

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



**Análise de padrões de circulação atmosférica e a sua relação  
com rios atmosféricos em Portugal**

Mariana Gamito Rodrigues

**Mestrado em Ciências Geofísicas**  
Especialização em Meteorologia e Oceanografia

Dissertação orientada por:  
Doutora Ana Russo  
Doutor Alexandre Ramos

2023

# Agradecimentos

Gostaria de agradecer aos meus orientadores, a doutora Ana Russo e o doutor Alexandre Ramos pela orientação, ajuda e paciência.

Queria também agradecer à minha família, sobretudo à minha mãe, Dilar Gamito, à minha tia Paula David, ao meu tio Mário David, ao meu pai, José António Rodrigues, ao meu irmão, Gaspar Gamito, e aos meus primos Lira David e Kiko David, pelo apoio e por me incentivarem a trabalhar na dissertação.

## Resumo

Os rios atmosféricos são estruturas longas e relativamente estreitas que transportam grandes quantidades de vapor de água e que estão associadas a precipitação, por vezes extrema, que tanto pode ter efeitos catastróficos como benéficos. Os rios atmosféricos afetam mais frequentemente países com costa ocidental, como é o caso de Portugal, embora possam ter influência em regiões mais interiores.

Nos últimos anos, tem havido um incremento substancial nos algoritmos de deteção de rios atmosféricos.

Este trabalho teve o objetivo de estudar os rios atmosféricos que afetam Portugal, tendo em conta uma abordagem sinóptica que tem por base tipos de tempo. Os tipos de tempo são geralmente obtidos a partir da análise de dados de pressão, sendo os dados agrupados num pequeno número de categorias. Isto permite integrar diferentes parâmetros meteorológicos em apenas um índice.

Para isso, foram calculadas as médias de algumas variáveis meteorológicas nos dias a que estão associados os diferentes tipos de tempo puros, sendo dada especial importância ao transporte integrado de vapor de água.

Os resultados obtidos mostram que o tipo de tempo anticiclónico é o mais frequente em Portugal, o que está de acordo com vários artigos existentes. Os tipos de tempo de nordeste e norte também são relevantes, sobretudo no verão.

Considerando principalmente o transporte de vapor de água mas também a precipitação e a humidade relativa, os tipos de tempo de sudoeste e oeste são os mais associados a rios atmosféricos em Portugal.

### **Palavras-Chave:**

Rios atmosféricos, tipos de tempo, transporte integrado de vapor de água.

# Abstract

Atmospheric rivers are long and relatively narrow structures that carry large amounts of water vapour and are associated with precipitation, sometimes extreme, which can have both catastrophic and beneficial effects. Atmospheric rivers more frequently affect countries with a western coast, such as Portugal, although they may have influence in more inland regions.

In recent years there has been a substantial increase in algorithms for detecting atmospheric rivers.

This work aimed to study atmospheric rivers that affect Portugal, taking into account a synoptic approach based on weather types. Weather types are usually derived from pressure data analysis, with the data being grouped into a small number of categories. This makes it possible to integrate different meteorological parameters into just one index.

To achieve this objective, the averages of several meteorological variables were calculated on the days to which the different pure weather types are associated, with special importance being given to integrated water vapour transport.

The results show that the anticyclonic weather type is the most frequent in Portugal, which is in agreement with several existing articles. Northeast and north weather types are also relevant, especially in summer.

Considering water vapour transport, precipitation and relative humidity, southwest and west weather types are the most associated with atmospheric rivers in Portugal.

**Keywords:**

Atmospheric rivers, weather types, integrated water vapour transport.

# Índice

Agradecimentos.....	II
Resumo.....	III
Abstract .....	IV
Índice.....	V
Lista de Figuras.....	VI
Lista de Tabelas.....	VII
1. Introdução.....	1
2. Dados e metodologia.....	3
2.1. Tipos de tempo.....	3
2.2. Rios atmosféricos .....	4
2.3. Compósitos.....	4
3. Resultados e Discussão .....	5
3.1. Análise de padrões de circulação mais frequentes .....	5
3.2. Relação entre os padrões de circulação e o transporte integrado do vapor de água.....	17
4. Discussão e conclusões .....	22
5. Referências .....	24

# Lista de Figuras

Figura 1.1: Exemplo de rio atmosférico que atravessa o Atlântico Norte e chega ao arquipélago da Madeira extraído de Pires (2020). .....	1
Figura 2.1: Pontos onde os valores da pressão média ao nível do mar foram usados para o cálculo dos tipos de tempo. Extraído de Trigo e DaCamara (2000). .....	4
Figura 3.1: Frequências relativas dos dez tipos de tempo puros entre 1979 e 2019. ....	5
Figura 3.2: Evolução das frequências relativas de três grupos de tipos de tempo entre 1979 e 2019. Os tipos de tempo húmidos (C, SW, W e NW) estão representados a azul, a verde estão representados os tipos de tempo E, SE e S e a vermelho os tipos de tempo secos (A, NE e N). ....	7
Figura 3.3: Anomalia da temperatura a 2 m (°C) e pressão ao nível médio do mar (hPa) média para os dias a que está associado cada um dos tipos de tempo puros (NE, E, SE, S, SW, W, NW, N, C, A). ....	8
Figura 3.4: Anomalia da humidade relativa a 1000 hPa (%) e pressão ao nível médio do mar (hPa) média para os dias a que está associado cada um dos tipos de tempo puros (NE, E, SE, S, SW, W, NW, N, C, A). ....	11
Figura 3.5: Vento médio a 1000 hPa e anomalia de precipitação diária (mm) para os dias a que está associado cada um dos tipos de tempo puros (NE, E, SE, S, SW, W, NW, N, C, A). ....	14
Figura 3.6: Anomalia do transporte integrado de vapor de água ( $\text{kg m}^{-1}\text{s}^{-1}$ ) e campo do transporte integrado de vapor de água médio para os dias a que está associado cada um dos tipos de tempo puros (NE, E, SE, S, SW, W, NW, N, C, A). ....	18
Figura 3.7: Anomalia do transporte integrado de vapor de água ( $\text{kg m}^{-1}\text{s}^{-1}$ ) e campo do transporte integrado de vapor de água médio para os dias a que estão associados tipos de tempo pertencentes a cada um dos grupos: húmidos (SW, W, NW e C), este (E, SE e S) e secos (NE, N e A). ....	21

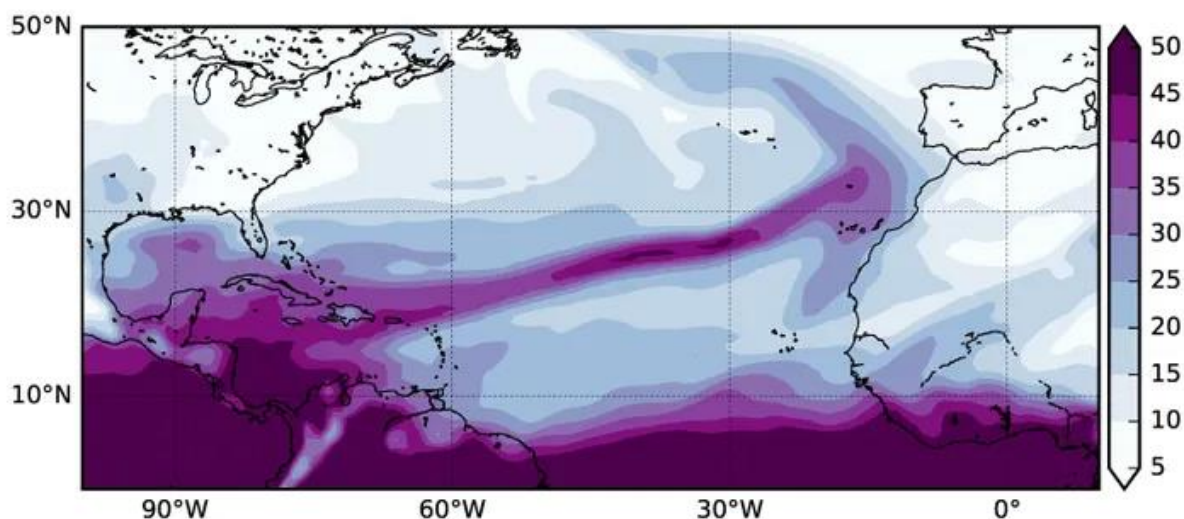
# Lista de Tabelas

Tabela 3.1: Frequências relativas dos dez tipos de tempo puros para cada mês considerando o período entre 1979 e 2019. .... 6

# 1. Introdução

Rios atmosféricos são estruturas relativamente estreitas (400 a 600 km) e longas (3700 km em média) que transportam grandes quantidades de vapor de água (Ramos et al., 2015b; Eiras-Barca et al., 2018). Os rios atmosféricos estão, por vezes, associados a eventos de precipitação extrema que causam grandes impactos socioeconómicos e até vítimas mortais. É o caso do episódio de 5 de novembro de 1997, que provocou 11 mortes em Portugal e 21 em Espanha (Ramos et al., 2015b). Foi também um rio atmosférico que causou as cheias de 20 de fevereiro de 2010 na Madeira, que levaram à morte de 45 pessoas. De acordo com Ramos et al. (2015b), a associação entre dias de precipitação extrema na Península Ibérica e rios atmosféricos é maior nos casos mais extremos de precipitação.

A figura 1.1, retirada de Pires (2020), mostra o vapor de água integrado na coluna total da atmosfera (mm). Nela é visível um rio atmosférico que atinge a Madeira, evidenciando a abrangência deste tipo de fenómeno.



**Fig. 1.1:** Exemplo de rio atmosférico que atravessa o Atlântico Norte e chega ao arquipélago da Madeira extraído de Pires (2020).

Tal como os rios que correm à superfície da terra, os rios atmosféricos também transportam água, mas neste caso sob a forma de vapor e, tal como os outros rios, são bastante mais compridos do que largos. Um rio atmosférico transporta uma quantidade de vapor de água semelhante ao fluxo de água dos maiores rios, podendo ser superior ao fluxo médio de água do rio Amazonas, o que levou a que fossem chamados de rios (Pires, 2020; Gimeno et al., 2014).

Habitualmente, os rios atmosféricos começam em regiões tropicais, onde as temperaturas mais elevadas provocam a evaporação da água do oceano e a sua subida na atmosfera. A circulação atmosférica transporta este vapor de água para outras regiões. Quando o rio atmosférico chega a terra, é forçado a subir, a água condensa e ocorre precipitação (Ralph et al., 2018; Weill, 2021). Os rios atmosféricos afetam mais frequentemente países com costa ocidental, embora possam ter influência em regiões mais interiores. Para além da Península Ibérica, também são frequentes no Reino Unido, na Noruega, em França, na costa oeste dos Estados Unidos da América, no Canadá, no Chile, no sudeste da Ásia e na Nova Zelândia (Pires, 2020; Weill, 2021).

Quando ocorre a passagem de um rio atmosférico, é esperada a ocorrência de muita precipitação (chuva ou neve), que pode durar mais do que um dia e provocar desastres, por exemplo, inundações e



deslizamentos de terras (Ralph et al., 2018; Gimeno et al., 2014; Payne et al., 2020). Apesar de poderem ocorrer em qualquer altura do ano, os rios atmosféricos são mais frequentes no inverno (Gimeno et al., 2014).

Existe uma escala que categoriza as ocorrências de rios atmosféricos considerando o transporte integrado instantâneo máximo de vapor de água e a duração. De acordo com essa escala, os rios atmosféricos são classificados em cinco categorias: fraco (principalmente benéfico), moderado (principalmente benéfico, também perigoso), forte (equilíbrio entre perigoso e benéfico), extremo (principalmente perigoso, também benéfico) e excepcional (principalmente perigoso) (Ralph et al., 2019; Eiras-Barca et al., 2021).

Como as categorias anteriores transmitem, os rios atmosféricos tanto podem ser benéficos como perigosos. Os rios atmosféricos dão um contributo significativo para os recursos hídricos (Payne et al., 2020). São importantes pelo seu papel no ciclo global da água contribuindo para o reabastecimento e a redistribuição da água nos rios terrestres e nos lençóis freáticos, o teor de humidade dos solos e a espessura das camadas de neve em regiões montanhosas ou polares (Pires, 2020). A ausência de rios atmosféricos em locais onde são frequentes pode levar à ocorrência de secas (Payne et al., 2020).

No futuro, devido às alterações climáticas, também os rios atmosféricos deverão sofrer alterações. Num clima mais quente, com as temperaturas mais elevadas, haverá uma maior quantidade de vapor de água na atmosfera, o que provavelmente levará a um aumento da intensidade dos rios atmosféricos (Gimeno et al., 2014). Também é possível que exista um aumento da sua frequência (Gimeno et al., 2014; Pires, 2020).

Devido ao risco de ocorrência de eventos de precipitação extrema e também por causa da sua importância no abastecimento de água, é essencial que os rios atmosféricos continuem a ser estudados, sobretudo face às alterações climáticas.

Nos últimos anos tem havido um incremento considerável nos algoritmos de deteção de rios atmosféricos, com contribuições relevantes feitas por diversos autores (por exemplo, Lavers et al., 2012; Guan e Waliser, 2015; Eiras-Barca et al., 2016, 2018; Brands et al., 2016). Apesar de serem diferentes ao nível do detalhe, os algoritmos dependem em geral da análise da coluna integrada de vapor de água e do transporte integrado de vapor de água, sendo caracterizados por valores muito elevados destas variáveis (Eiras-Barca et al., 2018).

Uma forma de integrar diferentes parâmetros meteorológicos, como precipitação, direção e intensidade do vento e temperatura, num único índice é através da classificação de situações sinóticas (tipos meteorológicos de tempo). Os tipos de tempo são resultado de uma classificação dos padrões diários de pressão ao nível do mar (Eiras-Barca et al., 2018). São usados dados da pressão ao nível do mar ou da altura do geopotencial para atribuir a cada dia a classificação de um tipo de tempo dentro de um número limitado de categorias (Eiras-Barca et al., 2018; Ramos et al., 2015a).

Os tipos de tempo foram usados em diferentes estudos em Portugal e na península Ibérica. Foram utilizados, por exemplo, para estudar a ocorrência de relâmpagos (Ramos et al., 2011), secas (Russo et al., 2015), as concentrações de poluentes atmosféricos (Russo et al., 2014) e o regime de precipitação (Trigo e DaCamara, 2000).

Neste trabalho, para estudar os rios atmosféricos, são analisados padrões de circulação atmosférica utilizando a classificação de tipos de tempo. Serão calculadas médias de algumas variáveis meteorológicas nos dias a que estão associados os diferentes tipos de tempo por forma a perceber se existe uma associação preferencial dos rios atmosféricos a um certo tipo de tempo.

## 2. Dados e metodologia

### 2.1. Tipos de tempo

As classificações dos sistemas de circulação atmosférica têm uma longa história na meteorologia e na climatologia (Huth et al., 2008, 2010; Philipp et al., 2010; Ramos et al., 2015a). As primeiras classificações eram manuais em regiões específicas do planeta. Eram chamadas de “catálogos de tipos sinópticos” e usadas sobretudo na previsão do tempo e em estudos de variabilidade climática. Nas últimas décadas, o avanço da computação e a maior disponibilidade de dados permitiram o desenvolvimento de métodos mais rápidos e objetivos que processam grandes quantidades de dados (Ramos et al., 2015a). Existem classificações de tipos de tempo objetivas e subjetivas (Trigo e DaCamara, 2000). Os métodos baseados em índices derivados do campo da pressão atmosférica são do primeiro tipo e foram inicialmente desenvolvidos para reproduzir automaticamente a classificação de tipos de tempo de Lamb, um método subjetivo (Trigo e DaCamara, 2000). Apesar das vantagens matemáticas das classificações automáticas da circulação atmosférica, por vezes não é possível atribuir um significado físico explícito numa base sinóptica aos padrões de circulação obtidos. Particularmente, os resultados de análise de componente principal podem variar significativamente com a dimensão do conjunto de dados e com a dimensão da janela usada (Trigo e DaCamara, 2000). Os algoritmos de classificação automática de padrões de circulação atmosférica permitiram a exploração da variabilidade da circulação atmosférica sobre a Europa nos últimos séculos e têm tido uma enorme utilidade na compreensão dos processos atmosféricos à escala sinóptica (Ramos et al., 2015a).

Os tipos de tempo são calculados a partir da análise de dados da pressão ao nível do mar ou da altura do geopotencial em diferentes níveis, sendo os dados agrupados num pequeno número de categorias (Ramos et al., 2015a).

A classificação usada neste trabalho inclui os tipos de tempo puros anticiclónico, ciclónico, NE, E, SE, S, SW, W, NW e N e os tipos de tempo híbridos entre os tipos de tempo ciclónico ou anticiclónico e um dos outros tipos de tempo puros.

Neste trabalho foi utilizada uma base de dados em que a cada dia, entre 1 de janeiro de 1979 e 31 de dezembro de 2019, é associado um tipo de tempo em Portugal, calculado a partir da pressão ao nível médio do mar de cada dia da reanálise do ERA5 (Hersbach et al., 2020).

Esta base de dados foi elaborada previamente como descrito em Trigo e DaCamara (2000). Foi usada a pressão ao nível médio do mar nos 16 pontos representados na figura 2.1. Para calcular os tipos de tempo foram usados os seguintes índices: fluxo de sul (SF), fluxo de oeste (WF), fluxo total (F), vorticidade de cisalhamento de sul (ZS), vorticidade de cisalhamento de oeste (ZW) e vorticidade de cisalhamento total (Z). Os índices foram calculados através das equações 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 e 2.6.

$$SF = 1,305[0,25(p_5 + 2p_9 + p_{13}) - 0,25(p_4 + 2p_8 + p_{12})] \quad (2.1)$$

$$WF = [0,5(p_{12} + p_{13}) - 0,5(p_4 + p_5)] \quad (2.2)$$

$$ZS = 0,85[0,25(p_6 + 2p_{10} + p_{14}) - 0,25(p_5 + 2p_9 + p_{13}) - 0,25(p_4 + 2p_8 + p_{12}) + 0,25(p_3 + 2p_7 + p_{11})] \quad (2.3)$$

$$ZW = 1,12[0,5(p_{15} + p_{16}) - 0,5(p_8 + p_9)] - 0,91[0,5(p_8 + p_9) - 0,5(p_1 + p_2)] \quad (2.4)$$

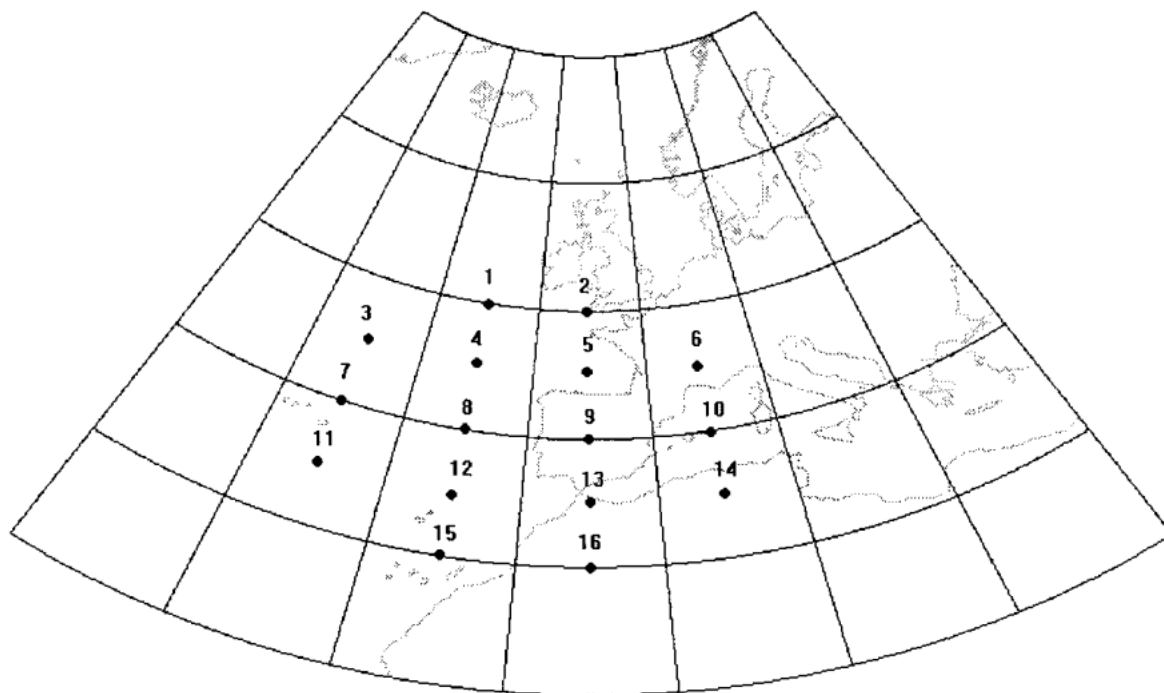
$$F = (SF^2 + WF^2)^{1/2} \quad (2.5)$$

$$Z = ZS + ZW \quad (2.6)$$

Depois de calculados os índices, foi usado o mesmo conjunto de regras de Trigo e DaCamara (2000):

1. A direção do fluxo foi dada por  $\tan^{-1}(WF/SF)$ , sendo adicionado  $180^\circ$  quando WF era positivo;

2. Quando  $|Z| < F$ , o fluxo era essencialmente reto e era considerado de um tipo direcional puro (NE, E, SE, S, SW, W, NW ou N);
3. Quando  $|Z| > 2F$ , era considerado do tipo puro ciclónico, quando  $Z > 0$ , ou do tipo puro anticiclónico, quando  $Z < 0$ ;
4. Quando  $F < |Z| < 2F$ , o fluxo era considerado de um tipo de tempo híbrido, sendo caracterizado por uma direção e uma circulação.



**Fig. 2.1:** Pontos onde os valores da pressão média ao nível do mar foram usados para o cálculo dos tipos de tempo. Extraído de Trigo e DaCamara (2000).

## 2.2. Rios atmosféricos

Para estudar os rios atmosféricos, foram extraídos dados de ERA5 do integral vertical do fluxo de vapor de água para este e do integral vertical do fluxo de vapor de água para norte para ser calculado o transporte integrado de vapor de água. Tal como para as outras variáveis foram usados dados da região compreendida entre as latitudes de 20° N e 80° N e as longitudes de 40° W e 40° E. Foram extraídos os valores correspondentes às 0, 6, 12 e 18 horas UTC de todos os dias entre 1 de janeiro de 1979 e 31 de dezembro de 2019.

## 2.3. Compósitos

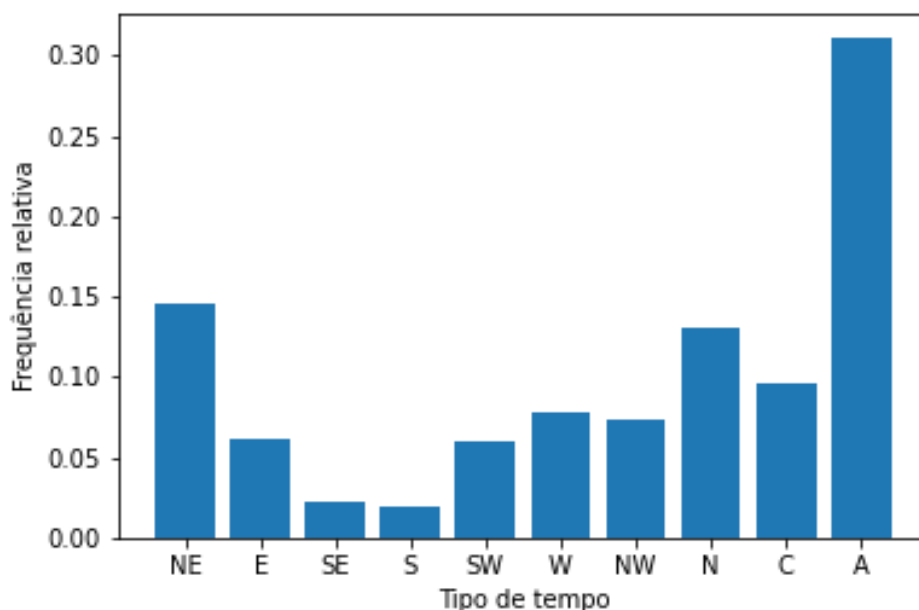
Foram extraídos dados de ERA5 da pressão ao nível médio do mar, da temperatura a 2 metros, da humidade relativa a 1000 hPa, das componentes U e V do vento a 1000 hPa e da precipitação total correspondentes ao período entre 1 de janeiro de 1979 e 31 de dezembro de 2019, para a região compreendida entre as latitudes de 20° N e 80° N e as longitudes de 40° W e 40° E. Utilizando os dados em que é associado um tipo de tempo a cada dia, foram calculadas as frequências de cada um dos dez tipos de tempo puros. Foi considerado que cada dia com um tipo de tempo híbrido conta como metade de um dia para cada um dos tipos de tempo puros desse tipo de tempo.

Foi calculada a média da pressão ao nível médio do mar, da temperatura a 2 metros, da humidade relativa a 1000 hPa e das componentes U e V do vento a 1000 hPa em cada dia, utilizando os valores às 0, 6, 12 e 18 horas UTC. No caso da precipitação, os valores foram extraídos para todas as horas do dia. Cada um desses valores dá a informação da precipitação acumulada no período de uma hora que termina à hora a que corresponde esse valor. Em seguida, foram somados os valores de cada hora do dia para obter a precipitação diária. A partir dos dados do integral vertical do fluxo de vapor de água zonal e do integral vertical do fluxo de vapor de água meridional foi calculado o transporte integrado de vapor de água em cada um dos momentos utilizados, a sua média em cada dia e, por fim, a média nos dias com cada tipo de tempo.

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1. Análise de padrões de circulação mais frequentes

A figura 3.1 e a tabela 3.1 mostram as frequências relativas dos dez tipos de tempo puros entre 1979 e 2019. As frequências foram calculadas considerando que cada dia ao qual foi atribuído um tipo de tempo híbrido conta como metade de um dia para cada um dos tipos de tempo puros.



**Fig. 3.1:** Frequências relativas dos dez tipos de tempo puros entre 1979 e 2019.

O tipo de tempo anticiclónico é, claramente, o mais frequente, com um valor de 31,1%. Como se pode ver na tabela 3.1, que mostra as frequências dos vários tipos de tempo nos diferentes meses, o tipo anticiclónico só não é o mais frequente nos meses de julho e agosto. Nestes meses, os tipos de tempo nordeste e norte, que durante todo o ano têm, respetivamente, as frequências relativas de 14,6% e 13,1%, são mais frequentes do que o anticiclónico. Isto parece estar de acordo com o que é apresentado em Trigo e DaCamara (2000) e Russo et al. (2014), onde o tipo de tempo anticiclónico aparece como o mais frequente em Portugal no inverno, na primavera e no outono, sendo ultrapassado pelos tipos de tempo

nordeste e norte no verão. Também em Ramos et al. (2014) o tipo de tempo anticiclónico aparece como o mais frequente em Portugal, embora nesse artigo sejam apresentadas as frequências dos 26 tipos de tempo (puros e híbridos) separadamente. A maior frequência do tipo de tempo anticiclónico no outono, no inverno e na primavera deve-se sobretudo à migração do anticiclone dos Açores em direção à península Ibérica (Tomás et al., 2004; Russo et al., 2014). No verão Portugal está habitualmente sob influência do anticiclone dos Açores. Frequentemente forma-se uma pequena depressão térmica sobre a península Ibérica central. Mas, mesmo nesta época do ano, o tipo de tempo anticiclónico continua a ser um dos mais frequentes em Portugal (Ramos et al., 2011; Russo et al., 2015).

**Tabela 3.1:** Frequências relativas dos dez tipos de tempo puros para cada mês considerando o período entre 1979 e 2019.

Mês	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	C	A
<b>janeiro</b>	5,6%	6,8%	3,5%	3,6%	8,4%	10,9%	5,6%	4,8%	6,7%	<b>44,2%</b>
<b>fevereiro</b>	8,3%	9,1%	3,7%	3,1%	8,2%	10,1%	5,4%	6,6%	7,6%	<b>37,9%</b>
<b>março</b>	9,5%	10,5%	3,8%	2,1%	7,7%	7,4%	5,6%	7,7%	10,1%	<b>35,4%</b>
<b>abril</b>	13,3%	8,1%	3,0%	0,8%	5,1%	9,5%	9,8%	10,9%	13,9%	<b>25,5%</b>
<b>maio</b>	16,7%	4,6%	0,7%	0,5%	6,4%	7,4%	9,2%	16,4%	12,9%	<b>25,2%</b>
<b>junho</b>	<b>23,8%</b>	3,6%	0,2%	0,5%	2,1%	4,8%	9,5%	<b>21,9%</b>	9,8%	<b>23,9%</b>
<b>julho</b>	<b>27,2%</b>	1,9%	0,1%	0,0%	0,2%	3,1%	8,3%	<b>32,6%</b>	7,6%	<b>18,9%</b>
<b>agosto</b>	<b>27,9%</b>	2,9%	0,2%	0,0%	1,1%	4,4%	7,7%	<b>27,9%</b>	7,0%	<b>20,8%</b>
<b>setembro</b>	<b>20,2%</b>	6,0%	1,2%	1,3%	4,8%	6,2%	7,5%	12,2%	11,2%	<b>29,4%</b>
<b>outubro</b>	10,5%	8,5%	2,8%	3,3%	10,9%	10,5%	5,9%	5,4%	10,1%	<b>32,2%</b>
<b>novembro</b>	7,4%	5,7%	3,5%	3,7%	8,3%	9,6%	7,9%	6,2%	11,3%	<b>36,3%</b>
<b>dezembro</b>	4,4%	6,2%	5,1%	5,0%	9,4%	9,4%	5,2%	3,8%	7,6%	<b>44,0%</b>

Na figura 3.1 também se destacam as baixas frequências dos tipos de tempo sul (2,0%) e sudeste (2,3%). Como se pode ver na tabela 3.1, estes tipos de tempo são praticamente inexistentes no verão e têm frequências inferiores a 4% em todos os meses do ano, exceto em dezembro, quando atingem os 5%. Estes são também os tipos de tempo menos frequentes em todas as estações do ano em Trigo e DaCamara (2000) e Russo et al. (2014). Os tipos de tempo sul e sudeste também são os que têm as menores frequências em Ramos et al. (2014), embora aí a frequência de sudoeste não seja muito superior à de sudeste. Neste trabalho, a frequência obtida de sudoeste foi 6,06%, praticamente igual à de este (6,13%). Neste aspeto, há uma grande diferença relativamente a Ramos et al. (2014), onde o tipo de tempo de este aparece como o terceiro mais frequente. De acordo com a tabela 3.1, o tipo de tempo de sudoeste é mais frequente no outono e no inverno e mais raro no verão, o que está de acordo com Trigo e DaCamara (2000) e Russo et al. (2014) e, embora os meses com os valores máximos não coincidam, também é semelhante à evolução ao longo do ano apresentada em Ramos et al. (2014). No entanto, relativamente ao tipo de tempo de este, que na tabela 3.1 tem as suas frequências mais baixas no verão e mais elevadas nos meses de fevereiro, março, abril e outubro, há uma grande diferença entre os resultados obtidos neste trabalho e os de Ramos et al. (2014). Nesse artigo, as maiores frequências deste tipo de tempo aparecem precisamente no verão. O que é apresentado em Trigo e DaCamara (2000) e Russo et al. (2014) parece estar mais de acordo com o que foi aqui obtido, pois as frequências de este são mais baixas no verão e não variam muito nas restantes estações do ano.

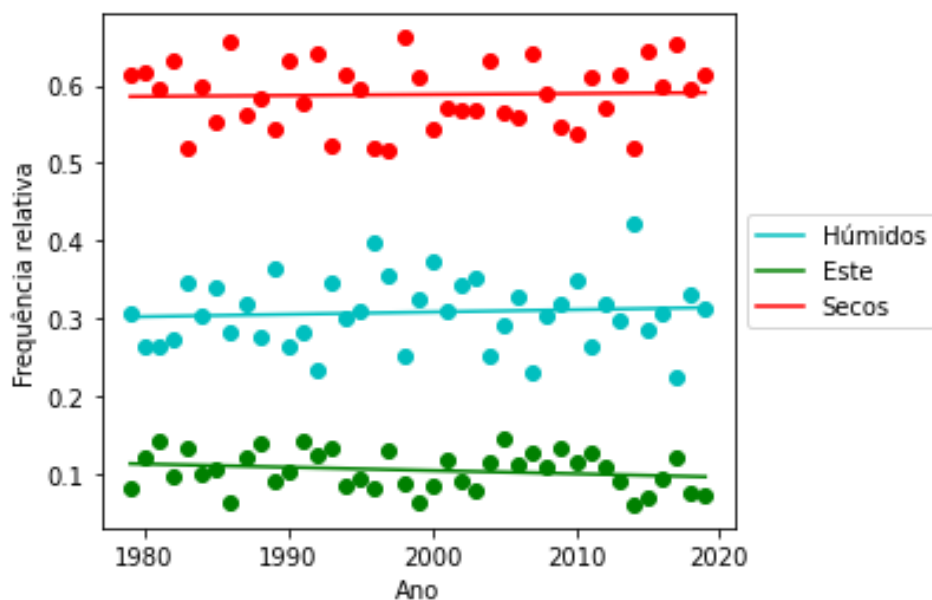
Os tipos de tempo de noroeste (7,3%) e oeste (7,8%) aparecem como o sexto e o quinto mais frequentes. De acordo com a tabela 3.1, o tipo de tempo de noroeste tem as suas maiores frequências nos meses de abril, maio e junho e as menores nos meses entre dezembro e março. Isto é diferente do que se encontra em Ramos et al. (2014) onde as frequências mais baixas aparecem em julho e agosto. No entanto, em

Russo et al. (2014), este tipo de tempo aparece com as menores frequências no inverno, como foi obtido neste trabalho. A tabela 3.1 mostra o tipo de tempo de oeste com as frequências mais elevadas nos meses de inverno e em outubro e novembro e com as menores frequências no verão. Esta variação ao longo do ano está de acordo com Trigo e DaCamara (2000), Russo et al. (2014) e Ramos et al. (2014) pois todos apresentam frequências máximas no inverno e mínimas no verão.

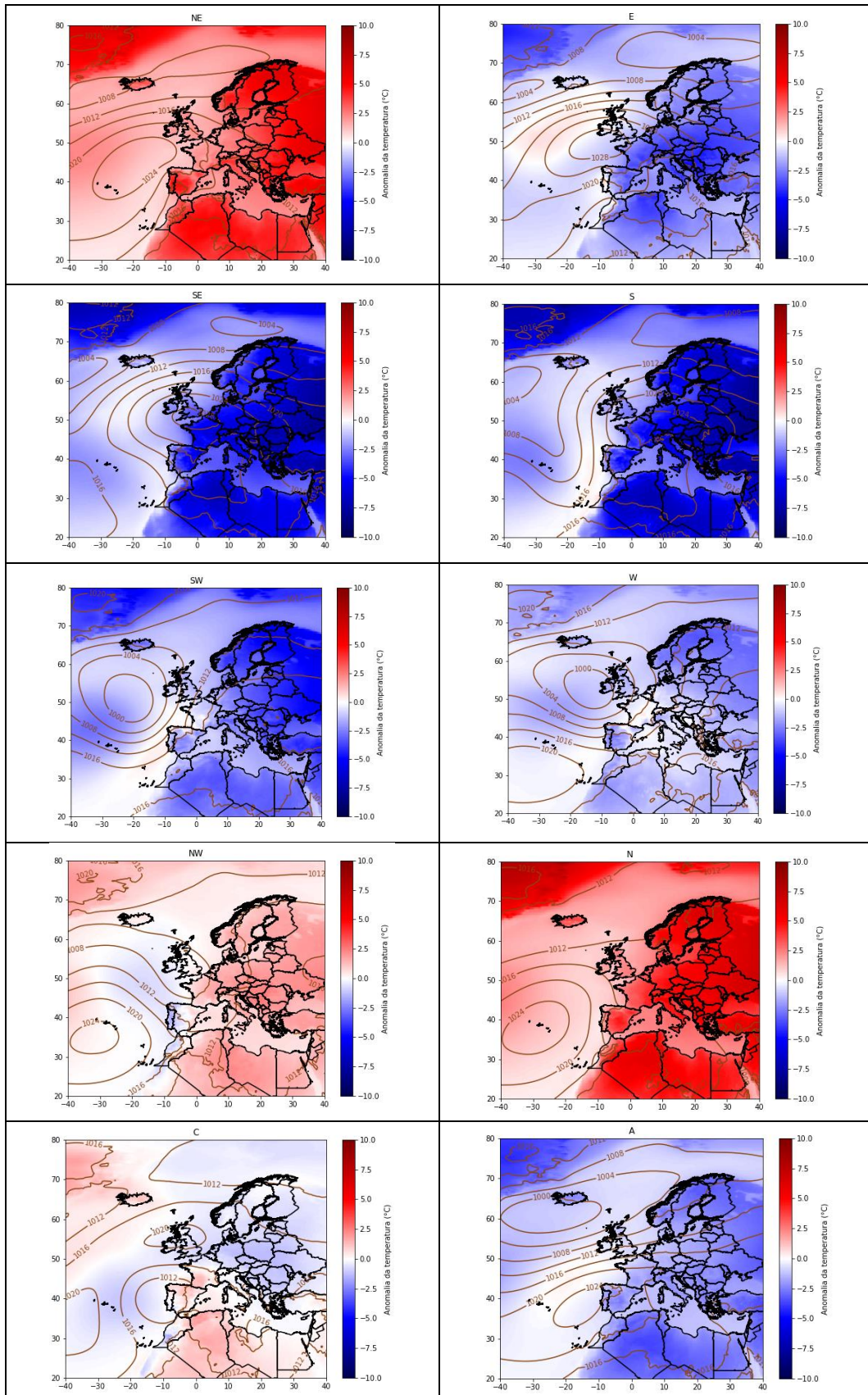
Por sua vez, o tipo ciclónico é o quarto mais frequente (9,7%). A tabela 3.1 mostra frequências mais altas deste tipo de tempo na primavera e no outono e mais baixas no inverno e no verão. Tal como foi obtido neste trabalho, também Russo et al. (2014) e Ramos et al. (2014) apresentam as maiores frequências deste tipo de tempo na primavera. No entanto, ambos os artigos mostram frequências do tipo ciclónico no verão inferiores às do inverno, ao contrário do que está representado na tabela 3.1.

Observando a figura 3.1 e a tabela 3.1 e de acordo com o que foi descrito nos parágrafos anteriores, é possível perceber os comportamentos opostos entre os tipos de tempo com componente de norte e os que têm componente de sul. Enquanto os primeiros (sobretudo nordeste e norte) estão entre os mais frequentes quando se considera a totalidade do ano, os de sul são os mais raros. Além disso, os de norte têm as suas frequências máximas no verão (e primavera, no caso de noroeste) e mínimas no inverno, enquanto acontece o contrário com os tipos de tempo de sul, que têm as suas frequências mais baixas no verão e mais altas no inverno.

Na figura 3.2 está representada a evolução das frequências relativas de três grupos de tipos de tempo entre 1979 e 2019. Os tipos de tempo estão agrupados de acordo com Pereira et al. (2018). No grupo representado a azul (húmidos) estão incluídos o tipo de tempo ciclónico e os que têm uma componente de oeste (SW, W e NW). Estes são os tipos de tempo que contribuem para a maior parte da precipitação em Portugal. O grupo representado a verde (este) inclui E, SE e S. Estes tipos de tempo também podem produzir alguma precipitação em Portugal. Do grupo a vermelho (secos) fazem parte os tipos de tempo anticiclónico, NE e N, normalmente associados a tempo seco em Portugal.



**Fig. 3.2:** Evolução das frequências relativas de três grupos de tipos de tempo entre 1979 e 2019. Os tipos de tempo húmidos (C, SW, W e NW) estão representados a azul, a verde estão representados os tipos de tempo E, SE e S e a vermelho os tipos de tempo secos (A, NE e N).



**Fig. 3.3:** Anomalia da temperatura a 2 m (°C) e pressão ao nível médio do mar (hPa) média para os dias a que está associado cada um dos tipos de tempo puros (NE, E, SE, S, SW, W, NW, N, C, A).

De acordo com as retas de tendência representadas na figura 3.2, há uma ligeira tendência para o aumento da frequência dos tipos de tempo húmidos e secos e uma tendência para a diminuição dos tipos de tempo de este. No entanto, com a aplicação de testes de significância às três retas, estas tendências parecem não ser significativas.

Utilizando dados de pressão ao nível do mar, temperatura a 2 metros, humidade relativa, vento a 1000 hPa e precipitação, é possível calcular os compósitos e as respetivas anomalias para os dias representados por cada padrão de circulação para o período compreendido entre 1979 e 2019 (figuras 3.3, 3.4, 3.5).

A figura 3.3 mostra a pressão média ao nível do mar (através das linhas) e a anomalia da temperatura média a 2 m (através da cor) para os dias a que está associado cada um dos tipos de tempo puros. No primeiro mapa à esquerda, que corresponde ao tipo de tempo de nordeste, é visível a existência de um anticiclone a oeste e noroeste de Portugal e de uma região onde a pressão é mais baixa, que inclui a Islândia e uma zona a norte da península Escandinava.

O primeiro mapa à direita, associado ao tipo de tempo de este, mostra um anticiclone a norte de Portugal, aproximadamente na mesma região mas com valores de pressão um pouco mais elevados do que em Ramos et al. (2014). No segundo mapa à esquerda, do tipo de tempo de sudeste, o centro de altas pressões está numa região a norte da península Ibérica mas mais a este, no sul da Grã-Bretanha e noroeste de França. No caso do tipo de tempo de sul, representado no segundo mapa à direita, o centro de altas pressões está localizado, aproximadamente, no centro da Europa. Também se destacam as pressões baixas a oeste da península Ibérica.

No terceiro mapa à esquerda, que corresponde ao tipo de tempo de sudoeste, há um ciclone a noroeste da península Ibérica, tal como acontece em Ramos et al. (2014).

No mapa do tipo de tempo de oeste, o terceiro à direita, aparece um ciclone a noroeste da península Ibérica, a oeste da Grã-Bretanha e um anticiclone a sudoeste de Portugal, a oeste do norte de África. Esta configuração é semelhante à que aparece em Ramos et al. (2014).

O quarto mapa à esquerda, do tipo de tempo de noroeste, mostra um anticiclone a sudoeste de Portugal, a oeste de Marrocos, que também aparece em Ramos et al. (2014), embora nesse artigo apareça também um centro de baixas pressões na região da Grã-Bretanha e da Irlanda que aqui não é muito visível. O anticiclone a sudoeste de Portugal está presente também no mapa de Trigo e DaCamara (2000) mas nesse artigo aparecem um anticiclone na região de Itália e outro a sul da Islândia.

No quarto mapa à direita, que corresponde ao tipo de tempo de norte, há um anticiclone a oeste de Portugal, na região dos Açores, tal como acontece em Ramos et al. (2014).

O quinto mapa à esquerda, do tipo de tempo ciclónico, mostra um ciclone na região de Portugal que não tem valores muito baixos de pressão e um anticiclone na região das ilhas Britânicas. Observa-se também uma zona onde a pressão é mais elevada a oeste e sudoeste dos Açores. Em Trigo e DaCamara (2000), o centro de baixas pressões e o centro de altas pressões estão a noroeste dos que foram obtidos neste trabalho, mas com uma configuração semelhante.

No quinto mapa à direita, correspondente ao tipo de tempo anticiclónico, aparece um anticiclone na região de Portugal e um ciclone a sul da Islândia.

No geral, os mapas obtidos neste trabalho da pressão ao nível médio do mar média para os dias a que está associado cada um dos tipos de tempo puros são semelhantes aos mapas da configuração do campo da pressão média para os mesmos tipos de tempo apresentados em Ramos et al. (2014), exceto no caso do tipo de tempo ciclónico. As diferenças relativamente a Trigo e DaCamara (2000) são maiores mas isso não é surpreendente pois os campos de pressão aí representados correspondem a exemplos de dias específicos característicos de cada tipo de tempo. Destaca-se, no entanto, que existe uma boa concordância com Ramos et al. (2014) e Trigo e DaCamara (2000) e que as diferenças resultam do período usado ser substancialmente diferente.



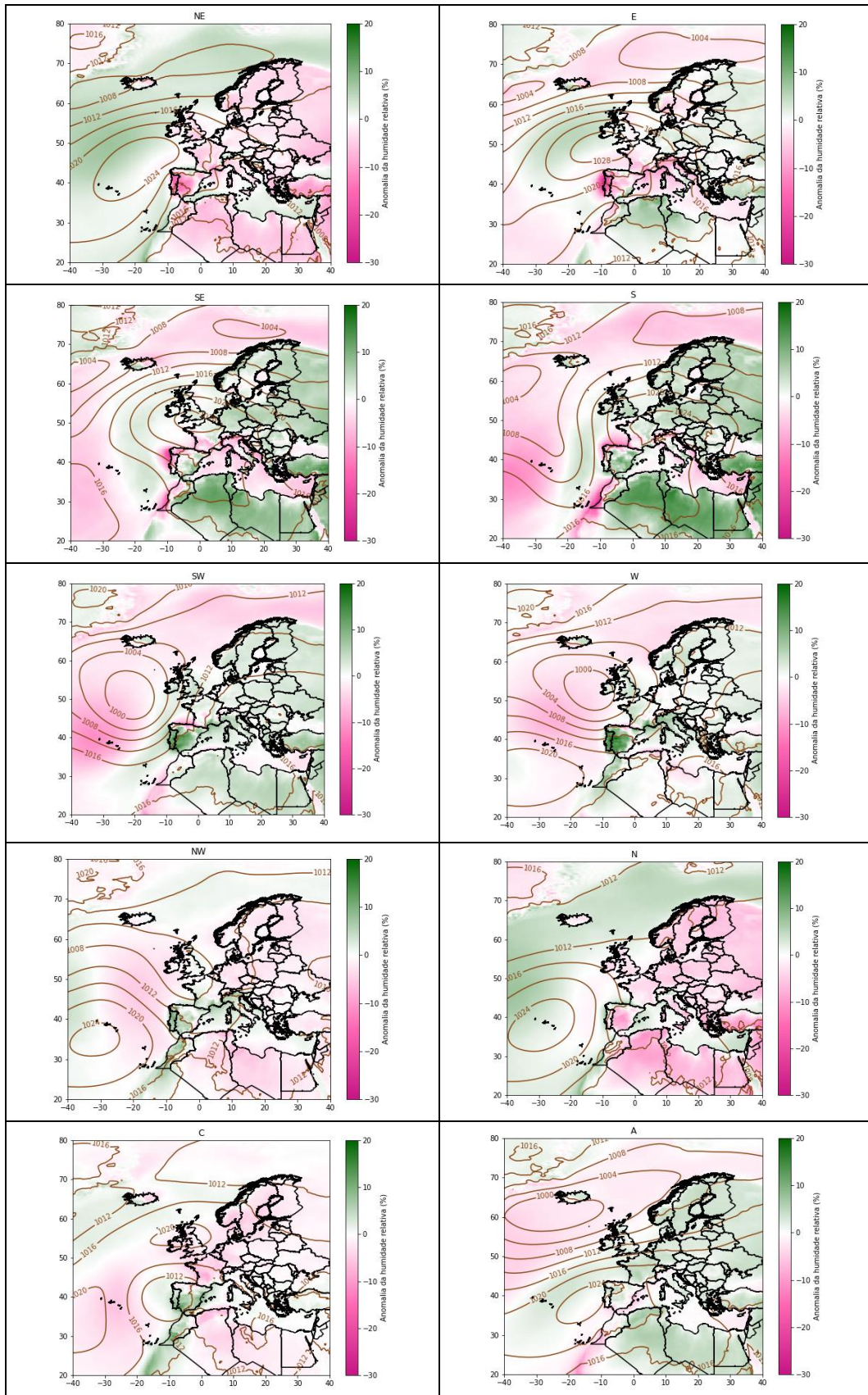
Nos mapas da figura 3.3, as cores mostram os resultados obtidos para as anomalias médias da temperatura a 2 m nos dias associados a cada um dos dez tipos de tempo puros em Portugal. No caso dos tipos de tempo de nordeste e norte, é visível uma anomalia positiva da temperatura em toda a região que aparece no mapa, sendo os valores da anomalia mais elevados nos continentes. No caso dos tipos de tempo de este, sudeste, sul, sudoeste e oeste, a anomalia da temperatura é negativa em quase toda a área representada. As anomalias mais negativas são visíveis nos mapas correspondentes aos tipos de tempo de sudeste e sul, nas regiões continentais. No mapa de sul, nota-se uma área do oceano junto à costa oeste da península Ibérica e do norte de África onde a anomalia da temperatura é aproximadamente nula. O tipo de tempo de sudoeste não apresenta anomalias tão negativas nos continentes como os de sudeste e sul. Neste mapa, existe também uma região do oceano junto à costa oeste da península Ibérica e do norte de África onde a anomalia da temperatura é de cerca de zero, com uma área maior do que no caso de sul. O mapa correspondente ao tipo de tempo de oeste apresenta anomalias da temperatura próximas de zero em França e no oceano a sul de Portugal e a sudoeste dos Açores. No resto da região representada, a anomalia é negativa mas com menor valor absoluto do que o obtido para sudeste, sul e sudoeste. No caso do tipo de tempo de este, o valor da anomalia é próximo de zero em Portugal e no litoral de Marrocos a oeste do estreito de Gibraltar. Nesse mapa, observa-se uma região a oeste e sudoeste da Irlanda onde a anomalia é ligeiramente positiva.

O mapa que corresponde ao tipo de tempo de noroeste apresenta anomalias negativas da temperatura no oeste da península Ibérica, a noroeste da península Ibérica e em Marrocos. Na parte do oceano a oeste do norte de África e na zona das ilhas Britânicas, a anomalia é próxima de zero. No resto da região representada, é positiva.

No caso do tipo de tempo ciclónico, a anomalia da temperatura a 2 m é positiva em Espanha, no sul de França, na Argélia, na Tunísia, na Líbia, na Islândia e na Gronelândia. Os valores da anomalia são negativos no sul de Marrocos, no litoral do Saara Ocidental, a oeste da península Ibérica, na maior parte da Europa central e de leste, na zona da Grã-Bretanha e, de forma muito ligeira, no norte da Europa.

No mapa do tipo de tempo anticiclónico, a anomalia da temperatura é negativa em toda a região representada, exceto numa área a oeste da península Ibérica e de França, onde é cerca de zero.

A figura 3.4 mostra, além da pressão, a anomalia média da humidade relativa a 1000 hPa nos dias a que está associado cada um dos tipos de tempo puros. Nos mapas correspondentes aos tipos de tempo de nordeste, este e sudeste, há uma anomalia negativa da humidade relativa em Portugal, que, nos dois primeiros, tem valores absolutos bastante elevados. No caso do tipo de tempo de nordeste, a anomalia é negativa em terra e positiva no oceano em praticamente toda a região representada. No mapa do tipo de tempo de este, a anomalia da humidade é ligeiramente positiva na maior parte das zonas de terra, embora existam algumas exceções, por exemplo, a maior parte da península Ibérica, oeste de Marrocos, sul de França e norte de Itália, onde a anomalia é negativa, e norte de França, Egito, Grã-Bretanha, Irlanda e península Escandinava, onde a anomalia é cerca de zero. Em grande parte do oceano a anomalia é negativa ou muito próxima de zero, existindo uma região com anomalia positiva a oeste e sudoeste da Escócia e da Irlanda. O mapa de sudeste mostra uma anomalia positiva da humidade relativa nos continentes, exceto no oeste da península Ibérica e de Marrocos, no sul de França e no norte de Itália, onde a anomalia é negativa. A anomalia é negativa na maior parte do oceano, com valores absolutos mais elevados junto ao noroeste da península Ibérica e ao sudoeste de Marrocos. Existe, no entanto, uma zona de anomalias ligeiramente positivas entre o norte das ilhas Canárias e o sul da Noruega, que se aproxima do Algarve e do estreito de Gibraltar mas não da costa oeste da península Ibérica, onde a anomalia é negativa.



**Fig. 3.4:** Anomalia da humidade relativa a 1000 hPa (%) e pressão ao nível médio do mar (hPa) média para os dias a que está associado cada um dos tipos de tempo puros (NE, E, SE, S, SW, W, NW, N, C, A).

No caso de sul, a anomalia da humidade relativa é positiva em quase todas as regiões de terra. Algumas exceções são a região dos Alpes, partes do sul de França, o norte de Espanha junto à costa norte e oeste e à fronteira com França, o litoral centro e norte de Portugal, onde a anomalia parece muito próxima de zero, o oeste de Marrocos e o Saara Ocidental. A anomalia é negativa na maior parte do oceano. Existe, no entanto, uma região entre as ilhas Canárias e a Irlanda, que vai até junto da costa portuguesa no Algarve e Alentejo, onde a anomalia é positiva.

No mapa de sudoeste, é visível uma anomalia bastante positiva da humidade relativa na península Ibérica, exceto numa região estreita junto à costa norte de Espanha, onde é negativa. Na maioria das áreas continentais, a anomalia é ligeiramente positiva. Uma das exceções corresponde ao sul de Marrocos e ao Saara Ocidental, onde a humidade relativa nos dias com tipo de tempo de sudoeste é, em média, um pouco abaixo da média de todos os dias. No oceano, vê-se a anomalia negativa na região dos Açores, um pouco menos negativa a norte desta região e novamente mais negativa a norte da Noruega, da Finlândia e da parte da Rússia que aparece no mapa. Existe uma área entre uma zona a oeste das ilhas Canárias e a Irlanda, que inclui a região junto à costa oeste da península Ibérica, onde a anomalia é ligeiramente positiva. Os valores da anomalia da humidade relativa também são superiores a zero na parte mais ocidental do mar Mediterrâneo.

O mapa correspondente ao tipo de tempo de oeste mostra uma anomalia muito positiva na maior parte da Península Ibérica. Apenas uma região muito estreita junto à costa norte tem anomalia negativa e a parte mais este da península Ibérica tem uma anomalia de cerca de zero. Na maior parte das zonas de terra, a anomalia é ligeiramente positiva ou muito próxima de zero. A maior exceção é uma região junto ao mar Mediterrâneo que inclui parte do nordeste da Argélia e do noroeste da Líbia e a Tunísia, onde a anomalia é negativa. No oceano, nota-se uma região de anomalia negativa a norte dos Açores. A norte dessa região a anomalia também é negativa mas com valores absolutos mais baixos. A sul dos Açores a anomalia é cerca de zero. Na parte oeste do mar Mediterrâneo, a anomalia é positiva, exceto junto à costa africana.

No caso do tipo de tempo de noroeste, a anomalia da humidade relativa é ligeiramente negativa na maior parte das zonas continentais. As principais áreas onde a anomalia é positiva são o norte de Itália, o sul de França, a península Ibérica, com exceção de partes do norte e leste de Espanha, Marrocos e o Saara Ocidental. No oceano, nota-se que a anomalia é um pouco superior a zero numa região a noroeste dos Açores, nas latitudes mais elevadas e na parte mais oeste do mar Mediterrâneo. A este dos Açores há uma região onde a anomalia é ligeiramente negativa.

O mapa do tipo de tempo de norte apresenta, no geral, uma anomalia da humidade relativa negativa em terra e positiva no oceano. Algumas exceções encontram-se em pequenas áreas de anomalia positiva junto à fronteira norte de Itália, à fronteira sul de França e à costa norte de Espanha e no sul de Marrocos e no Saara Ocidental. No oceano, existe uma região entre Portugal continental e os Açores, a norte das ilhas Canárias e a sul da Irlanda, onde a anomalia da humidade é cerca de zero.

No mapa do tipo de tempo ciclónico, existe uma região de anomalia da humidade relativa positiva na península Ibérica, exceto em algumas partes do norte e noroeste de Espanha, em Marrocos, exceto no nordeste, e no Saara Ocidental. A anomalia é negativa em parte do norte de Espanha, em quase todo o norte da Europa e Europa ocidental e numa região do norte de África que inclui o norte e este da Argélia, a Tunísia e o oeste da Líbia. No oceano, a anomalia é negativa na zona dos Açores até um pouco a sul do arquipélago. Junto à costa este, sul e oeste da península Ibérica e junto à costa oeste do norte de África, a anomalia é positiva. Os valores da humidade relativa também são, em média, superiores nos dias de tipo de tempo ciclónico relativamente à média de todos os dias a sudoeste e no sudoeste da Islândia. Na parte mais leste da ilha a anomalia é negativa.

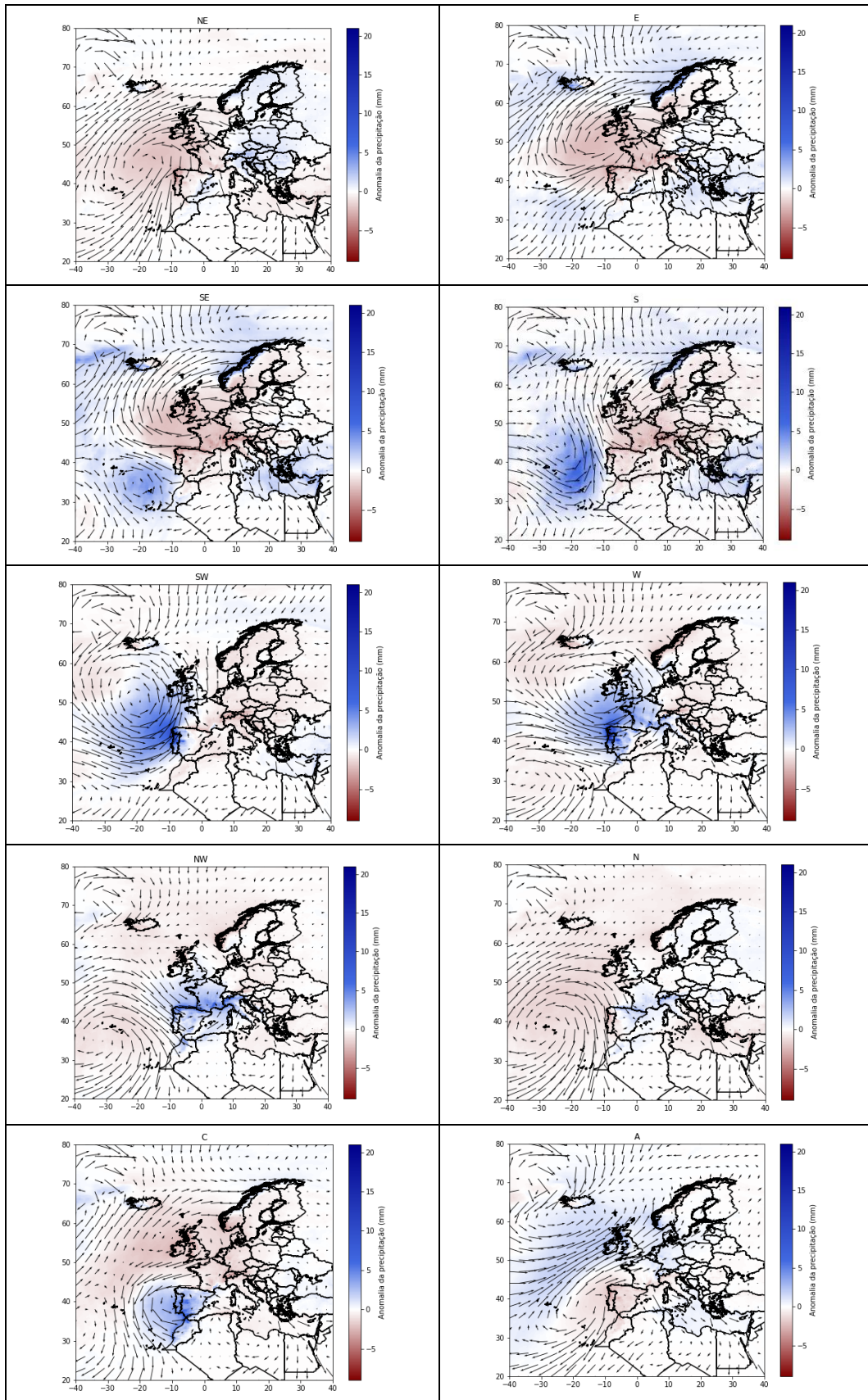
No caso do tipo de tempo anticiclónico, a anomalia da humidade relativa é positiva em quase todas as zonas de terra representadas no mapa. Existem, no entanto, algumas regiões no sul e leste da península

Ibérica, junto à fronteira norte de Itália, em Marrocos e no Saara Ocidental onde a anomalia é negativa. No oceano, a anomalia é negativa na parte mais norte e junto à costa sul e este da península Ibérica e à costa oeste do norte de África. Há uma região onde a anomalia é negativa que vai desde a zona a sudoeste do arquipélago dos Açores até ao sul da Grã-Bretanha e oeste da França.

A figura 3.5 mostra o vento médio a 1000 hPa e a anomalia da precipitação nos dias a que está associado cada um dos tipos de tempo puros. O mapa correspondente ao tipo de tempo de nordeste apresenta uma anomalia negativa da precipitação a norte, noroeste e oeste da península Ibérica. Esta anomalia é visível no oceano, na Irlanda, no Reino Unido, numa pequena parte do sul da Noruega, em França, em Portugal (principalmente no norte) e em Espanha (sobretudo na Galiza) com exceção da parte mais oriental, onde a anomalia é positiva. Em quase todo o resto da Europa, a anomalia da precipitação é positiva. A noroeste da península Ibérica nota-se no campo do vento a presença de um anticiclone, que também é perceptível nos mapas das figuras 3.3 e 3.4 onde está representada a pressão.

No caso do tipo de tempo de este, existe uma anomalia negativa mais ou menos na mesma área que no tipo de tempo de nordeste mas mais intensa e que inclui também o norte de Itália, a Suíça, a Bélgica, os Países Baixos, o sudeste da Noruega e o sul da Suécia. Há uma anomalia bastante positiva da precipitação no sudoeste e centro da Noruega e no oeste da Islândia. A região com anomalia positiva junto à costa este de Espanha é mais pequena do que no caso anterior. Na maior parte do leste e sudeste da Europa e na Turquia, a anomalia é positiva. Nas áreas de oceano a sul dos Açores e da península Ibérica, a oeste e sudoeste da Islândia, a norte e nordeste da península Escandinava e na maior parte do mar Mediterrâneo, a anomalia da precipitação também é positiva. Na região de anomalia negativa, é visível na representação do vento um anticiclone a sul da Irlanda, que também aparece nos mapas que mostram a pressão para o mesmo tipo de tempo.

O mapa do tipo de tempo de sudeste mostra uma anomalia negativa da precipitação numa área semelhante às dos tipos de tempo anteriores. Neste caso, abrange o norte de Marrocos, a zona mais a norte da Argélia, o norte da Tunísia, a parte do mar Mediterrâneo a oeste das ilhas de Sardenha e Córsega (embora a anomalia seja muito próxima de zero), a península Ibérica (com exceção do sul de Portugal), França, o oceano Atlântico a oeste de França, as ilhas Britânicas e o oceano ao seu redor, exceto a norte, Suíça, Itália (com exceção do sudeste do país), Eslovénia, Croácia, Montenegro, Albânia, Bélgica, Países Baixos, maior parte da Alemanha, da Chéquia, da Áustria, da Eslováquia, da Hungria (embora a anomalia seja muito próxima de zero nestas regiões), partes da Roménia e da Bósnia e Herzegovina, o sudeste da Noruega, a maior parte da Suécia e, com uma anomalia muito pouco negativa, o norte da Polónia e a Finlândia. Na região das ilhas da Irlanda e da Grã-Bretanha e de França nota-se, através da representação do vento, a existência de um anticiclone que também estava presente nas figuras 3.3 e 3.4, nos mapas da pressão. São também visíveis várias áreas de anomalia positiva. Uma delas inclui o mar Mediterrâneo a este das ilhas de Sardenha e Córsega, a Grécia, a Turquia, a Bulgária e a parte do mar Negro que aparece no mapa. Outra destas áreas abrange o sul de Marrocos, o Saara Ocidental, o oceano a oeste destes países e a sul e sudoeste de Portugal, as regiões das ilhas Canárias, do arquipélago da Madeira e do arquipélago dos Açores, prolongando-se pelo oceano até à Islândia, onde inclui o oeste da ilha, e até à Escandinávia, onde engloba o centro e o sudoeste da Noruega, partes da Suécia junto à fronteira noroeste e o oceano a noroeste e norte da península. Na região entre o arquipélago dos Açores e as ilhas Canárias, parece ver-se no campo do vento a presença de um ciclone que, no entanto, não aparece na representação da pressão para o mesmo tipo de tempo das figuras 3.3 e 3.4.



**Fig. 3.5:** Vento médio a 1000 hPa e anomalia de precipitação diária (mm) para os dias a que está associado cada um dos tipos de tempo puros (NE, E, SE, S, SW, W, NW, N, C, A).

No mapa correspondente ao tipo de tempo de sul, a região de anomalia negativa de precipitação abarca quase toda a Europa. Algumas exceções são o sul de Portugal (anomalia próxima de zero), grande parte da Noruega (anomalia negativa apenas no sudeste), uma área estreita da Suécia junto à fronteira noroeste com a Noruega, o este da Ucrânia, a Grécia e a parte europeia da Turquia. Também no norte de Marrocos e na parte mais a norte da Argélia, a anomalia da precipitação é negativa. O mesmo acontece em algumas regiões de oceano junto à Europa, por exemplo, entre a Grã-Bretanha e a Escandinávia, entre a península Ibérica e as ilhas Britânicas, no mar Mediterrâneo a oeste de Sardenha e Córsega e em redor da costa da península Itálica exceto a sudeste. Uma anomalia positiva é verificada na Grécia, na Turquia, na parte do mar Negro representada no mapa, no mar Mediterrâneo a este da península Itálica e da Sicília e também numa pequena área a este da Sardenha. A anomalia é igualmente positiva no sul de Marrocos, no norte do Saara ocidental e no oceano a oeste destes países, da península Ibérica, de França e da ilha da Irlanda, embora sem se aproximar da costa destas duas últimas regiões. Na área a norte do arquipélago da Madeira e a oeste de Portugal continental, é visível o vento de sul, que está de acordo com a representação da pressão nos mapas das figuras 3.3 e 3.4 associados ao mesmo tipo de tempo. Também no oceano a norte, oeste e sudoeste da Islândia, no sul da ilha, a noroeste e a norte da Noruega e no sudoeste e centro desse país e a norte da parte visível da Rússia, a anomalia é positiva.

No caso do tipo de tempo de sudoeste, uma anomalia da precipitação ligeiramente negativa está presente em quase toda a Europa. As principais exceções são as ilhas Britânicas, a parte mais oeste de França e uma pequena área no sul desse país na zona de Montpellier e a maior parte da península Ibérica, onde apenas as regiões mais a este e nordeste apresentam anomalia negativa. Na zona mais a norte de Itália, na Suíça e na Áustria, a anomalia negativa tem um valor absoluto um pouco maior do que nas restantes regiões. A anomalia também é negativa no mar Mediterrâneo a oeste da península Itálica e da Sicília, em Marrocos, no norte da Argélia, no oceano entre a Grã-Bretanha e a Escandinávia, a oeste e sudoeste da Islândia e no oeste dessa ilha. A anomalia é ligeiramente positiva na parte mais oriental do mar Mediterrâneo, na Turquia e no mar Negro e a norte da Noruega e da parte visível da Rússia. A precipitação também é superior à média nos dias a que está associado este tipo de tempo nas regiões de França já referidas como não sendo de anomalia negativa, na península Ibérica, com exceção das partes mais nordeste e este de Espanha, nas ilhas Britânicas, excluindo o noroeste da Escócia, no leste da Islândia e numa grande área do oceano Atlântico que inclui os arquipélagos dos Açores e da Madeira e vai até junto da costa oeste de Portugal e Espanha, de toda a costa da ilha da Irlanda e da costa do sudoeste da Grã-Bretanha e da costa sudeste da Islândia. Os vetores do vento mostram a existência de um ciclone a noroeste da península Ibérica, a oeste da Irlanda, também visível na representação da pressão nos mapas deste tipo de tempo das figuras 3.3 e 3.4.

O mapa correspondente ao tipo de tempo de oeste apresenta uma região de anomalia positiva que inclui uma pequena zona no extremo norte de Marrocos, a península Ibérica, com exceção de uma área estreita junto à costa leste, França, o norte e oeste de Itália, uma zona do mar Mediterrâneo entre as ilhas de Sardenha e Córsega e a costa de França, Bélgica, Países Baixos e pequenas partes do oeste da Alemanha, as ilhas Britânicas, com exceção do noroeste da Escócia, o sudeste da Noruega, a maior parte do oceano entre a Grã-Bretanha e a Noruega e uma área do oceano a oeste e norte da península Ibérica, a oeste de França, a sudoeste das ilhas Britânicas no geral e em redor da ilha da Irlanda. Também há uma pequena zona na parte mais leste da Islândia onde a anomalia é positiva. Em quase todo o resto da Europa a anomalia da precipitação é ligeiramente negativa ou cerca de zero. Na maior parte de Marrocos, no norte da Argélia e na Tunísia, a anomalia também é negativa, tal como em quase todo o mar Mediterrâneo. A precipitação também é inferior à média numa região a oeste do norte de África que inclui o arquipélago dos Açores e numa área que abrange toda a região em redor da Islândia, sobretudo a sudoeste, e a norte da Grã-Bretanha e da Noruega. Os vetores que representam o vento a 1000 hPa permitem identificar um ciclone a oeste da Irlanda, a este do que aparece no caso do tipo de tempo de sudoeste, que também

estava presente nos mapas da pressão das figuras 3.3 e 3.4. Também é visível neste mapa um anticiclone a oeste do norte de África, que se encontra igualmente presente nas representações da pressão para o mesmo tipo de tempo.

No mapa do tipo de tempo de noroeste, existe uma região de anomalia positiva da precipitação que inclui o norte de Marrocos, a parte mais norte da Argélia, quase toda a península Ibérica, o mar Mediterrâneo a oeste das ilhas de Sardenha e Córsega, estas ilhas, uma pequena região a este das ilhas, França, o norte e oeste de Itália, pequenas zonas no oeste da Suíça e da Alemanha, o sul e leste da Grã-Bretanha e o oceano entre a península Ibérica e as ilhas Britânicas e a este da Grã-Bretanha. A anomalia também é positiva no sudeste da Noruega e em partes do litoral da Eslovénia, da Croácia, da Bósnia e Herzegovina e de Montenegro. Na maior parte do resto da Europa e do oceano observável no mapa, a anomalia é ligeiramente negativa ou muito próxima de zero. A representação do vento mostra a existência de um anticiclone na região dos Açores, um pouco a sudoeste do arquipélago. Este centro de altas pressões também aparece nos mapas da pressão das figuras 3.3 e 3.4.

No mapa que corresponde ao tipo de tempo de norte, a anomalia da precipitação é negativa em quase todas as regiões oceânicas representadas. A principal exceção é a parte do mar Mediterrâneo a oeste das ilhas de Sardenha e Córsega, onde a anomalia é um pouco superior a zero. Nos dias a que está associado este tipo de tempo a precipitação também é inferior à média em Portugal, no noroeste e oeste de Espanha, na Irlanda, no oeste da Grã-Bretanha, na Islândia, no sudoeste e centro da Noruega, no sul de Itália, na Albânia, na Grécia e na Turquia. Existem outras regiões onde a anomalia é negativa, mas com valores absolutos muito baixos. É o caso do sul de Marrocos, de parte do sul da Alemanha, do norte da Áustria, da Bósnia e Herzegovina, da Sérvia, da Macedónia do Norte, de algumas zonas da Bulgária e de parte do leste da Ucrânia. A anomalia é positiva no norte de Marrocos, no noroeste da Argélia, no norte e leste de Espanha, em quase toda a França, na Suíça, no norte e oeste de Itália, no sul da Áustria e, embora com valores mais baixos, no leste da Grã-Bretanha, no sudeste e norte da Noruega, na Suécia, na Finlândia, na maior parte da Rússia presente no mapa, nos países Bálticos, em parte da Bielorrússia, na maior parte do oeste da Ucrânia, no leste da Polónia, na Roménia, na Eslováquia, na Hungria e no leste da Chéquia. Os vetores do vento permitem identificar um anticiclone na região dos Açores, um pouco a nordeste do que aparece no mapa do tipo de tempo de noroeste. Este anticiclone também tinha sido encontrado nos mapas da pressão das figuras 3.3 e 3.4.

O mapa do tipo de tempo ciclónico mostra uma região de anomalia positiva que inclui a península Ibérica, Marrocos, o oceano Atlântico a oeste de Marrocos e da península Ibérica, uma pequena parte do mar Mediterrâneo junto à costa este de Espanha e à costa sudeste de França e uma área muito reduzida no sul de França na região de Montpellier. A anomalia também é positiva, mas mais baixa, numa região que abrange quase toda a Turquia, pequenas partes da Grécia, a Bulgária, o mar Negro, o leste da Roménia, a maior parte da Ucrânia e partes da Bielorrússia e da Rússia. A precipitação é ainda superior à média nos dias a que está associado este tipo de tempo no oeste da Islândia, numa parte do oceano a oeste desta ilha, no centro da Noruega e no oceano a norte deste país e da parte visível da Rússia. A anomalia é cerca de zero na Sérvia, no Kosovo, na Macedónia do Norte, na Albânia e na maior parte da Grécia. Na maioria da Europa que aparece no mapa e do mar Mediterrâneo, a anomalia é negativa, tal como numa região do oceano Atlântico que vai desde um pouco a sul dos Açores, incluindo o arquipélago, até a norte da Islândia, abrangendo o leste da ilha, e à Escandinávia. Os vetores do vento mostram um ciclone na zona de Portugal, também presente na representação da pressão. Também é possível notar um anticiclone na região das ilhas Britânicas.

No caso do tipo de tempo anticiclónico, cuja representação é a oposta da do tipo de tempo ciclónico, existe uma região de anomalia negativa da precipitação que abrange Portugal e Espanha, o oceano a norte, oeste e sudoeste desta península, Marrocos, o oceano a oeste deste país, o sudeste, sul e oeste de França, o norte e centro de Itália e o mar Mediterrâneo perto da costa de Espanha e de França. A anomalia

também é ligeiramente negativa no centro e norte da Noruega, em pequenas áreas da Suécia junto à fronteira noroeste com a Noruega, no nordeste da Finlândia, em algumas zonas da Rússia, no sudeste da Bielorrússia, na maior parte da Ucrânia, da Roménia e da Bulgária, em partes do mar Negro e no norte da Turquia. Outra região onde a precipitação nos dias a que está associado o tipo de tempo anticiclónico em Portugal é inferior à média é o oeste da Islândia e uma área a noroeste desse país. A anomalia é positiva no norte e nordeste de França, na Suíça, na Bélgica, nos Países Baixos, na Alemanha, na Dinamarca, no sul da Noruega e da Suécia, no norte e oeste da Polónia, no noroeste da Áustria, em parte da Chéquia, na Bósnia e Herzegovina, na Tunísia e na parte mais nordeste da Argélia, no mar Mediterrâneo a este da península Itálica e da Sicília e junto à costa desta ilha e das áreas do norte de África de anomalia positiva e numa região que vai desde uma zona a sudoeste dos Açores e inclui este arquipélago, as ilhas Britânicas, o leste da Islândia e quase todo o oceano em redor desse país. Na representação do vento, está presente um anticiclone ligeiramente a oeste de Portugal continental e um ciclone junto à Islândia. Ambos são também observados nos mapas das figuras 3.3 e 3.4 que mostram a pressão ao nível médio do mar nos dias a que está associado o tipo de tempo anticiclónico em Portugal.

### 3.2. Relação entre os padrões de circulação e o transporte integrado de vapor de água

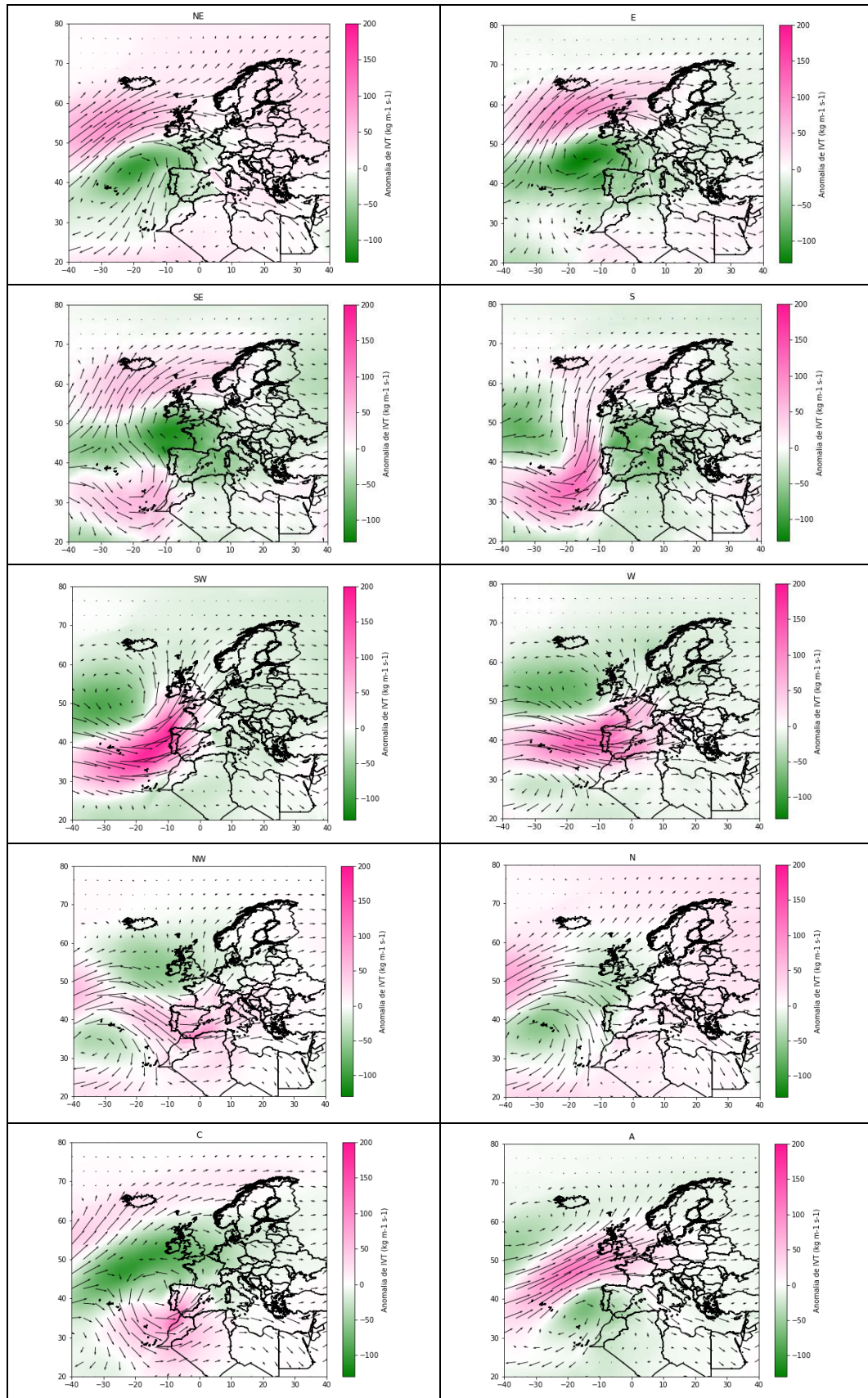
Os mapas da figura 3.6 mostram a anomalia do módulo do transporte integrado de vapor de água nos dias a que está associado cada um dos dez tipos de tempo puros em Portugal e os vetores do transporte integrado de vapor de água médio para os dias de cada tipo de tempo.

No caso do tipo de tempo de nordeste, há uma área que inclui o norte de Marrocos, a península Ibérica, França, o sudoeste do mar Mediterrâneo e o oceano Atlântico a oeste de França, Espanha, Portugal e Marrocos, onde a anomalia é negativa. Na maior parte da região representada no mapa, a anomalia do transporte integrado de vapor de água é ligeiramente positiva. Destaca-se, no entanto, uma área a sul e sudoeste da Islândia e oeste das ilhas Britânicas onde a anomalia é mais positiva. Os vetores mostram que, nessa região, o transporte de vapor de água é de sudoeste. Então, é possível perceber que, nos dias a que está associado o tipo de tempo de nordeste, existe, em média, nessa zona, um transporte integrado de vapor de água acima da média de todos os dias, de sudoeste.

No mapa do tipo de tempo de este, destaca-se uma região a oeste de França e da península Ibérica onde a anomalia do transporte integrado de vapor de água é bastante negativa. Na maior parte da área representada, a anomalia é um pouco inferior a ou cerca de zero. Existe, no entanto, uma região a sul e sudoeste da Islândia e a norte das ilhas Britânicas onde a anomalia do transporte integrado de vapor de água é positiva.

No mapa do tipo de tempo de sudeste, a anomalia é um pouco negativa ou muito próxima de zero na maior parte da área representada, com algumas exceções. Destaca-se uma região a norte da península Ibérica, oeste de França e sul das ilhas Britânicas onde a anomalia negativa tem valores absolutos mais elevados. Existem duas zonas principais onde o transporte integrado de vapor de água é superior à média nos dias a que está associado o tipo de tempo de sudeste. Uma delas inclui o oceano a sudoeste, sul e este da Islândia, essa ilha e o oceano a norte das ilhas Britânicas e até à Noruega, abrangendo o sul e o centro do país, e centro da Suécia. A outra região de anomalia positiva situa-se a oeste de Marrocos, incluindo o sul deste reino, e a noroeste do Saara Ocidental, abrangendo também este país.





**Fig. 3.6:** Anomalia do transporte integrado de vapor de água ( $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ) e campo do transporte integrado de vapor de água médio para os dias a que está associado cada um dos tipos de tempo puros (NE, E, SE, S, SW, W, NW, N, C, A).

No mapa correspondente ao tipo de tempo de sul, existe uma região de anomalia positiva correspondente a uma faixa a oeste de Marrocos que se prolonga para norte entre o arquipélago dos Açores e Portugal continental, chegando à Islândia e à Noruega. Esta anomalia é mais elevada a oeste de Marrocos e da península Ibérica. O transporte integrado de vapor de água a sul dos Açores é de um pouco a norte de oeste. A direção do transporte altera-se ao longo da região de anomalia positiva. Junto à costa portuguesa e a oeste da Irlanda o transporte de vapor de água é aproximadamente de sul. Na maior parte da restante área representada no mapa, a anomalia é ligeiramente negativa ou muito próxima de zero. Existem, no entanto, duas regiões onde a anomalia é mais negativa. Uma delas situa-se a noroeste dos Açores e a outra inclui França, o golfo da Biscaia e a parte mais ocidental do mar Mediterrâneo.

No caso do tipo de tempo de sudoeste, existe uma região de anomalia positiva do transporte integrado de vapor de água bastante elevada que inclui o oceano a sudoeste, oeste e norte da península Ibérica, a península, o oeste de França, o sul das ilhas Britânicas e a parte mais noroeste de Marrocos. A sul dos Açores, o transporte de vapor de água é de um pouco a norte de oeste, mas vai mudando e, na zona de Portugal continental, é de sudoeste. Este tipo de tempo parece estar associado a um grande transporte de vapor de água de sudoeste para Portugal. Na maior parte da restante área representada no mapa, a anomalia é ligeiramente negativa ou muito próxima de zero, havendo apenas uma região, a norte dos Açores, onde o valor absoluto da anomalia é elevado.

O mapa do tipo de tempo de oeste apresenta uma região de anomalia positiva do transporte integrado de vapor de água com valores bastante elevados, onde está incluído o oceano Atlântico a oeste e norte da península Ibérica, esta península, o norte de Marrocos e da Argélia, França, a parte mais ocidental do mar Mediterrâneo e Itália. A oeste de Portugal, o transporte de vapor de água é, aproximadamente, de oeste. Em Espanha e França, o transporte já é de sudoeste. Nos dias a que está associado este tipo de tempo em Portugal, deverá haver um grande transporte de vapor de água de oeste para este país. Também é visível neste mapa uma região a oeste das ilhas Britânicas onde a anomalia é negativa. Em quase todo o resto do mapa, a anomalia é também inferior a zero mas com um valor absoluto mais baixo.

No mapa do tipo de tempo de noroeste, a anomalia é ligeiramente positiva ou muito próxima de zero em quase toda a área representada. Na zona da península Ibérica, do oceano a oeste de Portugal, do norte de Marrocos e do oeste do mar Mediterrâneo, esta anomalia é um pouco mais elevada. Neste caso, o transporte integrado de vapor de água para Portugal é de noroeste. Existe uma região de anomalia negativa que engloba o oceano a sul da Islândia, essa ilha, o oceano a oeste e sudoeste da Escandinávia, o sul da Noruega e da Suécia, as ilhas Britânicas, o noroeste de França, a Bélgica, os Países Baixos, a Alemanha, a Dinamarca, o oeste da Chéquia e da Áustria, a maior parte da Polónia e da Bielorrússia, os países Bálticos e o sul do mar Báltico. Há também uma área de anomalia negativa a sul do arquipélago dos Açores.

O mapa correspondente ao tipo de tempo de norte mostra uma região de anomalia negativa que abrange desde o oceano a oeste das ilhas Canárias e da Madeira até à costa sudoeste da Noruega, incluindo o arquipélago dos Açores, o oeste da península Ibérica, o noroeste de França, as ilhas Britânicas, a Bélgica, os Países Baixos e a parte mais noroeste da Alemanha. A anomalia do transporte integrado de vapor de água é positiva em quase toda a restante área do mapa.

No caso do tipo de tempo ciclónico, existe uma região de anomalia positiva que tem os seus valores mais elevados na zona do estreito de Gibraltar mas que abrange o Saara Ocidental, Marrocos, a Argélia, quase toda a península Ibérica, o oceano Atlântico a oeste de Marrocos e a sul da península Ibérica e o sudoeste do mar Mediterrâneo. Nesta região de anomalia positiva, o transporte é de noroeste a sudeste dos Açores, de oeste junto à costa atlântica de Marrocos e de sudoeste em Espanha. Esta região constitui a parte sudeste de um ciclone. Há outra área de anomalia positiva que inclui o oceano a sudoeste e nordeste da Islândia, esse país e o oceano a norte da Noruega. Também é visível uma grande região de anomalia negativa do transporte integrado de vapor de água que tem valores absolutos mais elevados

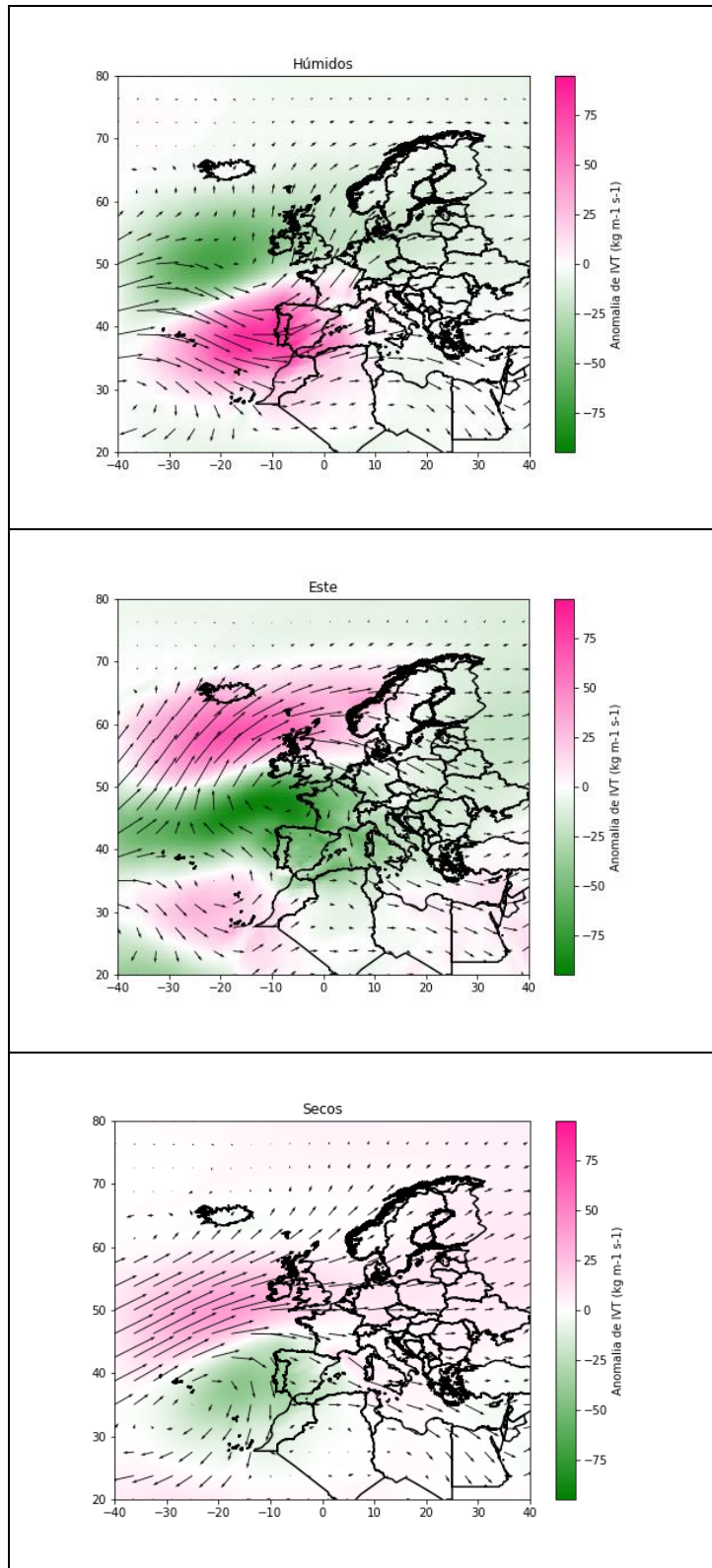
entre os Açores e a Grã-Bretanha mas abrange quase toda a Europa com exceção da península Ibérica, da Grécia, do norte da Suécia e da Finlândia e do centro e norte da Noruega.

No mapa correspondente ao tipo de tempo anticiclónico, existe uma região de anomalia positiva que vai desde uma zona a sudoeste dos Açores até ao sul da Escandinávia e à Dinamarca. Esta área inclui também as ilhas Britânicas, a maior parte de França, a Bélgica, os Países Baixos, a Alemanha e grande parte da Chéquia e da Polónia. Na região de oceano entre os Açores e a Irlanda, onde a anomalia é maior, o transporte é de sudoeste. Na zona de França e da Alemanha, já é de oeste. A anomalia do transporte integrado de vapor de água é negativa em quase toda a restante área do mapa. Destacam-se duas zonas onde o valor absoluto da anomalia é maior. Uma delas fica na região da península Ibérica, Marrocos e oceano a oeste destas áreas e a outra situa-se a sudoeste da Islândia.

Considerando que os rios atmosféricos se caracterizam por um grande transporte de vapor de água, os tipos de tempo que apresentam maiores anomalias positivas do transporte integrado de vapor de água junto a Portugal deverão ser os mais associados à chegada de rios atmosféricos a este país. O sentido do transporte deverá ser do oceano Atlântico para Portugal. Observando os mapas da figura 3.6, é possível verificar que as anomalias mais positivas do transporte de vapor de água para Portugal correspondem aos tipos de tempo de sudoeste e oeste. Estes são também dois dos tipos de tempo (juntamente com o ciclónico) que apresentam maiores anomalias da precipitação em Portugal, de acordo com a figura 3.5, e os que apresentam maiores anomalias da humidade relativa, como mostra a figura 3.4. O mapa do tipo de tempo de sul da figura 3.6 também mostra uma anomalia positiva do transporte integrado de vapor de água junto a Portugal mas, neste caso, a direção do transporte não parece ser exatamente para este país. O mapa do tipo de tempo de noroeste apresenta igualmente um transporte de vapor de água do oceano Atlântico para Portugal, neste caso de noroeste, numa região de anomalia positiva do transporte integrado de vapor de água. No entanto, esta anomalia não tem um valor tão elevado como nos casos referidos anteriormente.

Tendo em conta as suas características em termos de padrões de vapor de água e humidade, os tipos de tempo foram novamente agrupados como na figura 3.2 em tipos de tempo húmidos (SW, W, NW e C), de este (E, SE e S) e secos (NE, N e A) (figura 3.7).

O mapa dos tipos de tempo húmidos apresenta uma região de anomalia positiva que inclui a península Ibérica, Marrocos, o oceano Atlântico a oeste destas zonas e também um pouco a norte de Espanha, a parte mais oeste do mar Mediterrâneo e a maior parte de França, Itália, Argélia e Tunísia. Nesta área, o transporte integrado de vapor de água é de noroeste junto ao arquipélago dos Açores, de oeste perto da costa ocidental ibérica e marroquina e de sudoeste na maior parte de Espanha e França. Em quase toda a restante área representada, a anomalia é negativa, embora se destaque uma região a noroeste da que foi anteriormente referida onde a anomalia tem um maior valor absoluto, situada a oeste e sudoeste das ilhas Britânicas.



**Fig. 3.7:** Anomalia do transporte integrado de vapor de água ( $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ) e campo do transporte integrado de vapor de água médio para os dias a que estão associados tipos de tempo pertencentes a cada um dos grupos: húmidos (SW, W, NW e C), este (E, SE e S) e secos (NE, N e A).

No caso dos tipos de tempo do grupo de este, existe uma região de anomalia negativa que tem os maiores valores absolutos na península Ibérica, em França e no oceano Atlântico a oeste destas áreas mas que inclui também quase todo o resto da Europa (com exceção da Escandinávia e da Dinamarca), o sul das

ilhas Britânicas, a maior parte do mar Mediterrâneo, o norte de Marrocos, grande parte da Argélia e da Líbia e a Tunísia. É também visível uma região onde a anomalia do transporte integrado de vapor de água é positiva e que abrange a Islândia, o oceano a sudoeste, sul, sudeste e este deste país, o norte das ilhas Britânicas, a Dinamarca, o sul e centro da Noruega e o centro da Suécia. A sul da Islândia, o transporte é de sudoeste, mas na Escandinávia já é de oeste. Há ainda uma área de anomalia positiva que inclui as ilhas Canárias, o arquipélago da Madeira, o oceano a oeste destas ilhas, o sul de Marrocos e o Saara ocidental. Nesta região, o transporte é de noroeste a oeste das Canárias e da Madeira e de sudoeste a este destas ilhas.

No mapa do conjunto de tipos de tempo secos, as anomalias não são tão fortes como nos anteriores. Destacam-se sobretudo uma anomalia negativa na região da península Ibérica, Marrocos, oceano a oeste destes locais e sudoeste do mar Mediterrâneo e uma anomalia positiva a oeste e sudoeste das ilhas Britânicas e nessas ilhas. Esta distribuição é bastante semelhante, embora oposta e menos intensa, à dos tipos de tempo húmidos.

## 4. Discussão e conclusões

Este trabalho teve o objetivo de relacionar os tipos de tempo e o transporte integrado de vapor de água (rios atmosféricos) que afetam Portugal. Para isso, foram calculadas as médias de algumas variáveis meteorológicas, incluindo do transporte integrado de vapor de água, em Portugal e numa grande área em redor deste país nos dias correspondentes a cada um dos tipos de tempo puros. A classificação de tipos de tempo, que é uma forma de integrar vários parâmetros meteorológicos num único índice (Eiras-Barca et al., 2018), tem sido usada para estudar outros temas em Portugal e em toda a península Ibérica. É o caso da precipitação (Trigo e DaCamara, 2000; Ramos et al., 2014), da ocorrência de relâmpagos (Ramos et al., 2011), secas (Russo et al., 2015) e das concentrações de poluentes atmosféricos (Russo et al., 2014). Não se conhece até ao momento e até ao limite do meu conhecimento nenhuma aplicação deste tipo de abordagem à análise de transporte por rios atmosféricos em Portugal. O transporte integrado de vapor de água permite relacionar os rios atmosféricos com os tipos de tempo, pois estas estruturas são caracterizadas precisamente por grandes transportes de vapor de água.

O cálculo das frequências relativas dos tipos de tempo em Portugal revelou o tipo de tempo anticiclónico como o mais frequente na totalidade do ano e na maior parte dos meses, estando de acordo com os resultados de Trigo e DaCamara (2000), Russo et al. (2014) e Ramos et al. (2014). Este tipo de tempo só não é o mais frequente no verão, quando é ultrapassado pelos tipos de tempo de nordeste e norte, respetivamente, o primeiro e segundo mais frequentes em todo o período considerado.

Não foi identificada nenhuma tendência significativa nas frequências anuais de três grupos de tipos de tempo (húmidos, de este e secos) entre 1979 e 2019.

Considerando os resultados obtidos, os tipos de tempo de oeste e sudoeste são os mais associados à ocorrência de rios atmosféricos em Portugal. Este não é um resultado inesperado. Em Trigo e DaCamara (2000), esses são dois dos três tipos de tempo que mais contribuem para a precipitação em Portugal (juntamente com o tipo ciclónico), embora estejam associados a uma pequena parte dos dias.

Não se encontram na literatura artigos que relacionem transporte integrado de vapor de água (rios atmosféricos) com tipos de tempo, especialmente no que toca a Portugal. Assim, é interessante comparar com o estudo de Eiras-Barca et al. (2018) que relaciona cheias, tipos de tempo e rios atmosféricos na Galiza. De acordo com esse artigo, os tipos de tempo de sudoeste e oeste são os mais frequentes em eventos de cheias em que há a presença de rios atmosféricos. Como essa é uma região tão próxima de

Portugal, é pertinente verificar que estes são também os tipos de tempo que neste trabalho parecem mais ligados a rios atmosféricos.

Também não parece impossível a ocorrência de rios atmosféricos em Portugal associada ao tipo de tempo de noroeste, tendo em conta que este tipo de tempo também apresenta uma anomalia positiva do transporte integrado de vapor de água para Portugal, da humidade relativa e da precipitação, embora estes valores sejam muito mais baixos do que nos casos referidos anteriormente.

No caso de tipo de tempo de sul, apesar de existir uma grande anomalia do transporte de vapor de água no oceano junto a Portugal, como este transporte não é em direção a este país e a anomalia da precipitação é negativa, parece pouco provável a ocorrência de rios atmosféricos em Portugal em dias a que está associado este tipo de tempo.

Os tipos de tempo de nordeste, este e anticiclónico, que apresentam anomalias negativas do transporte integrado de vapor de água e da precipitação na região de Portugal, aparentam ser aqueles a que mais dificilmente estará associada a ocorrência de rios atmosféricos em Portugal.

Seria interessante, se, no futuro, os dados dos tipos de tempo fossem associados a dados da ocorrência de rios atmosféricos que permitissem confirmar se estes são realmente os tipos de tempo mais frequentes quando estão presentes rios atmosféricos em Portugal e calcular, por exemplo, a percentagem de dias com rios atmosféricos associados a cada tipo de tempo. Poderia também ser analisada a relação entre rios atmosféricos, tipos de tempo e anomalias da precipitação como feito por Pohl et al. (2022) para a Nova Zelândia. Talvez fosse ainda relevante elaborar mapas semelhantes aos que são apresentados neste trabalho de diversas variáveis meteorológicas em dias associados aos diferentes tipos de tempo com e sem rios atmosféricos.

## 5. Referências

- Brands, S. Gutiérrez, J. & San-Martín, D. (2016). Twentieth-century atmospheric river activity along the west coasts of Europe and North America: algorithm formulation, reanalysis uncertainty and links to atmospheric circulation patterns. *Climate Dynamics*, 48, 2771–2795. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3095-6>
- Eiras-Barca, J. Brands, S. & Miguez-Macho, G. (2016). Seasonal variations in North Atlantic atmospheric river activity and associations with anomalous precipitation over the Iberian Atlantic Margin. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121, 931–948. <https://doi.org/10.1002/2015JD023379>
- Eiras-Barca, J. Lorenzo, N. Taboada, J. Robles, A. & Miguez-Macho, G. (2018). On the relationship between atmospheric rivers, weather types and floods in Galicia (NW Spain). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18, 1633–1645. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-1633-2018>
- Eiras-Barca, J. Ramos, A. M. Algarra, I. Vázquez, M. Dominguez, F. Miguez-Macho, G. Nieto, R. Gimeno, L. Taboada, J. & Ralph, F. M. (2021). European West Coast atmospheric rivers: A scale to characterize strength and impacts. *Weather and Climate Extremes*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2021.100305>
- Gimeno, L. Nieto, R. Vázquez, M. & Lavers, D. A. (2014). Atmospheric rivers: a mini-review. *Frontiers in Earth Science* 2. <https://doi.org/10.3389/feart.2014.00002>
- Guan, B. & Waliser, D. E. (2015). Detection of atmospheric rivers: Evaluation and application of an algorithm for global studies. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120, 12514–12535. <https://doi.org/10.1002/2015JD024257>
- Hersbach, H. Bell, B. Berrisford, P. Hirahara, S. Horányi, A. Muñoz-Sabater, J. Nicolas, J. Peubey, C. Radu, R. Schepers, D. Simmons, A. Soci, C. Abdalla, S. Abellan, X. Balsamo, G. Bechtold, P. Biavati, G. Bidlot, J. Bonavita, M. De Chiara, G. Dahlgren, P. Dee, D. Diamantakis, M. Dragani, R. Flemming, J. Forbes, R. Fuentes, M. Geer, A. Haimberger, L. Healy, S. Hogan, R. J. Hólm, E. Janisková, M. Keeley, S. Laloyaux, P. Lopez, P. Lupu, C. Radnoti, G. de Rosnay, P. Rozum, I. Vamborg, F. Villaume, S. & Thépaut, J.-N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146, 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- Huth, R. Beck, C. Phillipp, A. Demuzere, M. Ustrnul, Z. Cahynová, M. Kyselý, J. & Tveito, O. E. (2008). Classifications of atmospheric circulation patterns: recent advances and applications. *Trends and Directions in Climate Research Annals of the New York Academy of Sciences*, 1146, 105–152. <https://doi.org/10.1196/annals.1446.019>
- Huth, R. Beck, H. & Tveito, O. E. (2010). Preface. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 35, 307–308. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.06.005>
- Lavers, D. A. Villarini, G. Allan, R. P. Wood, E. F. & Wade, A. J. (2012). The detection of atmospheric rivers in atmospheric reanalyses and their links to British winter floods and the large-scale climatic circulation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117. <https://doi.org/10.1029/2012JD018027>
- Payne, A. E. Demory, M.-E. Leung, L. R. Ramos, A. M. Shields, C. A. Rutz, J. J. Siler, N. Villarini, G. Hall, A. & Ralph, F. M. (2020). Responses and impacts of atmospheric rivers to climate change. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1, 143–157. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0030-5>
- Pereira, S. Ramos, A. M. Rebelo, L. Trigo, R. M. & Zêzere, J. L. (2018). A centennial catalogue of hydro-geomorphological events and their atmospheric forcing. *Advances in Water Resources*, 122, 98–112. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2018.10.001>

- Philipp, A. Bartholy, J. Beck, C. Erpicum, M. Esteban, P. Fettweis, X. Huth, R. James, P. Jourdain, S. Kreienkamp, F. Krennert, T. Lykoudis, S. Michalides, S. C. Pianko-Kluczynska, K. Post, P. Álvarez, D. R. Schiemann, R. Spekat, A. & Tymvios, F. S. (2010). Cost733cat – A database of weather and circulation type classifications. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 35, 360-373. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2009.12.010>
- Pires, A. C. (2020). Sabia que Existem Rios Atmosféricos?. *National Geographic*. Acedido em 26 de abril de 2022, em: <https://www.natgeo.pt/ciencia/2020/12/sabia-que-existem-rios-atmosfericos>.
- Pohl, B. Prince, H. D. Wille, J. Kingston, D. G. Cullen, N. J. & Fauchereau, N. (2022). Atmospheric Rivers and Weather Types in Aotearoa New Zealand: a two-way story. <https://doi.org/10.1002/essoar.10511503.1>
- Ralph, F. M. Dettinger, M. D. Cairns, M. M. Galarnau, T. J. & Eylander, J. (2018). Defining “Atmospheric River”: How the Glossary of Meteorology Helped Resolve a Debate. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 99, 837–839. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-17-0157.1>
- Ralph, F. M. Rutz, J. J. Cordeira, J. M. Dettinger, M. Anderson, M. Reynolds, D. Schick, L. J. & Smallcomb, C. (2019). *Bulletin of the American Meteorological Society*, 100, 269–289. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-18-0023.1>
- Ramos, A. M. Ramos, R. Sousa, P. Trigo, R. M. Janeira, M. & Prior, V. (2011). Cloud to ground lightning activity over Portugal and its association with circulation weather types. *Atmospheric Research* 101, 84-101. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.01.014>
- Ramos, A. M. Cortesi, N. & Trigo, R. M. (2014). Circulation weather types and spatial variability of daily precipitation in the Iberian Peninsula. *Frontiers in Earth Science*, 2. <https://doi.org/10.3389/feart.2014.00025>
- Ramos, A. M. Barriopedro, D. & Dutra, E. (2015a). Circulation weather types as a tool in atmospheric, climate, and environmental research. *Frontiers in Environmental Science*, 3. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2015.00044>
- Ramos, A. M. Trigo, R. M. Liberato, M. L. R. & Tomé, R. (2015b). Daily Precipitation Extreme Events in the Iberian Peninsula and Its Association with Atmospheric Rivers\*. *Journal of Hydrometeorology*, 16, 579-597. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-14-0103.1>
- Russo, A. Trigo, R. M. Martins, H. & Mendes, M. T. (2014). NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> and O<sub>3</sub> urban concentrations and its association with circulation weather types in Portugal. *Atmospheric Environment*, 89, 768-785. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.02.010>
- Russo, A. C. Gouveia, C. M. Trigo, R. M. Liberato, M. L. R. & DaCamara, C. C. (2015). The influence of circulation weather patterns at different spatial scales on drought variability in the Iberian Peninsula. *Frontiers in Environmental Science*, 3. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2015.00001>
- Tomás, C. de Pablo, F. & Soriano, L. R. (2004). Circulation weather types and cloud-to-ground flash density over the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 24, 109-123. <https://doi.org/10.1002/joc.917>
- Trigo, R. M. & DaCamara, C. C. (2000). Circulation weather types and their influence on the precipitation regime in Portugal. *International Journal of Climatology*, 20, 1559-1581. [https://doi.org/10.1002/1097-0088\(20001115\)20:13<1559::AID-JOC555>3.0.CO;2-5](https://doi.org/10.1002/1097-0088(20001115)20:13<1559::AID-JOC555>3.0.CO;2-5)
- Weill, A. (2021). Rivers in the Sky: 6 Facts You Should Know about Atmospheric Rivers. USGS. Acedido em 26 de abril de 2022, em: <https://www.usgs.gov/news/featured-story/rivers-sky-6-facts-you-should-know-about-atmospheric-rivers>.