos hídricos, informam o planeamento agrícola e energético e reforçam estratégias de adaptação às alterações climáticas. Num contexto de crescente variabilidade climática, manter uma rede de observação densa, fiável e bem integrada é essencial para proteger comunidades, ecossistemas e atividades económicas.

Considerando os dados que foram utilizados neste trabalho é possível identificar três lacunas relevantes na monitorização hidrometeorológica na região de interesse na sua área limítrofe:

Estações meteorológicas: Tendo em conta que a instalação e manutenção de estações meteorológicas beneficiam da proximidade a zonas habitadas, propomos a reativação da estação de Campo Maior e a instalação de uma nova estação nas proximidades da vila de Arronches. Estas duas novas estações, em conjunto com as já existentes em Elvas e Portalegre permitem uma cobertura razoável da região, especialmente considerando a razoável homogeneidade do terreno, tanto ao nível da ocupação do solo como da variabilidade topográfica.

Monitorização de água no solo: Foi identificada uma lacuna na monitorização da água no solo, um parâmetro essencial para a caracterização hidrometeorológica. Propomos a instalação de sensores de água no solo junto às estações meteorológicas, reduzindo os custos de instalação e operação ao aproveitar infraestruturas já existentes, como sistemas de telecomunicações. É também relevante ter várias observações da atmosfera e solo no mesmo local, já que permite a avaliação da interação superfície-atmosfera, que é relevante em situações extremas como secas e ondas de calor.

Estações hidrométricas: É conveniente ter uma estação de controlo das afluências à albufeira do Abrilongo, precavendo eventuais alterações futuras do regime do Xévorá (que invalidariam a transposição de dados de Los Riscos na emulação do escoamento afluente ao Abrilongo). O ideal seria ter essa secção de controlo implantada no próprio Rio Abrilongo, mas, caso seja

necessário construir uma pequena soleira descarregadora para controlar com mais precisão, e menos medições de caudal, o valor do escoamento afluente, essa intervenção terá de ser negociada com as autoridades espanholas, dado que o Rio Abrilongo é ele próprio a fronteira e que a sua margem esquerda se desenvolve em território espanhol. Em opção poderá ser escolhida uma secção na Ribeira de Ouguela, que corre paralelamente ao Rio Abrilongo, com uma área e geologia semelhante, e está inteiramente em território nacional. O local a seleccionar (numa ou noutra linha de água) deverá estar a montante da curva de regolho da albufeira.

3.2 Plataforma de visualização

O IPMA dispõe de uma plataforma web de processamento e visualização que permite explorar diversos parâmetros hidrometeorológicos espacializados. Os dados provenientes da rede de estações do IPMA são interpolados através do método IDW (Inverse Distance Weighting) para uma malha regular, possibilitando a sua representação em serviços de mapas. No âmbito deste projeto, foi implementada uma nova funcionalidade que permite a agregação espacial por bacias hidrográficas, bem como foram adicionados novos parâmetros, incluindo a evapotranspiração de referência e previsões de humidade do solo a médio prazo.

Embora a plataforma seja de uso interno no IPMA, disponibiliza alguns serviços de mapas através do protocolo WMS (Web Map Service), constituindo uma ferramenta essencial para o acompanhamento em tempo real das condições hidrometeorológicas. A Figura 26, Figura 27 e Figura 28, ilustram vários exemplos das suas capacidades de visualização. Para além dos desenvolvimentos realizados no âmbito do projeto, os resultados obtidos reforçam a relevância de integrar novos parâmetros, nomeadamente alguns produtos de satélite, como o índice de área foliar, cuja incorporação na plataforma está já prevista.

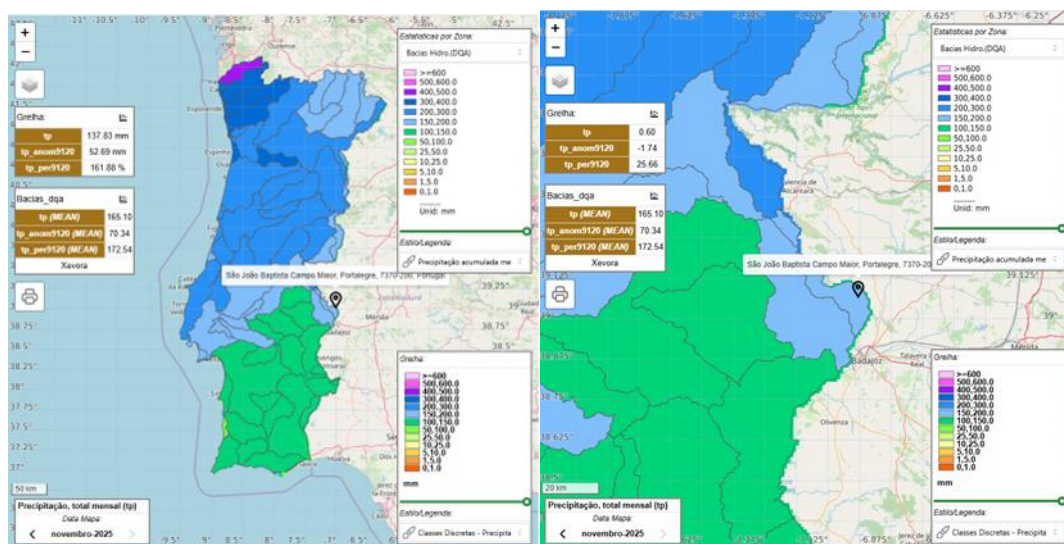


Figura 26 – Exemplo de visualização da precipitação mensal na plataforma em novembro de 2025 para Portugal (esquerda) e um zoom na área de interesse (direita).

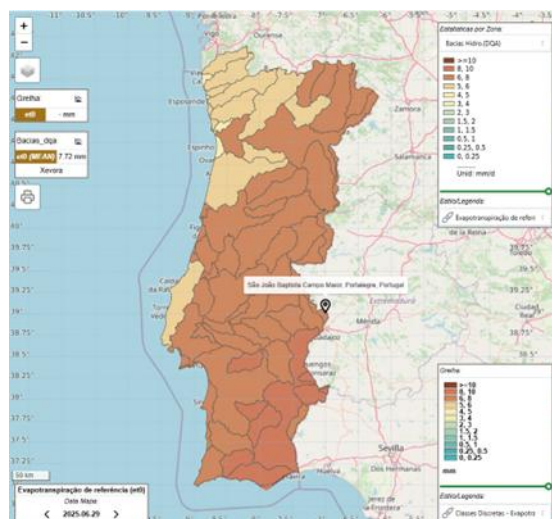


Figura 27 - Exemplo de visualização da evapotranspiração de referência na plataforma em 29 de junho de 2025.

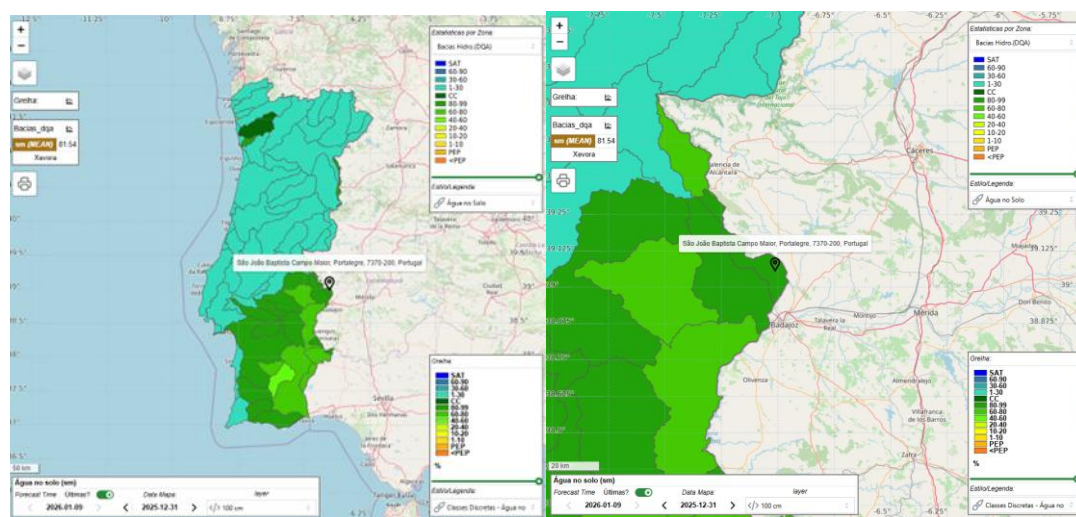


Figura 28 - Exemplo de visualização do das previsões a curto prazo do produto de água no solo do ECMWF válidas para 9 de janeiro de 2025 das previsões efetuadas a 31 de dezembro 2025.

4 Projeções a longo prazo

A monitorização da precipitação acumulada ao longo do ano hidrológico é relevante para compreender a disponibilidade de água, avaliar o risco de seca e apoiar uma gestão eficaz dos recursos hídricos. Dado que o ano hidrológico acompanha o ciclo natural de precipitação, escoamento, recarga do solo e recargar das albufeiras, a precipitação acumulada fornece um indicador mais representativo das condições de disponibilidade hídrica do que observações meteorológicas de curto prazo. A análise destes totais permite identificar défices ou excedentes que influenciam caudais dos rios, níveis aquíferos, produtividade agrícola e saúde dos ecossistemas. Este acompanhamento é igualmente essencial para sistemas de alerta precoce de secas, permitindo antecipar impactos, planear medidas de mitigação e gerir de forma mais eficiente albufeiras e sistemas de rega. Ao integrar a precipitação acumulada nas avaliações hidrológicas, há o potencial de os decisores obterem uma visão mais clara da variabilidade sazonal e interannual, reforçando a monitorização do risco climático e o planeamento dos recursos hídricos.

Dada a relevância da monitorização da precipitação acumulada ao longo do ano hidrológico, projeções da sua evolução têm um elevado potencial no apoio à decisão. Dada a reduzida predictabilidade atmosférica para além de 2 semanas na nossa região (Vitart et al. 2018), a utilidade das previsões sazonais produzidas por modelos acoplados atmosfera-oceano é espectral que seja reduzida. No entanto, considerando o efeito cumulativo da precipitação acumulada ao longo do ano hidrológico, é possível colocar a seguinte questão: **“Sabendo a quantidade de precipitação acumulada até um determinado mês, qual poderá ser a evolução até ao final do ano hidrológico, assumindo um comportamento semelhante ao observado no passado?”** É possível responder a esta questão de uma forma quantitativa recorrendo ao conceito inicialmente proposto para previsões hidrológicas probabilísticas “Ensemble stream flow prediction - ESP”. Desta forma, dadas as condições iniciais, que no nosso caso é a precipitação acumulada observada até um determinado mês, estimamos a precipitação dos próximos meses como um ensemble de todos os anos passados (Dutra et al. 2014b), calculado assim a precipitação acumulada ao final do ano hidrológico.

A Figura 29 ilustra a evolução da precipitação acumulada no ano hidrológico outubro-setembro para todos os anos entre 1979 e 2025, baseada na precipitação da ERA5 (ERA5_TP) na região limítrofe da bacia do Abrilongo. A figura ilustra a distribuição estatística entre os percentis 30 e 70, a mediana e 3 exemplos de anos extremos, 2005 e 2019 (secos) e 2010 (húmido). Os totais acumulados dos anos hidrológicos entre 1979 e 2025 são apresentados na Figura 30.

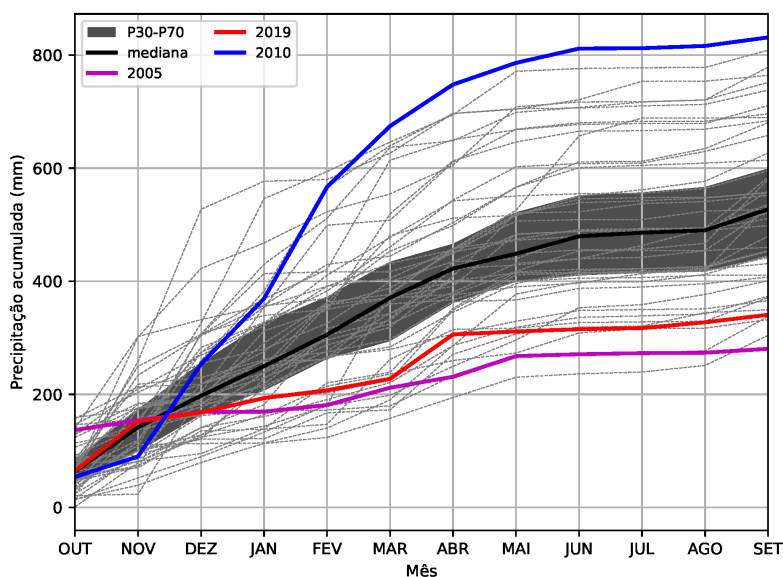


Figura 29 – Ciclo médio anual (1979-2025) da precipitação acumulada (mm) no ano hidrológico (outubro a setembro) derivada a partir dos dados da ERA5_TP na região limítrofe à bacia do Abrilongo (área a amarelo na Figura 3). A curva a preto representa a mediana, a zona a cinzento o intervalo entre o percentil 30 e 70, as curvas a cinzento tracejado todos anos, azul 2010, vermelho 2019 e magenta 2005.

A Figura 31 apresenta um exemplo de visualização das previsões climatológicas para 2005 da precipitação acumulada no ano hidrológico. Cada painel é referente a um mês (novembro a julho), ilustrando as condições climatológicas, as observações ao longo de 2005 e a previsão probabilística da evolução da precipitação acumulada dadas as condições nesse mês, e considerando que os próximos meses são um ensemble de todos os outros anos, excluindo 2005. A previsão probabilística para o total acumulado no ano hidrológico é resumida em dois indicadores: a probabilidade de o ano hidrológico ser seco (abaixo do percentil 30) e a probabilidade de o ano hidrológico ser húmido (acima do percentil 70). Dada esta definição, a probabilidade de ocorrência de um ano seco ou húmido é de 30%. Assim, se a previsão indicar uma probabilidade de o ano hidrológico ser seco superior (ou inferior) a 30%, isso significa que existe uma probabilidade maior (ou menor) do que a climatologia de que o ano venha a ser seco.

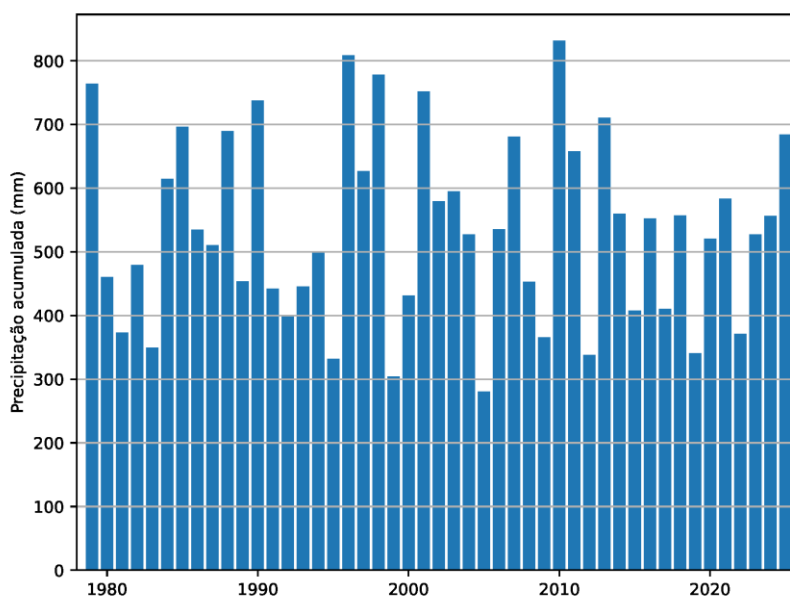


Figura 30 – Variabilidade interannual dos totais da precipitação acumulada no ano hidrológico (outubro a setembro) derivada a partir dos dados da ERA5_TP na região limítrofe à bacia do Abrilongo (área a amarelo na Figura 3). Para clarificação, o ano hidrológico de 2025 está definido entre outubro 2024 e setembro 2025.

Considerando que 2005 foi o ano mais seco no período considerado as previsões, estariam absolutamente corretas se previssem a probabilidade de um ano seco ser de 100% (e, por conseguinte, a probabilidade de um ano húmido de 0%). No caso de 2005, a probabilidade de um ano seco na previsão em novembro de 2004 era de 26%, aumentado para 37% em dezembro, 59% em janeiro de 2005, 83% em fevereiro, 93% em março e 98% em abril. É também de realçar que a probabilidade de o ano ser húmido era de apenas 15% em janeiro (metade do valor expectável) caindo para 2% em janeiro. Desta forma, entre janeiro e fevereiro de 2005 estas previsões apontavam claramente para uma elevada probabilidade de um ano seco como se veio a verificar.

Os resultados nas Figura 32 e Figura 33 ilustram a evolução das previsões probabilísticas para os anos hidrológicos de 2019 e 2010, onde de novo entre janeiro e fevereiro é possível identificar claramente probabilidades de ano hidrológico seco em 2019 e húmido em 2010. Apesar destes exemplos permitirem uma visualização gráfica e quantitativa do potencial da metodologia desenvolvida, é necessário estabelecer uma métrica para medir a qualidade destas previsões. A Figura 34 apresenta as correlações entre as medias do ensemble das previsões para os totais do ano hidrológico e os dados de referência em função do mês em que previsão é realizada. Os resultados vêm quantificar os exemplos anteriores, mostrando que existe uma correlação elevada e significativa a partir de dezembro (0.7), atingindo 0.9 em fevereiro. Estes resultados indicam que na região em causa, dada a precipitação acumulada até fevereiro, as previsões probabilísticas baseadas no que se passou nos anos anteriores tem uma elevada qualidade para indicar se o ano hidrológico será seco ou húmido. Esta informação já tem alguma qualidade a partir de dezembro, pelo que poderá ter um elevado potencial para reforçar a informação disponível para os decisores obterem uma visão mais clara e quantitativa da evolução hidrológica, com implicações na tomada de decisão.

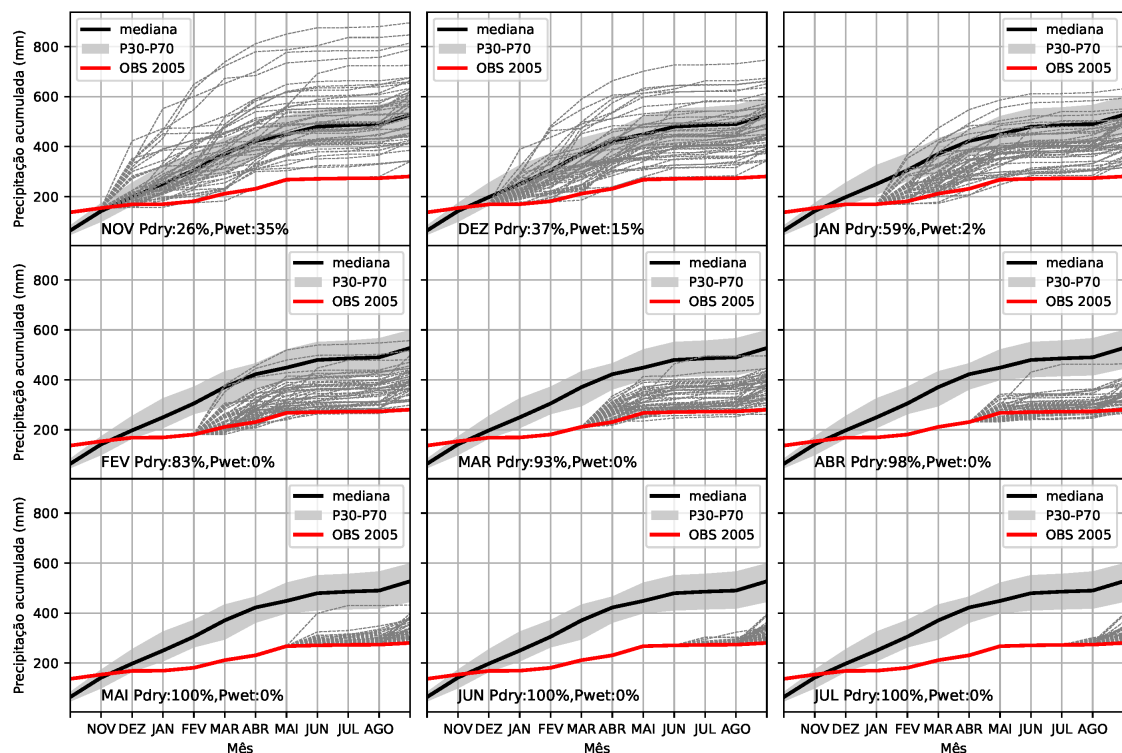


Figura 31 – Exemplo das previsões climatológicas para 2005 da precipitação acumulada (mm) no ano hidrológico (outubro a setembro) derivada a partir dos dados da ERA5_TP na região limítrofe à bacia do Abrilongo (área a amarelo na Figura 3). Em todos os painéis, a curva a preto representa a mediana e a zona a cinzento o intervalo entre o percentil 30 e 70 (1979-2025). A curva a vermelho os valores em 2005 e as linhas a cinzento tracejado as previsões climatológicas realizadas em cada mês desde novembro (topo esquerdo) até julho (fundo direita). Em cada painel Pdry indica a probabilidade dada pela previsão do ano hidrológico ser seco (abaixo do percentil 30) e Pwet a probabilidade dada pela previsão do ano hidrológico ser húmido (acima do percentil 70).

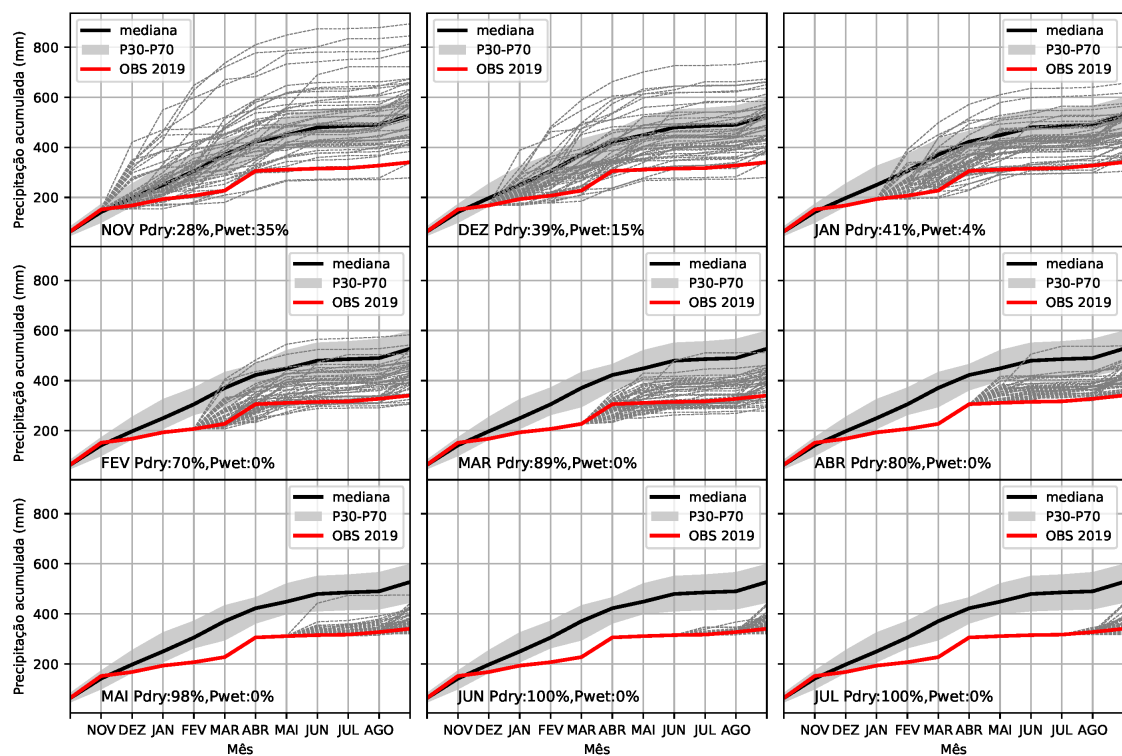


Figura 32 – Como a Figura 31 mas para o ano hidrológico de 2019.

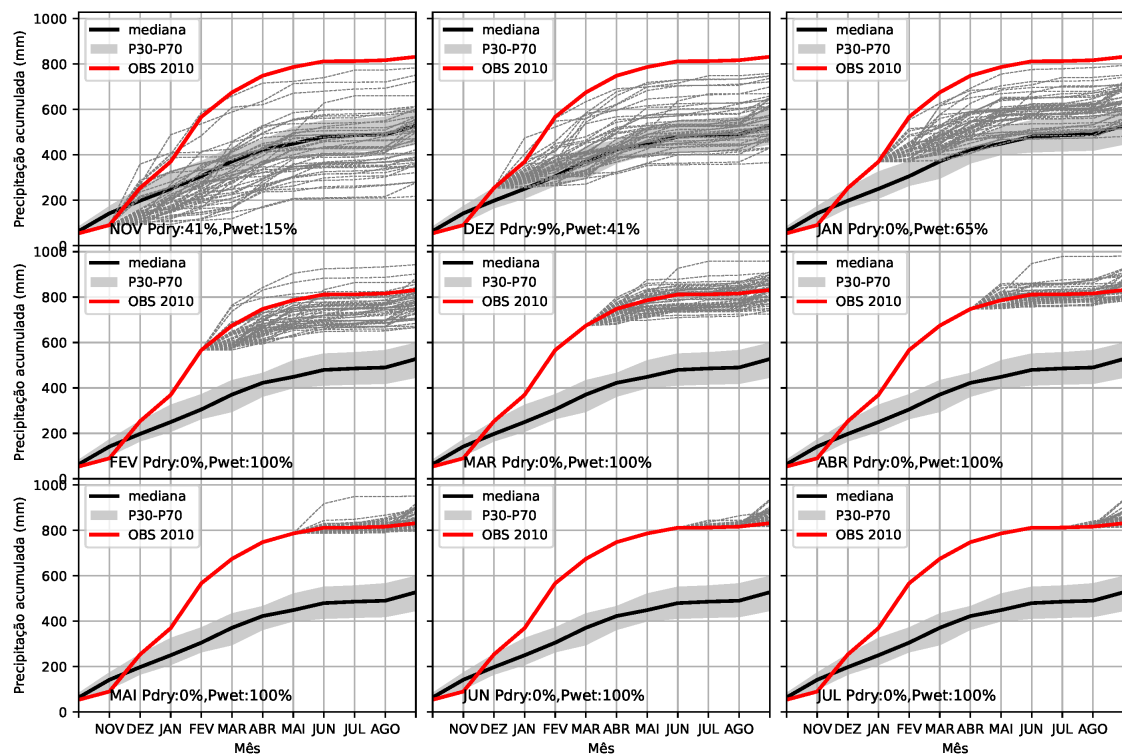


Figura 33 - Como a Figura 31 mas para o ano hidrológico de 2010

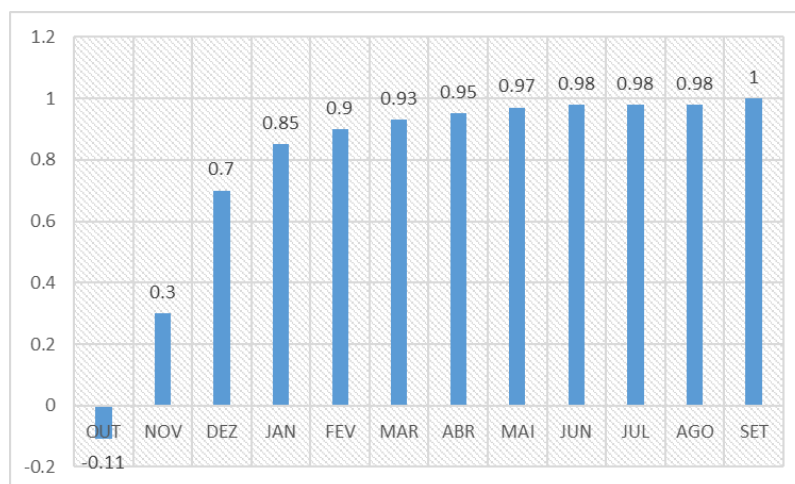


Figura 34 – Correlações entre a média do ensemble de previsões climatológicas e os dados de referência para o total acumulado do ano hidrológico em função do mês em que a previsão é realizada. Baseado nos dados da ERA5_TP TP na região limítrofe à bacia do Abrisongo (área a amarelo na Figura 3) para o período 1979-2025. Os valores das correlações em outubro e novembro não são estatisticamente significativos a 99%.

5 Conclusões

A análise dos dados das estações meteorológicas em Portalegre e Elvas, que estão na área limítrofe da região de interesse, mostram uma tendência significativa do aumento da temperatura do ar nas últimas décadas. Este aquecimento, é particularmente pronunciado na estação de Elvas, com uma tendência positiva de 0.22° /década, sendo consistente com as tendências observadas no território de Portugal continental. É de realçar, que no caso de Portalegre, a tendência é mais evidente na temperatura mínima diária, enquanto no caso de Elvas é nas temperaturas máximas diárias. Estes resultados demonstram de uma forma robusta, o sinal do aquecimento global na região nas últimas décadas.

Em relação à precipitação, os resultados destacam uma redução generalizada da precipitação anual em Portugal continental, com uma diminuição média de aproximadamente -25 mm por década. Os últimos 20 anos têm sido particularmente secos. Contudo, esta tendência decrescente não é uniforme ao longo do ano: embora a maioria das estações apresente uma redução da precipitação, o outono revela um aumento, especialmente em Portalegre, onde esta subida é estatisticamente significativa. Em contraste, Elvas registou uma redução anual expressiva de -23 mm por década. Estes padrões evidenciam a crescente variabilidade da precipitação, com importantes implicações para a gestão dos recursos hídricos e o planeamento agrícola.

A análise dos dados de cobertura do solo (C3S_LCC) evidencia que a bacia do Abrilongo e a sua área limítrofe mantiveram uma estrutura de ocupação do solo muito estável ao longo das últimas três décadas, com predominância clara de terrenos agrícolas e uma presença relevante de áreas naturais, enquanto as zonas urbanas e com cobertura de água permanecem residuais. A importância ecológica e socioeconómica do rio Xévoira e da Barragem do Abrilongo reforça o papel estratégico desta região na gestão hídrica transfronteiriça, mas os dados do produto C3S_LCC mostram alterações reduzidas entre 1992 e 2022, compatíveis com as incertezas inerentes à classificação por deteção remota. Assim, apesar de pequenas variações pontuais — como ligeiras reduções de áreas agrícolas compensadas por aumentos marginais de áreas urbanas ou naturais — a análise global indica ausência de mudanças significativas na cobertura do solo, embora não permita inferir alterações mais detalhadas ao nível do uso do solo ou dos sistemas agrícolas.

Uma das principais conclusões deste trabalho é a importância de integrar diversas fontes de dados — estações meteorológicas, produtos de satélite e reanálises — para obter uma compreensão abrangente das características hidrometeorológicas da região. A análise conjunta dos dados de satélite, reanálise e observações in situ demonstra que estes produtos, quando integrados, fornecem uma caracterização temporal robusta e coerente das condições de superfície na região do Abrilongo, permitindo ultrapassar as limitações da escassa rede de estações meteorológicas locais. Os ciclos médios anuais revelam uma forte consistência biogeofísica entre variáveis atmosféricas e de superfície, refletindo o regime climático mediterrâneo e a forte dependência da vegetação e da evaporação da disponibilidade de água no solo. A avaliação das anomalias normalizadas e das correlações entre os vários produtos evidencia relações físicas bem definidas, como a ligação entre água no solo e índice de seca SPI, a resposta da vegetação à água no solo na zona das raízes e a anti correlação entre evapotranspiração de referência e precipitação. Estes resultados mostram que os produtos selecionados captam de forma consistente a variabilidade sazonal, interannual e os principais episódios de seca entre 2004 e 2025, sublinhando o seu elevado potencial para aplicações

operacionais de monitorização e alerta precoce. Esta abordagem integrada é essencial para monitorizar secas, avaliar a disponibilidade de água e apoiar sistemas de alerta precoce.

Do ponto de vista agrícola, o levantamento efetuado no concelho de Campo Maior indica uma predominância de terra arável, culturas permanentes e pastagens, refletindo uma paisagem produtiva diversificada e com grande relevância para a pecuária e para culturas como os cereais, o milho e o olival, sendo estes dados qualitativamente consistentes com o levantamento da cobertura do solo efetuado a partir de dados de satélite. A área específica da bacia hidrográfica do rio Xévor, com cerca de 1 500 hectares, integra solos variados — desde aluviosolos a solos mediterrânicos pardos e vermelhos — e classes de capacidade de uso que evidenciam diferenças de fertilidade e suscetibilidade à erosão. As culturas atualmente instaladas incluem diferentes tipos de olival, prados permanentes, hortícolas e cereais, com produtividades distintas. Com a entrada em funcionamento da rede de rega do aproveitamento hidroagrícola do Xévor, a distribuição das culturas torna-se mais intensiva e diversificada, destacando-se o aumento das áreas de milho, tomate e olival. Este investimento em regadio representa um ponto de viragem para a região, com potencial para aumentar a produtividade, reduzir o abandono agrícola, atrair novos agricultores e promover práticas mais eficientes e sustentáveis, reforçando a resiliência e a vitalidade económica do setor agrícola local.

A seca hidrológica resulta do prolongamento dos efeitos da seca meteorológica, devido aos atrasos naturais do ciclo hidrológico ligados à infiltração, ao armazenamento e à evapotranspiração, que determinam a quantidade de água disponível nos solos, aquíferos e albufeiras. As variáveis de precipitação, escoamento e evapotranspiração, juntamente com o estado dos volumes armazenados, são fundamentais para caracterizar estes fenómenos. A rede hidrometeorológica existente — incluindo estações do IPMA, postos udométricos da APA— fornece dados essenciais para compreender o comportamento hidrológico da bacia do Abrilongo, sobretudo devido à ausência de medições diretas de caudal em território português. Os volumes armazenados na albufeira do Abrilongo permitem avaliar a severidade, duração e frequência das secas através de limiares de aviso, incluindo a resiliência do sistema. A gestão da escassez depende também do conhecimento dos consumos agrícolas, que, na falta de dados locais, podem ser aproximados pelos consumos da albufeira do Caia, cuja evolução apresenta padrões semelhantes. Em conjunto, estes elementos permitem caracterizar o regime hidrológico, avaliar o impacto das secas e apoiar decisões de gestão mais eficientes.

Este relatório também reflete na importância de uma rede hidrometeorológica de superfície robusta e bem distribuída, para garantir a qualidade, calibração e validação dos produtos de satélite e reanálise utilizados na monitorização do clima e dos recursos hídricos. Apesar dos avanços tecnológicos, as observações in situ continuam a ser a base de qualquer sistema de apoio à decisão, permitindo captar processos locais, eventos extremos e respostas hidrológicas específicas que os modelos não conseguem representar plenamente. No caso da de estudo, foram identificadas lacunas relevantes, nomeadamente a necessidade de reativar a estação de Campo Maior, instalar uma nova estação na zona de Arronches e reforçar a monitorização da água no solo e o caudal afluente à barragem do Abrilongo. Estas medidas têm o potencial de melhorar a capacidade de vigilância hidrometeorológica. Complementarmente, uma plataforma de visualização do IPMA, foi estendida no âmbito deste projeto com novas funcionalidades e parâmetros como a evapotranspiração de referência e previsões de humidade do solo. Constitui uma ferramenta essencial para o acompanhamento em tempo real das condições hidrometeorológicas, reforçando o potencial de integração futura de novos

produtos de satélite e consolidando a infraestrutura necessária para sistemas de alerta precoce e gestão operacional.

Por fim, é demonstrado que a precipitação acumulada ao longo do ano hidrológico é um indicador fundamental para avaliar a disponibilidade de água, antecipar secas e apoiar a gestão dos recursos hídricos, oferecendo uma leitura mais representativa das condições hidrológicas do que observações de curto prazo. A aplicação do método de previsão por ensemble climatológico, que utiliza a precipitação acumulada até um dado mês como condição inicial e projeta a evolução futura com base nos anos passados, revela um elevado potencial para gerar previsões probabilísticas úteis, mesmo num contexto de reduzida predictabilidade atmosférica sazonal. Os resultados mostram que, a partir de dezembro — e sobretudo entre janeiro e fevereiro — as previsões apresentam correlações elevadas com os totais observados no final do ano hidrológico, permitindo identificar com elevada confiança anos secos (como 2005 e 2019) ou húmidos (como 2010). Assim, esta abordagem fornece uma ferramenta quantitativa robusta para reforçar sistemas de alerta precoce e apoiar decisões estratégicas na gestão de água, planeamento agrícola e mitigação de riscos climáticos.

6 Bibliografia

ALMEIDA, A.S.; JÉZÉQUEL, S.; COSTA, A.R.; PINHEIRO, N.; GOMES, C.; COUTINHO, J.; BAGULHO, A.S.; COSTA, A.; COCO, J.; ALBINO, B.; MAÇÃS, B (2018) - Ideotipo Sul, um Programa de investigação que visa criar variedades de trigo adaptadas ao clima: mais tolerantes ao stress hídrico e ao calor. *Grandes Culturas, Agrotec* 11, 5-7

ANDREU, J.; PÉREZ, M.A.; FERRER, J.; VILLALOBOS, A. e PAREDES, J. (2007): Drought Management Decision Support System by means of Risk Analysis Models em G. Rossi et al. (eds.) (2007), *Methods and Tools for Drought Analysis and Management*, Springer, pp 195–216.

Correia, F.; Santos, M.; Rodrigues, R. (1987): Engineering Risk in Regional Drought Studies, in "Engineering Reliability and Risk in Water Resources", *Nato ASI Series, Series E, Applied Science* (124), pp. 61 - 87. DOI: 10.1007/978-94-009-3577-8_4

Correia, F.; Santos, M.; Rodrigues, R. (1991): *Reliability in Regional Drought Studies*, in "Risk & Reliability in Water Resources & Environmental Engineering", pp 43-62 - *Nato ASI Series, Porto-Carras*, DOI: 10.1007/978-3-642-76971-9_3

COSTA, R.; GOMES, C.; PINHEIRO, N.; ALMEIDA, A.S.; BAGULHO, A.S.; COUTINHO, J. COCO, J.; COSTA, A.; MOREIRA, J.; MAÇÃS, B.; JÉZÉQUEL, S. (2019) - Adaptabilidade de trigo em contexto de alterações climáticas. *Vida Rural*, Nº 1843, Ano 66, pp, 40-41

Dutra, E., Wetterhall, F., Di Giuseppe, F., Naumann, G., Barbosa, P., Vogt, J., Pozzi, W., and Pappenberger, F. (2014a): Global meteorological drought – Part 1: Probabilistic monitoring, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 2657–2667, <https://doi.org/10.5194/hess-18-2657-2014>.

Dutra, E., Pozzi, W., Wetterhall, F., Di Giuseppe, F., Magnusson, L., Naumann, G., Barbosa, P., Vogt, J., and Pappenberger, F. (2014b): Global meteorological drought – Part 2: Seasonal forecasts, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 2669–2678, <https://doi.org/10.5194/hess-18-2669-2014>.

Figueiredo, T.; Fonseca, F.; Nunes, L. (2015) - Os solos e a suscetibilidade à desertificação no NE de Portugal, in "Proteção do Solo e Combate à Desertificação: oportunidade para as regiões transfronteiriças, pp. 87-100, Instituto Politécnico de Bragança.

HEIM Jr, R. (2002) - A review of Twentieth-Century Drought Indices used in the United States, *Bulletin of the American Meteorological Society*, EUA, pp. 1149-1165

PIMENTA, M.; SANTOS, M. J.; RODRIGUES, R. (1997) — A Proposal of Indices to Identify Desertification Prone Areas. *Jornadas de Reflexión sobre el Anexo IV de la Aplicación para el Mediterráneo Norte – Convenio de Lucha contra la Desertificación, Murcia (Spain)*, 22-23 May, 1997.

PIMENTA, M.; SANTOS, M. J.; RODRIGUES, R. (1999) — A Suscetibilidade à Desertificação – Definição a partir de índices, in "Revista Florestal", Vol XI, Nº 1, pp. 27-29

Rodrigues, C. (2009) — Calculation of evaporation from highly regulating-capacity reservoirs in southern Portugal, PhD Thesis, Évora University, Évora, Portugal. Available at:

<http://hdl.handle.net/10174/11108>

Rodrigues, R. (2023) — Bridging the Water Gap between Neighboring Countries through Hydrometeorological Data Monitoring and Sharing, in *Advances on Testing and Experimentation in Civil Engineering*, C. Chastre et al. (eds.), Springer Tracts in Civil Engineering, p. 333-357, https://doi.org/10.1007/978-3-031-05875-2_14

STEINMANN, A.; HAYES, M e CAVALCANTI, L. (2005) - Drought Indicators and Triggers, em Wilhite, D. (ed) *Drought and Water Crises: Science, Technology and Management Issues*, CRC press - Taylor & Francis group, ISBN: 0-847-2771-1, 2005, pp.71-92

TSAKIRIS, G., LOUKAS, A., PANGALOU, D., VANGELIS, H., TIGKAS, D., ROSSI, G., CANCELLIERE, A. (2007) - Chapter 7 Drought Characterization, em Iglesias, A., Cancelliere, A., Gabiña, D., López-Francos, A., Moneo, M., Rossi, G., (eds) *Drought Management Guidelines*, European Commission – EuropeAid Co-operation Office, Euro-Mediterranean Regional Programme for Local Water Management (MEDA Water) e Mediterranean Drought Preparedness and Mitigation Planning (MEDROPLAN)

Van Lanen, H.A.J., Vogt, J.V., Andreu, J., Carrão, H., De Stefano, L., Dutra, E., Feyen, L., Forzieri, G., Hayes, M., Iglesias, A., Lavaysse, C., Naumann, G., Pulwarty, R., Spinoni, J., Stahl, K., Stefanski, R., Stilianakis, N., Svoboda, M., Tallaksen, L.M., 2017. Climatological risk: droughts. In: Poljanšek, K., Marín Ferrer, M., De Groeve, T., Clark, I. (Eds.). *Science for disaster risk management 2017: knowing better and losing less*. EUR 28034 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, Chapter 3.9, doi: 10.2788/688605.

Vitart, F., Cunningham, C., DeFlorio, M., Dutra, E., Ferranti, L., Golding, B., ... Tippett, M. K. (2018) Chapter 17 - Sub-seasonal to Seasonal Prediction of Weather Extremes. In A. W. Robertson & F. Vitart (Eds.), *Sub-Seasonal to Seasonal Prediction*, pp. 365–386. Elsevier. doi:10.1016/B978-0-12-811714-9.00017-6