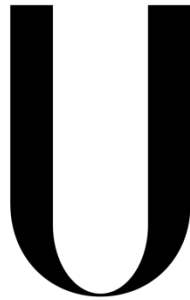


Universidade de Lisboa  
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**LISBOA**

---

UNIVERSIDADE  
DE LISBOA

**Evolução recente e futura das condições de aridez em Portugal  
Continental: Aplicação de índices bioclimáticos**

**Vanessa Filipa Mendes Lopes**

Dissertação orientada  
pelo Prof. Doutor Marcelo Henrique Carapito Martinho Fragoso

Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território

2021

Universidade de Lisboa  
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Evolução recente e futura das condições de aridez em Portugal  
Continental: Aplicação de índices bioclimáticos**

**Vanessa Filipa Mendes Lopes**

Dissertação orientada  
pelo Prof. Doutor Marcelo Henrique Carapito Martinho Fragoso

Júri:

Presidente: Professor Doutor António Manuel Saraiva Lopes do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

Vogais:

- Professora Doutora Cristina Maria Mendes Andrade da Unidade Departamental de Matemática e Física do Instituto Politécnico de Tomar e Diretora do Laboratório de Investigação Aplicada em Riscos Naturais, NHRC.ipt
- Professor Doutor Marcelo Henrique Carapito Martinho Fragoso do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa



## Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer ao Prof. Doutor Marcelo Fragoso, pelo acompanhamento e ajuda na construção desta dissertação, sendo ele uma peça essencial e sem ele este trabalho não seria o mesmo. Queria também agradecer ao Prof. Ezequiel Correia pela ajuda na construção dos mapas.

Queria também agradecer à minha família e amigos. Aos meus pais por me apoiarem nas minhas decisões, por estarem sempre comigo nos bons e maus momentos, pelo companheirismo, pela paciência que tiveram, e claro, por me pagarem o curso, mesmo sabendo que por vezes foi difícil. À minha irmã Joana, por me distrair e divertir nos momentos mais negros, e por ser a melhor irmã que uma pessoa pode ter. Aos meus avós maternos, pela paciência que tiveram a ouvirem-me vezes sem conta a falar sobre as minhas dificuldades na dissertação. Aos meus avós paternos também deixo o meu agradecimento, à minha avó que, apesar da distância, sempre se preocupou comigo e teve sempre interesse em saber como ia correndo a minha dissertação, e ao meu avô que, apesar de já não estar cá, sei que se sentiria orgulhoso da sua neta mais velha. Aos meus tios, tias, primos e primas, Padrinho e Madrinha, pelas conversas que tivemos e que me fizeram rir, chorar e refletir sobre vários temas.

Gostava de agradecer a todos os meus amigos, mas principalmente às minhas duas melhores amigas, à Cátia que conheço desde o 5º ano, pela ajuda nos meus momentos mais baixos e por estares comigo nos meus melhores momentos e pelo companheirismo que sempre me demonstrou. E também não poderia esquecer-me da Sara, que eu conheci no IGOT e que tal como a Cátia, esteve comigo nos meus melhores, mas também nos meus piores momentos, e que as nossas idas à Feira do Livro continuem durante muitos anos.

Por fim, gostava de agradecer à Doutora Sofia Brissos, que me ajudou numa das piores fases da minha vida.



## Resumo

Nos últimos anos, tem-se assistido a um crescente interesse na investigação das alterações climáticas e dos seus impactos, tanto no presente como no futuro. Em Portugal também têm sido desenvolvidos inúmeros trabalhos sobre o tema, abordando o aumento das temperaturas, a diminuição da precipitação, o aumento dos eventos extremos, entre outros tópicos. No entanto, a questão da aridez e da sua evolução acaba por não ser um dos temas mais tratados, apesar da sua importância para vários aspetos como na biodiversidade, cultura, economia e até no nosso modo de vida, sendo por isso o tema proposto para a realização deste trabalho.

Para o estudo evolutivo da aridez em Portugal Continental foram estabelecidos dois períodos temporais, o período recente definido pelos anos 1971 a 2015, e o período futuro, pelo espaço de trinta anos entre 2041–2070. Utilizaram-se projeções climáticas de modelos regionais produzidos no âmbito do programa Euro-Cordex e consideraram-se dois patamares de estabilização de gases de efeitos de estufa, os conhecidos cenários RCP4.5 e RCP8.5. Adotaram-se quatro índices climáticos de aridez, nomeadamente, o Índice de Aridez de De Martonne, o Índice de Aridez de Emberger, o Índice de Aridez de Bagnouls-Gausson e o Índice de Aridez de Thornthwaite.

No caso do período recente, verificou-se a uma tendência de ligeiro aumento das condições de aridez para Portugal Continental, principalmente no sul do território. No entanto, esse incremento não foi muito expressivo, ainda que revelado pelos quatro índices usados, concretizando-se num aumento ligeiro da representação das classes de maior aridez.

Para o período futuro, os cenários apresentam-nos um aumento generalizado das condições de aridez em Portugal Continental, sendo os maiores aumentos registados nas classes associadas a aridez mais marcada e quando se considera um dos modelos regionais utilizados (SMHI) e o cenário RCP8.5. Esta aumento projetado já para meados do século é muito significativo, antevendo-se que o agravamento do stress hídrico no território português possa ter efeitos a nível socioeconómico, na biodiversidade, no aumento dos incêndios florestais, entre outros problemas, suscitando a aplicação de medidas de adaptação e mitigação imediatas e nos próximos anos.

**Palavras-Chave:** Aridez, Índices de Aridez, Temperatura, Precipitação, Evapotranspiração Potencial, Forçamento Radiativo, Modelos Climáticos, Cenários RCP



## Abstract

In recent years, there has been a growing interest in investigating climate change and its impacts, both now and in the future. In Portugal, numerous works on the theme were also developed, addressing the rising trend of air temperatures, the decrease of rainfall, the frequency of extreme events, among other items. However, the question of aridity and its evolution remains as a lesser discussed topic, despite its importance for various aspects such as biodiversity, culture, economics and even in the way of life, being therefore the theme proposed for the carrying out this work.

In this study, the evolution of climate aridity in Mainland Portugal is diagnosed, considering two periods, the recent period defined by the years 1971 to 2015, and the future period, for the span of thirty years between 2041–2070. Climatic projections of regional models produced within the scope of the Euro-Cordex program were used and two levels of greenhouse gas pathways were considered, the well-known scenarios RCP4.5 and RCP8.5. Four aridity climatic indices were adopted, namely the De Martonne Aridity Index, the Emberger Aridity Index, the Bagnouls-Gausson Aridity Index and the Thornthwaite Aridity Index.

In the case of the recent period, there was a tendency for a slight increase of aridity conditions for Mainland Portugal, mainly in the south of the territory. However, this increase was not very significant, although revealed by the four indexes used, resulting in a slight increase in the representation of the most arid classes.

For the future period, the simulations indicate a general increase of aridity conditions in Mainland Portugal, with the strongest increases registered in the classes associated with more marked aridity and when considering one of the regional models used (SMHI) and the RCP8.5 scenario. This increase projected for the middle of the century is very significant, and it is anticipated that the worsening of water stress in Portuguese territory may have effects on socioeconomic level, on biodiversity, on the increase of forest fires, among other problems, thus the immediate application of adaptation and mitigation measures in the upcoming years should be a priority.

**Keywords:** Aridity, Aridity Indexes, Temperature, Precipitation, Potential Evapotranspiration, Radiative Forcing, Climate Models, RCP Scenarios



# Índice

<b>Agradecimentos</b> .....	I
<b>Resumo</b> .....	III
<b>Abstract</b> .....	V
<b>Índice de Figuras</b> .....	IX
<b>Índice de Tabelas</b> .....	XI
<b>1 - Introdução</b> .....	1
<b>2 - Aridez e a sua Avaliação</b> .....	3
2.1 - Conceito de Aridez .....	3
2.2 - Índices de Aridez .....	5
2.3 - A avaliação da aridez em Portugal .....	9
<b>3 - Dados e Métodos</b> .....	13
3.1 - Área de Estudo .....	13
3.2 - Dados.....	15
3.3 - Índices de Aridez .....	22
3.4 - Criação de mapas .....	25
3.5 - Criação de tabelas .....	26
<b>4 - Resultados</b> .....	29
4.1 - Índice de Aridez de De Martonne .....	29
4.1.1 - Períodos 1971–1990 e 1986–2015 .....	29
4.1.2 - Período 2041–2070 de acordo com o modelo KNMI nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 .....	32
4.1.3 - Período 2041–2070 de acordo com o modelo SMHI nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 .....	38
4.2 - Índice de Aridez de Emberger .....	43
4.2.1 - Períodos 1971-1990 e 1986–2015 .....	43
4.2.2 - Período 2041–2070 de acordo com o modelo KNMI nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 .....	46
4.2.3 - Período 2041–2070 de acordo com o modelo SHMI nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 .....	51
4.3 - Índice de Aridez de Bagnouls-Gaussen .....	56
4.3.1 - Períodos 1971-1990 e 1986–2015 .....	56
4.3.2 - Período 2041–2070 de acordo com o modelo KNMI nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 .....	59

4.3.3 - Período 2041–2070 de acordo com o modelo SMHI nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 .....	65
4.4 - Índice de Aridez de Thornthwaite.....	71
4.4.1 - Períodos 1971-1990 e 1986–2015 .....	71
4.4.2 - Período 2041–2070 de acordo com o modelo KNMI nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 .....	74
4.4.3 - Período 2041–2070 de acordo com o modelo SMHI nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 .....	81
4.5 - Discussão dos resultados .....	88
<b>5 - Conclusão.....</b>	<b>93</b>
<b>Bibliografia.....</b>	<b>95</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>103</b>
Índice de Aridez de De Martonne.....	103
Índice de Aridez de Emberger.....	104
Índice de Aridez de Bagnouls-Gausson.....	105
Índice de Aridez de Thornthwaite.....	108

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> - Índice de Aridez de De Martonne para a região da Calabria no Sul de Itália no período de 1951–2015 (Extraído de: Pellicone et al., 2019) .....	6
<b>Figura 2</b> - Índice de Aridez de Emberger para a Região de Rajasthan na Índia para o período de 1969–2015 (Extraído de: Gunawat et al., 2016) .....	7
<b>Figura 3</b> - Índice de Aridez de Thornthwaite para a Grécia no período de 1961–1990 (Extraído de Nastos et al., 2013).....	9
<b>Figura 4</b> - Índice Xerotérmico de Gausson (Esquerda) e Quociente Pluviométrico de Emberger (Direita) para Portugal Continental no período de 1960–1971 (Extraído de Alcoforado et al., 2009) .....	10
<b>Figura 5</b> - Tendências apresentadas no Índice de Intensidade e Aridez para 1940 a 1990 (Extraído de Costa et al., 2012).....	11
<b>Figura 6</b> - Índice de Aridez de De Martonne para o período de 1960–2017 para a Península Ibérica (Extraído de Paniagua et al., 2019) .....	11
<b>Figura 7</b> - Tipos de climas em Portugal Continental de acordo com a Classificação Climática de Köppen (extraído de: IPMA).....	14
<b>Figura 8</b> - Regiões climáticas de acordo com Ferreira (Extraído de: Ferreira, 2005).....	15
<b>Figura 9</b> - Índice de Aridez de De Martonne para o período 1971–1990 .....	31
<b>Figura 10</b> - Índice de Aridez de De Martonne para o período de 1986–2015 .....	31
<b>Figura 11</b> - Índice de Aridez de De Martonne para o período 2041–2070 (KNMI RCP4.5).....	33
<b>Figura 12</b> - Índice de Aridez de De Martonne para o período 2041–2070 (KNMI RCP8.5).....	33
<b>Figura 13</b> - Índice de Aridez de De Martonne para o período 2041–2070 (SMHI RCP4.5).....	39
<b>Figura 14</b> - Índice de Aridez de De Martonne para o período 2041–2070 (SMHI RCP8.5).....	39
<b>Figura 15</b> - Índice de Aridez de Emberger para o período 1971-1990.....	45
<b>Figura 16</b> - Índice de Aridez de Emberger para o período 1986–2015 .....	45
<b>Figura 17</b> - Índice de Aridez de Emberger para o período 2041–2070 (KNMI RCP4.5) .....	47
<b>Figura 18</b> - Índice de Aridez de Emberger para o período 2041–2070 (KNMI RCP8.5) .....	47
<b>Figura 19</b> - Índice de Aridez de Emberger para o período 2041–2070 (SMHI RCP4.5).....	52
<b>Figura 20</b> - Índice de Aridez de Emberger para o período 2041–2070 (SMHI RCP8.5).....	52
<b>Figura 21</b> - Índice de Aridez de Bagnouls-Gausson para o período 1971-1990 .....	58
<b>Figura 22</b> - Índice de Aridez de Bagnouls-Gausson para o período 1985-2015 .....	58
<b>Figura 23</b> - Índice de Aridez de Bagnouls-Gausson para o período 2041–2070 (KNMI RCP4.5). 60	
<b>Figura 24</b> - Índice de Aridez de Bagnouls-Gausson para o período 2041–2070 (KNMI RCP8.5). 60	
<b>Figura 25</b> - Índice de Aridez de Bagnouls-Gausson para o período 2041–2070 (SMHI RCP4.5). 66	

<b>Figura 26</b> - Índice de Aridez de Bagnouls-Gausson para o período 2041–2070 (SMHI RCP8.5) .	66
<b>Figura 27</b> - Índice de Aridez de Thornthwaite para o período 1971-1990.....	73
<b>Figura 28</b> - Índice de Aridez de Thornthwaite para o período 1986–2015 .....	73
<b>Figura 29</b> - Índice de Aridez de Thornthwaite para o período 2041–2070 (KNMI RCP4.5) .....	75
<b>Figura 30</b> - Índice de Aridez de Thornthwaite para o período 2041–2070 (KNMI RCP8.5) .....	75
<b>Figura 31</b> - Índice de Aridez de Thornthwaite para o período 2041–2070 (SMHI RCP4.5).....	82
<b>Figura 32</b> - Índice de Aridez de Thornthwaite para o período 2041–2070 (SMHI RCP8.5).....	82

## Índice de Tabelas

<b>Tabela 1</b> - Coeficiente K para Portugal Continental (Extraído de: Ramos, 2005) .....	20
Tabela 2 - A Reserva Útil do solo (mm) segundo diferentes combinações do tipo de solo e da vegetação (Extraído de: Ramos, 2005).....	21
<b>Tabela 3</b> - Classes do Índice de Aridez de De Martonne.....	23
<b>Tabela 4</b> - Classes do Índice de Aridez de Emberger .....	23
<b>Tabela 5</b> - Classes do Índice de Aridez de Bagnouls-Gausson.....	24
<b>Tabela 6</b> - Classes do Índice de Aridez de Thornthwaite .....	25
<b>Tabela 7</b> - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1971–1990 e 1986–2015 de acordo com o Índice de Aridez de De Martonne .....	30
<b>Tabela 8</b> - Valores em área, percentagem e diferença entre cada classe para o período 2041–2070 nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 no modelo KNMI, de acordo com o Índice de Aridez de De Martonne .....	32
<b>Tabela 9</b> - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP4.5, modelo KNMI de acordo com o Índice de Aridez de De Martonne .....	34
<b>Tabela 10</b> - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP8.5, modelo KNMI de acordo com o Índice de Aridez de De Martonne .....	36
<b>Tabela 11</b> - Valores em área, percentagem e diferença entre cada classe para o período 2041–2070 nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 no modelo SMHII, de acordo com o Índice de Aridez de De Martonne .....	38
<b>Tabela 12</b> - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP4.5, modelo SMHI de acordo com o Índice de Aridez de De Martonne .....	40
<b>Tabela 13</b> - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP8.5, modelo SMHI de acordo com o Índice de Aridez de De Martonne .....	42
Tabela 14 - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1971–1990 e 1986–2015 de acordo com o Índice de Aridez de Emberger .....	43
<b>Tabela 15</b> - Valores em área, percentagem e diferença entre cada classe para o período 2041–2070 nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 no modelo KNMI de acordo com o Índice de Aridez de Emberger.....	46

<b>Tabela 16</b> - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP4.5, modelo KNMI de acordo com o Índice de Aridez de Emberger .....	48
<b>Tabela 17</b> - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP8.5, modelo KNMI de acordo com o Índice de Aridez de Emberger .....	49
<b>Tabela 18</b> - Valores em área, percentagem e diferença entre cada classe para o período 2041–2070 nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 no modelo SMHI de acordo com o Índice de Aridez de Emberger .....	51
<b>Tabela 19</b> - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP4.5, modelo SMHI de acordo com o Índice de Aridez de Emberger .....	53
<b>Tabela 20</b> - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP8.5, modelo SMHI de acordo com o Índice de Aridez de Emberger .....	54
<b>Tabela 21</b> - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1971–1990 e 1986–2015 de acordo com o Índice de Aridez de Bagnouls-Gaussen .....	56
<b>Tabela 22</b> - Valores em área, percentagem e diferença entre cada classe para o período 2041–2070 nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 no modelo KNMI de acordo com o Índice de Aridez de Bagnouls-Gaussen .....	59
<b>Tabela 23</b> - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP4.5, modelo KNMI de acordo com o Índice de Aridez de Bagnouls-Gaussen .....	61
<b>Tabela 24</b> - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP8.5, modelo KNMI de acordo com o Índice de Aridez de Bagnouls-Gaussen .....	63
<b>Tabela 25</b> - Valores em área, percentagem e diferença entre cada classe para o período 2041–2070 nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 no modelo SMHI de acordo com o Índice de Aridez de Bagnouls-Gaussen .....	65
<b>Tabela 26</b> - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP4.5, modelo SMHI de acordo com o Índice de Aridez de Bagnouls-Gaussen .....	67
<b>Tabela 27</b> - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP8.5, modelo SMHI de acordo com o Índice de Aridez de Bagnouls-Gaussen .....	69

<b>Tabela 28</b> - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1971–1990 e 1986–2015 de acordo com o Índice de Aridez de Thornthwaite .....	71
<b>Tabela 29</b> - Valores em área, percentagem e diferença entre cada classe para o período 2041–2070 nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 no modelo KNMI de acordo com o Índice de Aridez de Thornthwaite.....	74
<b>Tabela 30</b> - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP4.5, modelo KNMI de acordo com o Índice de Aridez de Thornthwaite.....	76
<b>Tabela 31</b> - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP8.5, modelo KNMI de acordo com o Índice de Aridez de Thornthwaite.....	78
<b>Tabela 32</b> - Valores em área, percentagem e diferença entre cada classe para o período 2041–2070 nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 no modelo SMHI de acordo com o Índice de Aridez de Thornthwaite.....	81
<b>Tabela 33</b> - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP4.5, modelo SMHI de acordo com o Índice de Aridez de Thornthwaite.....	83
<b>Tabela 34</b> - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP8.5, modelo SMHI de acordo com o Índice de Aridez de Thornthwaite.....	85
<b>Tabela 35</b> - Percentagem de variação nas comparações para cada índice e período em estudo .....	92
<b>Tabela 36</b> - Exemplo do cálculo do Índice de Aridez de De Martonne para o período de 1986–2015 na latitude 39° e longitudes -6,3° a -9,5° .....	103
<b>Tabela 37</b> - Exemplo do cálculo do Índice de Aridez de Emberger para o período de 1986–2015 na latitude 39° e longitudes -8° a -9,5° .....	104
<b>Tabela 38</b> - Exemplo do cálculo dos Dias Secos e sua percentagem para o mês de Fevereiro no período de 1986–2015 na latitude 42,1° e longitude -6,9°.....	105
<b>Tabela 39</b> - Exemplo do cálculo do Índice de Aridez de Bagnouls-Gausson para o mês de Fevereiro no período de 1986–2015 na latitude 42,1° e longitudes -6,3° a -9,5° .....	106
<b>Tabela 40</b> - Exemplo do cálculo do Índice de Aridez de Bagnouls-Gausson para o período de 1986–2015 na latitude 42,1° e longitudes -8° a -9,5° (os valores negativos passam a valer 0) 107	
<b>Tabela 41</b> - Exemplo do cálculo do Índice de Humidade ( $I_h$ ) para o período de 1986–2015 na latitude 39° e longitudes -6,3° a -9,5° .....	108

<b>Tabela 42</b> - Exemplo do cálculo do Índice de Aridez ( $I_a$ ) para o período de 1986–2015 na latitude 39° e longitudes -6,3° a -9,5° .....	109
<b>Tabela 43</b> - Exemplo do cálculo do Índice de Aridez de Thornthwaite (Índice Geral de Humidade) para o período de 1986–2015 na latitude 39° e longitudes -6,3° a -9,5° .....	110

# 1 - Introdução

Nas últimas décadas, tem-se registado um aumento cada vez maior das consequências das alterações climáticas por todo o mundo. Portugal não é a exceção, sendo que cada vez mais estudos e trabalhos se debruçam sobre como as alterações climáticas podem afetar o nosso território e a nossa maneira de viver. Uma das consequências presentes nas alterações climáticas, prende-se com o aumento das temperaturas médias e com a diminuição da precipitação registada, sendo que, conjugadamente, estas condições originam o aumento das condições de aridez.

Apesar da sua grande importância, o tema do aumento das condições de aridez em Portugal ainda não foi muito explorado, principalmente no que diz respeito às projeções para o futuro, sendo esse um dos motivos para a escolha deste problema para a presente dissertação. Outra motivação prendeu-se com a escassez de trabalhos produzidos em Portugal com aplicação de diferentes índices climáticos de aridez, desde a publicação da 3ª edição, em 2009, do estudo de Alcoforado *et al.*, “Domínios Bioclimáticos em Portugal”. Por fim, o desenvolvimento recente de uma base de dados de alta resolução para a Península Ibérica (IBERIA01), com dados diários de temperatura e precipitação para o período de 1971–2015, acabou por ser um também estímulo à escolha deste tema de investigação.

Este trabalho tem como objetivos principais avaliar a evolução, no tempo e no espaço, dos valores de quatro índices de aridez no período recente de 1971–2015 e também da atualidade até meados do presente século (2041–2070). Quanto aos objetivos específicos, pretende-se: cartografar os valores dos índices de aridez em Portugal Continental; atualizar mapas já existentes sobre o tema; comparar e compreender os contrastes na distribuição espacial das classes de aridez, definidas por vários índices; discutir qual o melhor índice de aridez para a caracterização climática no nosso país; entender as diferenças espaciais na evolução presente e futura dos valores dos índices de aridez em Portugal Continental; e avaliar o agravamento das condições de aridez em Portugal Continental que se projeta até meados do presente século.

A dissertação está estruturada em 5 partes:

Na primeira parte irá ser discutido o conceito de aridez, sendo abordados os fatores condicionantes e as consequências deste fenómeno, documentando também como diferentes autores têm estudado o tema. Irão ser descritos os índices de aridez escolhidos para este estudo, apresentando as suas características e limitações, e referindo alguns trabalhos em que os

mesmos foram aplicados. Naturalmente, dar-se-á particular relevo aos trabalhos científicos efetuados em Portugal, no âmbito desta temática de investigação.

Numa segunda parte, serão detalhados os métodos e técnicas utilizados no trabalho, envolvendo a seleção e definição dos índices, os seus procedimentos de cálculo, o processamento dos resultados e sua demonstração e ilustração, quer sob a forma de tabelas, quer do ponto de vista cartográfico, materializada na produção de um conjunto organizado de mapas.

Na terceira parte, serão descritos e analisados os resultados obtidos, nomeadamente através da interpretação dos mapas e tabelas criados para cada índice, de acordo com os períodos (1971–1990, 1986–2015 e 2041–2070), modelos (KNMI e SMHI) e cenários (RCP4.5 e RCP8.5) adotados.

Na quarta parte, proceder-se-á à discussão dos resultados obtidos, de forma a caracterizar e compreender a evolução recente e futura das condições de aridez no território continental português. Far-se-á também uma breve reflexão sobre a utilização dos índices escolhidos, tentando perceber quais deles melhor mais se adequam às características climáticas de Portugal Continental.

A conclusão constitui a quinta e última secção da dissertação, referindo as ideias-chave que emergem da presente investigação e colocando algumas questões por elas suscitadas que poderão vir a ser exploradas em trabalhos futuros.

## 2 - Aridez e a sua Avaliação

### 2.1 - Conceito de Aridez

Nas últimas décadas tem-se verificado um aumento das áreas secas, que incluem as áreas áridas, semiáridas e sub-húmidas secas, cobrindo mais de 40% da superfície terrestre, sendo que quase 40% da população global vive nessas mesmas áreas que, supostamente são as mais suscetíveis no que diz respeito às alterações climáticas (Reynolds *et al.*, 2007; Maestre *et al.*, 2012; Huang *et al.*, 2019). Com o aumento das temperaturas e da frequência dos eventos de seca, provocados pelas alterações climáticas, as áreas em questão vão sofrer um aumento da aridez no futuro, segundo as projeções geradas pelos modelos climáticos (Huang *et al.*, 2019).

Existem diversas definições para o conceito de aridez, como a proposta por Pereira *et al.*, em 2002, que a definem como um desequilíbrio permanente da disponibilidade de água produzido pela natureza, decorrendo da baixa precipitação média anual e grande variabilidade espacial e temporal da precipitação, e resultando numa baixa humidade geral e na reduzida capacidade de carga (“*carrying capacity*”) dos ecossistemas. Greve *et al.* (2019), dizem-nos que a aridez é um conceito complexo, tendo como objetivo indicar e medir a percepção da *secura* climatológica à superfície da terra, sendo por isso definido como o grau de carência de humidade de um dado clima para sustentar a vida nos ecossistemas terrestres. De acordo com a *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), a aridez pode ser medida comparando a disponibilidade de água tanto a médio como a longo prazo, através da precipitação, e o consumo médio de água a longo prazo, através da evapotranspiração. Por isso, podemos dizer que se as necessidades de consumo são superiores à oferta de água, de uma forma permanente, o clima é árido. Ferreira (2005) refere que a aridez reflete um déficit pluviométrico habitual, que está ligado a outros fatores agravantes como a forte insolação, temperaturas elevadas, *secura* do ar e às suas combinações, resultando numa elevada perda de água no solo e na vegetação. A aridez aponta para um estado climático com carácter zonal e regional, que pode estar presente ao longo de todo o ano, como no caso dos desertos, ou durante uma estação do ano particular como no Mediterrâneo (no Verão).

De acordo com Wallén (1967), os fatores meteorológicos que controlam as condições de seca e aridez são a precipitação, a evaporação, a transpiração, a humidade do solo e o escoamento superficial. Ferreira (2005), acrescenta mais alguns fatores como as temperaturas elevadas, a forte insolação e a *secura* do ar. Quanto às causas para a ocorrência de secas, Wallén (1967) afirma que a aridez resulta da presença de ar seco e descendente, assim sendo as áreas áridas encontram-se em locais onde as condições anticiclónicas são persistentes, como é o caso das

regiões situadas sob os anticiclones subtropicais, que são determinantes para explicar a distribuição da maior parte das regiões áridas da Terra, com a exceção das zonas polares. As condições para a ocorrência de aridez ocorrem, também, nas margens das principais cadeias de montanhas que perturbam a estrutura dos ciclones que passam sobre elas, criando as chamadas “sombras de chuva”. A “sombra de chuva” de acordo com Dunn (1993) é uma área de terreno que foi forçada a tornar-se num deserto, devido à influência das cadeias montanhosas que bloqueiam as chuvas, essenciais ao crescimento das plantas.

O aumento do estado de aridez numa região pode provocar vários tipos de consequências que foram estudadas por autores como Dai (2003), Dutta e Chaudhuri (2015), Berg *et al.* (2017), Durán *et al.* (2018), entre outros. Primeiramente, o aumento da aridez faz com a região seja mais suscetível a desastres naturais e a perigos relacionados com as alterações climáticas, como a maior propensão a secas e a maior suscetibilidade à escassez de água. A aridez causa também défices de humidade no solo, perda da produtividade agrícola e na fertilidade dos solos, que, por sua vez, afetam a subsistência das populações que dependem da agricultura, fazendo com que haja uma degradação dos solos. Por outro lado, também o uso excessivo de solos secos de ecossistemas vulneráveis pode levar a uma gestão insustentável das terras. O aumento da aridez leva também a uma perda de biodiversidade, devido à diminuição da diversidade de plantas existentes na área, à mudança de ecossistemas e à diminuição do escoamento e captação de água durante um longo período, podendo levar à desertificação da área. A aridez provoca a redução da produtividade biológica e económica dos ecossistemas terrestres e, esta, pode representar uma ameaça séria para os processos ecológicos, bioquímicos e hidrológicos.

Diversos autores estudaram vários aspetos respeitantes à aridez e quais os seus fatores desencadeantes na região da Europa, focando-se em diferentes períodos do passado, presente e futuro, na sua maioria numa escala sub-regional, escala de países (nacional) ou numa escala local. Gao e Giorgi (2008) estudaram o aumento da aridez na região do Mediterrâneo através da aplicação de três formas de cálculo da aridez para estimar os possíveis efeitos das alterações climáticas, no final do século XXI, com o aumento das concentrações dos gases de efeito estufa, que são simuladas através de modelos regionais de alta resolução. Baltas (2006) baseou-se na distribuição espacial dos dados da precipitação e da temperatura do ar, e na representação de diferentes índices climáticos, para avaliar o clima da região do Norte da Grécia. Também na Grécia, Nastos *et al.* (2013), teve como objetivo estudar a variabilidade tanto espacial como temporal do Índice de Aridez, por década, num período de 50 anos (1951–2000) e, também, construir modelos climáticos do Índice de Aridez para o período de 1961–1990, que é considerado o período de referência, o período de 2021–2050 (futuro mais próximo) e o período

de 2071–2100 (futuro mais longínquo). Na Roménia, Paltineanu (2007) pretendeu compreender os diversos conceitos de aridez, e através dos índices de aridez perceber a sua influência nas diferentes paisagens e nas características dos solos, como o Deficit Hídrico e a profundidade dos carbonetos do solo. Hrnjak *et al.* (2014) estudou a aridez na Província de Vojvodina (Sérvia) através do cálculo do Índices de Aridez de De Martonne e do Índice Combinativo de Pinna, para o período 1949–2006.

Na Europa, uma das regiões que pode ser mais afetada pelas alterações climáticas e pelo aumento da extensão das áreas com climas áridos é a região Mediterrânica, onde os climatologistas identificam estes problemas como uma grave ameaça aos ecossistemas da região (Cramer *et al.*, 2018, Koutroulis, 2019, Wendt *et al.*, 2020). Nas áreas semiáridas do Mediterrâneo, existe uma grande incerteza do ponto de vista ecológico, que está relacionada com as consequências das alterações climáticas no século XXI, sendo que alguns modelos climáticos apontam para uma importante quebra da quantidade de água disponível para esta área, o que pode levar a consequências dramáticas para os ecossistemas naturais e para a agricultura (Jones *et al.*, 1996; Houghton *et al.*, 2001, Vicente-Serrano *et al.*, 2006). De acordo com Giorgi (2006) a área da Bacia do Mediterrâneo é tanto um hotspot no que diz respeito à biodiversidade como relativamente às alterações climáticas. As condições de aridez têm-se agravado nas últimas décadas devido a um aumento significativo do número de eventos de calor extremo e de seca (Diffenbaugh *et al.*, 2007, Hoerling *et al.*, 2012), o que reforça a ideia de que vai haver impactos severos na biodiversidade devido às alterações climáticas para esta área.

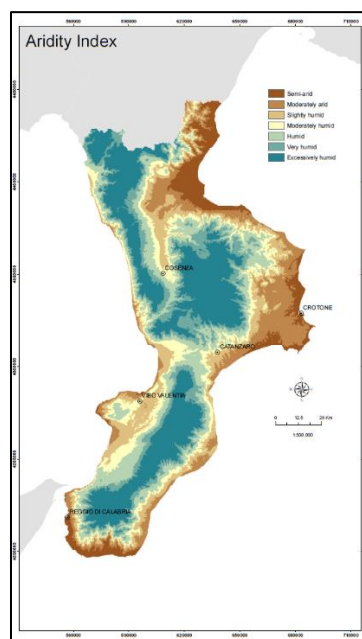
## 2.2 - Índices de Aridez

De acordo com Wallén (1967) existem três tipos de abordagem para classificar as áreas do mundo áridas e semiáridas, a abordagem clássica, a abordagem pelos índices e a abordagem pelo balanço hídrico. A abordagem clássica compreende o estudo de vários elementos climáticos fundamentais, como a precipitação e a temperatura, e a sua relação com as condições da vegetação ou da agricultura, aplicando vários métodos estatísticos que permitam identificar os critérios e/ou parâmetros que traduzam um significado particular nas condições de aridez. Cronologicamente, esta foi a primeira abordagem a ser aplicada e ainda poderá ser aplicada nas áreas em que as condições climatológicas não são suficientemente conhecidas ou numa área em que pelo menos existam dados suficientes para uma aplicação racional dos índices ou das fórmulas de balanço hídrico.

A abordagem pelos índices implica que, a fim de delimitar as áreas com vários graus de aridez, seja necessária a aplicação de vários índices standardizados que foram desenvolvidos a partir

dos estudos mais clássicos, ao longo dos anos, e incluindo um ou mais elementos climáticos, como a precipitação, a temperatura, a evaporação, entre outros. Os índices mais utilizados nesta abordagem foram criados por Lang (1920), Köppen (1931), Ångström (1936), De Martonne (1926), Emberger (1933) e Bagnouls-Gausson (1957), sendo estes três últimos índices de aridez utilizados neste trabalho, sendo, por isso, apresentados em detalhe.

O Índice de Aridez de De Martonne foi criado em 1926, pelo geógrafo francês Emmanuel De Martonne, no artigo *“Une nouvelle fonction climatologique: L'indice d'aridité”*, tratando-se de uma modificação (melhoramento) do índice que tinha sido anteriormente desenvolvido por Lang (1915). Este índice utiliza como indicadores a precipitação anual em mm e a temperatura média anual em °C no seu cálculo (a fórmula da equação deste índice estará presente no capítulo dos Dados e Métodos, sendo a equação 13). Atualmente é ainda um dos índices de aridez mais utilizados, apesar de ter sido criado há quase um século, devido à sua simplicidade e facilidade de utilização. No entanto, existem também algumas críticas ao seu uso, como foi logo expresso por Ångström (1936), como o facto de ser um índice desenvolvido para a região Mediterrânica, podendo o seu significado ser enganador noutras regiões, desaconselhando-se a sua aplicação fora desta região. Este autor critica também o facto deste índice, na sua visão, não ter um significado físico, já que o valor final é o resultado de operações matemáticas envolvendo variáveis expressas em unidades de pesquisa diferentes, nomeadamente, °C e mm. Este índice foi recentemente utilizado por autores como, Baltas (2007), Paltineanu (2007), Lungu *et al.* (2011), Hrnjak *et al.* (2014), Pellicone *et al.* (2019) (Figura 1), entre outros.



**Figura 1** - Índice de Aridez de De Martonne para a região da Calabria no Sul de Itália no período de 1951–2015 (Extraído de: Pellicone *et al.*, 2019)

Em 1933, o fitogeógrafo Louis Emberger no seu artigo “*Sur une formule climatique et ses applications en botanique*” apresentou uma fórmula alterada do índice de De Martonne em que é utilizada a temperatura máxima média do mês mais quente, a temperatura mínima média do mês mais frio e a precipitação anual (a fórmula da equação deste índice estará presente no capítulo dos Dados e Métodos, sendo a equação 14). Este índice é também um índice de fácil cálculo e, como salientou Raynal (1974), é um índice que é particularmente útil nas regiões mediterrânicas relativamente húmidas, onde a humidade atinge valores particularmente altos, mesmo na ausência de precipitação. No entanto, o índice apresenta algumas desvantagens, como a que foi apontada por Raynal (1974), referindo que este quociente não tem em conta o ritmo estacional das temperaturas e das chuvas, utilizando apenas a temperatura máxima e mínima dos meses mais quentes e frios, respetivamente, mas não tendo em conta os seus momentos de ocorrência. Ångström (1936) apresentou as mesmas críticas que fez para o Índice de Aridez de De Martonne para o Índice de Aridez de Emberger, o facto de o uso deste índice ser aconselhado para a área do Mediterrâneo, mas não aplicável noutras regiões e o facto de se usarem duas unidades de medida diferentes (mm e °C). Este índice foi utilizado por autores como Alcoforado (1982), Gunawat *et al* (2016) (Figura 2), Chowdhury (2018), entre outros.

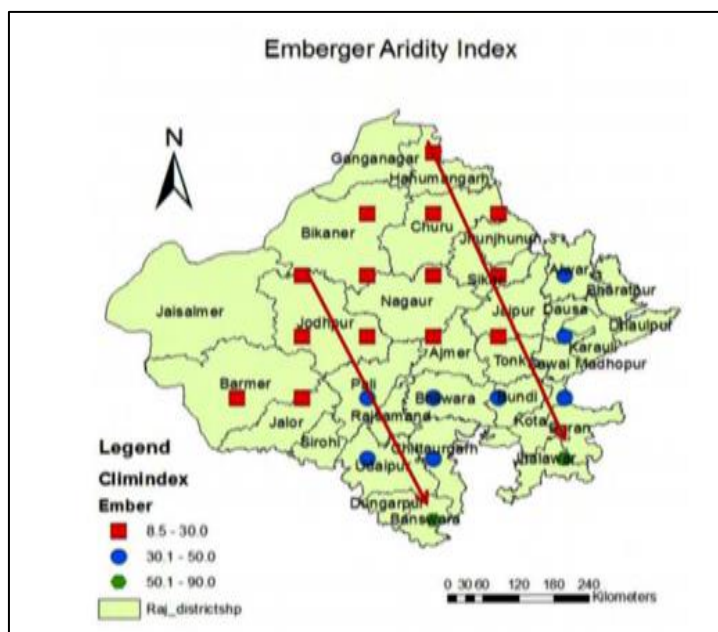


Figura 2 - Índice de Aridez de Emberger para a Região de Rajasthan na Índia para o período de 1969–2015 (Extraído de: Gunawat *et al.*, 2016)

O Índice de Aridez de Bagnouls-Gausson foi apresentado no artigo “*Les climats biologiques et leur classification*” em 1957, e tem em conta na sua equação o número de meses do ano, a precipitação total de um determinado mês, a temperatura média do mesmo mês e a

percentagem de meses em que  $2t_i - P_i > 0$  (definição de meses secos) (a fórmula da equação deste índice estará presente no capítulo dos Dados e Métodos, sendo a equação 15). Daget (1977) fez uma crítica a este índice pelo facto de não levar em conta o ritmo e o total da precipitação no período seco, ou seja, variando as reservas de água no solo no início da estação seca com as características da estação húmida, os efeitos prejudiciais da secura serão retardados para os locais que tiveram um maior volume de precipitação antes do período seco. Este índice foi utilizado por autores como Alcoforado (1982), Dengiz *et al.* (2005), Basso *et al.* (2010), Ladisa *et al.* (2012), Aslan *et al.* (2019), entre outros.

Por fim, a abordagem pelo Balanço Hídrico implica a aplicação do conceito de Balanço Hídrico, que pode ser determinado ou calculado através dos métodos de cálculo desenvolvidos por Prescott (1946), Penman (1948), Blaney e Criddle (1950), Turc (1955), e talvez o mais divulgado e que irá ser utilizado neste trabalho, o de Charles Thornthwaite (1948).

Em 1948, Thornthwaite no artigo *“An Approach Toward a Rational Classification of Climate”* criou uma forma de avaliar a aridez com várias equações que, ao contrário das anteriores, utiliza a Evapotranspiração Potencial (PET) como um dos fatores a ter em conta. Para isso, primeiramente temos de calcular o índice de humidade e de aridez (as fórmulas das equações deste índice estarão presentes no capítulo dos Dados e Métodos, sendo as equações 16, 17 e 18). Quando existe excesso de água, a relação entre o excesso de água e a necessidade de água constitui o índice de humidade. Da mesma forma, quando existe uma deficiência de água e nenhum excedente, a relação entre a deficiência de água e a necessidade de água constitui um índice de aridez. A partir de estudos que utilizaram instrumentos que medem a evapotranspiração, em que a cobertura vegetal foi continuamente abastecida com água, Thornthwaite estabeleceu uma relação entre a PET, por um lado, e a temperatura e duração do dia, por outro, pressupondo que a energia necessária para a evapotranspiração seria uma função entre a radiação (duração do dia) e a temperatura. Thornthwaite compreendeu que embora um excedente de água numa estação não possa impedir a deficiência noutra, exceto quando a humidade pode ser armazenada no solo, em certa medida um pode compensar o outro. O excedente de água significa adições sazonais à humidade do subsolo e às águas subterrâneas. Plantas perenes profundamente enraizadas podem fazer uso parcial da humidade do subsolo e, assim, minimizar o efeito da seca. A transpiração continua, mas as taxas são mais reduzidas. Por esse motivo, um excedente de apenas 15 cm (6 polegadas) numa estação pode neutralizar uma deficiência de 25 cm (10 polegadas) noutra. Assim, num índice geral de humidade, o índice de humidade tem mais peso que o índice de aridez: o último possui apenas seis décimos do valor do primeiro. Wallén (1967) fez algumas críticas a este índice tais como,

apesar deste índice ser muito prático e de fácil aplicação a partir de nomogramas, esta fórmula poderá dar origem a resultados incorretos em certas áreas do mundo, principalmente, devido ao facto de que a equação de Thornthwaite entre a PET e a temperatura não ser universal e de poder ser muito influenciada pelas condições climáticas particulares das quais derivou. Além disso, a temperatura e a duração do dia não determinam a PET com muita precisão, como seria demonstrado por vários autores, em particular Penman. Em climas continentais quentes, valores muito baixos de PET são obtidos no inverno. Por fim, em climas semiáridos e áridos com chuvas de inverno, a PET é realmente muito subestimada pelo método de Thornthwaite. Este é um índice que já foi utilizado por Feddema *et al.* (2005), Paltineanu *et al.* (2007), Lungu *et al.* (2011), Nastos *et al.* (2013) (Figura 3), entre muitos outros.

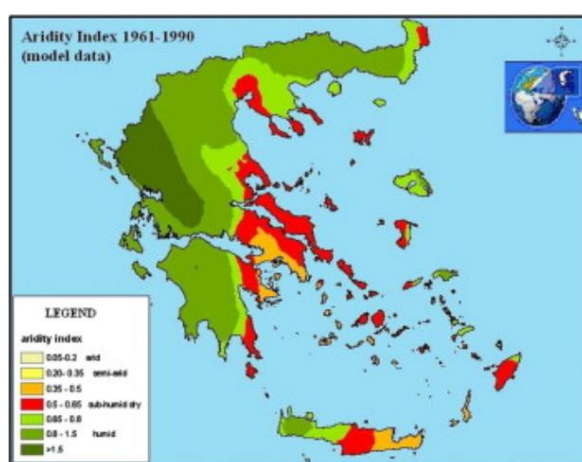
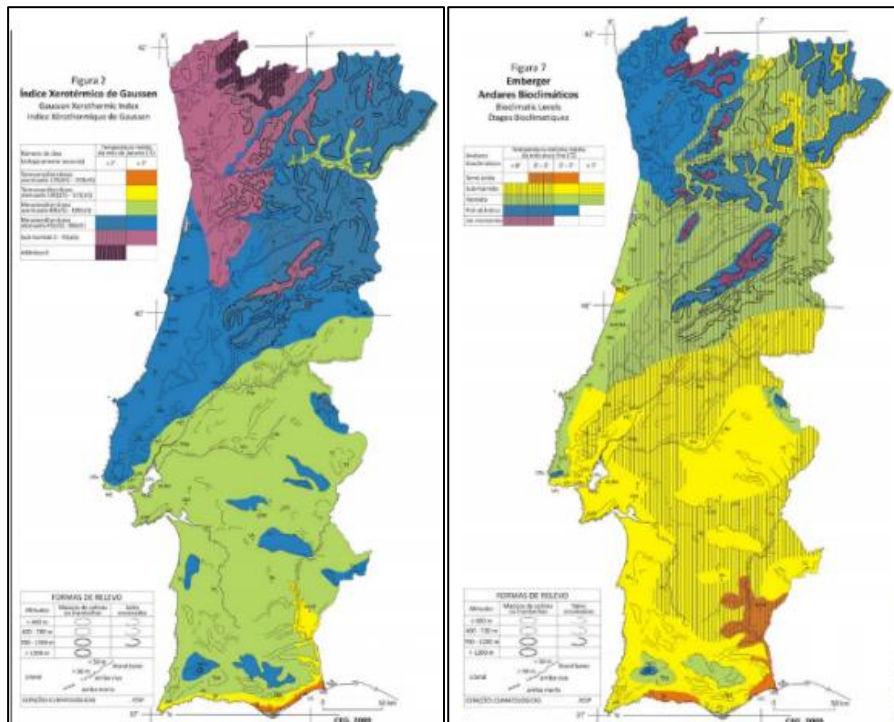


Figura 3 - Índice de Aridez de Thornthwaite para a Grécia no período de 1961–1990 (Extraído de Nastos *et al.*, 2013)

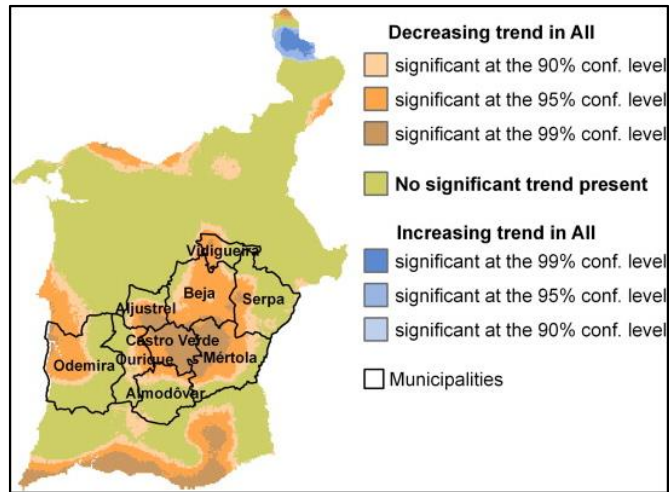
### 2.3 - A avaliação da aridez em Portugal

Em Portugal têm sido realizados estudos que pretendem compreender o desenvolvimento e os fatores desencadeantes da aridez no nosso país. Alcoforado *et al.* (1982) estudou a distribuição espacial de dois índices de aridez, o Índice Xerotérmico de Gausson e o Quociente Pluviométrico de Emberger (Figura 4) e comparou-os entre si quantitativamente para o período de estudo de 1960–1971. Os Andares Bioclimáticos resultam do cruzamento do Quociente Pluviométrico de Emberger e da temperatura mínima média do mês mais frio. Rosário (2004) com o apoio da Direção Geral dos Recursos Florestais criou um documento que teve como objetivo aumentar o conhecimento dos diferentes fatores que conduzem ao processo de desertificação (sendo que um dos principais índices utilizados foi o índice de aridez) e a criação da Carta de Suscetibilidade à Desertificação. Costa *et al.* (2012) teve como objetivo no seu artigo avaliar a dinâmica local da secura no sul de Portugal para o período de 1940–1990 (Figura 5), com base no Índice de Intensidade e Aridez, sendo este um indicador que permite indicar o grau de secura do clima e

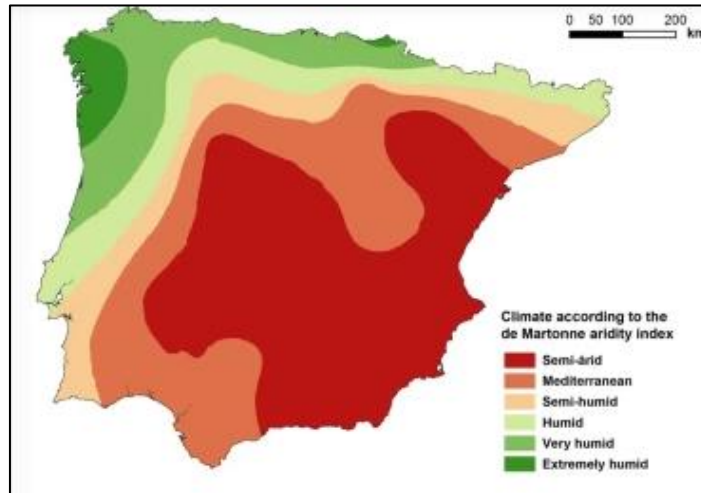
indicar indiretamente a disponibilidade de humidade no solo. Pereira *et al.* (2012) publicou um artigo que tinha como objetivo avaliar o comportamento de vários índices de aridez como o Standardised Precipitation Index (SPI), o Standardised Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), o Palmer Drought Severity Index (PDSI) e a modificação do PDSI para as condições Mediterrâneas (MedPDSI) em Portugal e compará-los, usando dados de várias estações meteorológicas em regiões com níveis de aridez diferentes para o período de 1941–2006. Andrade *et al.* (2016) avaliou as condições de aridez na Península Ibérica durante o século XX e a distribuição espacial dos índices de aridez de 1901–2012, sendo este período subdividido em três partes, de 1901–1940, de 1941–1980 e de 1981–2012. Paniagua *et al.* (2019) publicou um artigo, cujos objetivos eram fazer uma análise tanto espacial como temporal e identificar possíveis pontos de mudança na tendência na aridez anual para o período de 1960-2017 na Península Ibérica (Figura 6). Por fim Andrade e Contente (2020) utilizaram um ENSEMBLE de seis modelos do EURO-CORDEX para os períodos de 1961–1990, 1981–2010, 2011–2040 e 2041–2070, nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 para entender as alterações na distribuição da aridez para estes períodos no território da Península Ibérica.



**Figura 4** - Índice Xerotérmico de Gausson (Esquerda) e Quociente Pluviométrico de Emberger (Direita) para Portugal Continental no período de 1960–1971 (Extraído de Alcoforado *et al.*, 2009)



*Figura 5 - Tendências apresentadas no Índice de Intensidade e Aridez para 1940 a 1990 (Extraído de Costa et al., 2012)*



*Figura 6 - Índice de Aridez de De Martonne para o período de 1960–2017 para a Península Ibérica (Extraído de Paniagua et al., 2019)*



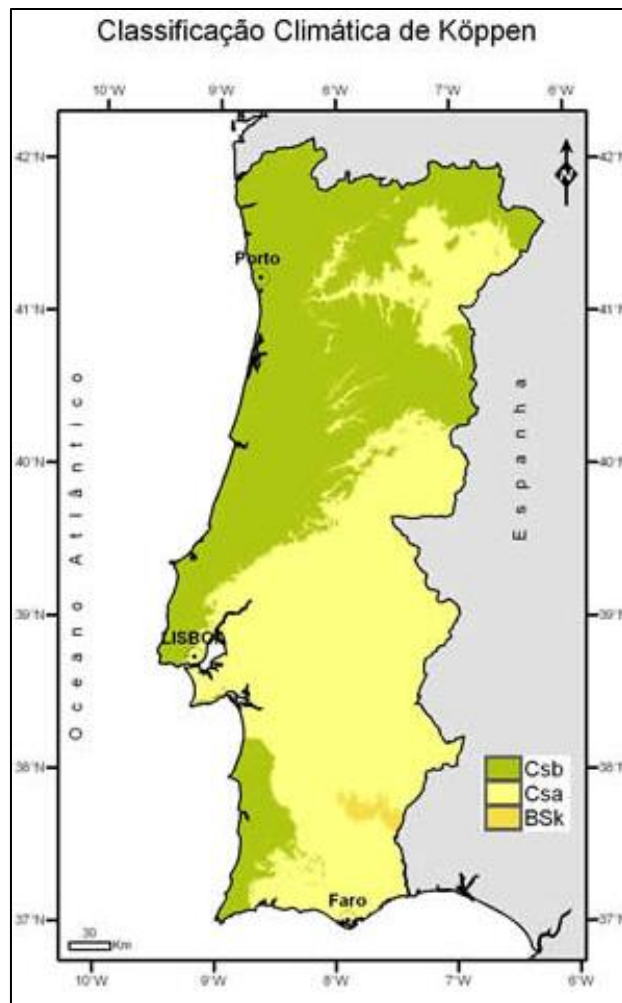
## 3 - Dados e Métodos

### 3.1 - Área de Estudo

Portugal Continental localiza-se no extremo sudoeste da Europa, tendo fronteira terrestre com Espanha a Norte e a Este, e fronteira marítima a Sul e a Oeste com o Oceano Atlântico.

De acordo com o IPMA (2015), o clima em Portugal Continental é predominantemente influenciado por 3 variáveis, a latitude, a orografia e a proximidade do Oceano Atlântico. Existem também fortes gradientes norte-sul e oeste-este em algumas variáveis como a temperatura e precipitação, e uma variabilidade sazonal e interanual muito acentuada. Por exemplo, a região noroeste apresenta valores elevados de precipitação, registando valores superiores a 3000mm de precipitação média anual. Por outro lado, diversas áreas no interior do Alentejo registam valores de precipitação média anual inferiores a 500mm. A variação interanual muito acentuada da precipitação, pode tornar uma região vulnerável a fenómenos extremos associados à falta (seca) ou excesso de precipitação (cheias). Quanto à temperatura, nas zonas altas do interior Norte e Centro, as temperaturas médias anuais variam entre os 6° e 9°C, enquanto no litoral sul, as temperaturas são superiores a 17°C. O efeito das três variáveis descritas anteriormente é revelado pela distribuição espacial da temperatura média e, com uma importância que varia de acordo com o ciclo anual, sendo evidente a existência de um gradiente significativo da temperatura, na direção norte-sul, durante o inverno e um forte gradiente na zona costeira, durante o Verão.

De acordo com a Classificação de Köppen (Figura 7), podemos dividir o país em 3 classes. A primeira corresponde ao Clima temperado com Verão quente e seco (Csa), registado nas regiões interiores do vale do Douro e nas regiões a Sul do Sistema Montanhoso Montejunto-Estrela, sendo a exceção o litoral Oeste do Alentejo e Algarve. O segundo é o Clima temperado com Verão seco e suave (Csb), que está presente em quase todas as regiões a Norte do Sistema Montanhoso Montejunto-Estrela e nas regiões do litoral Oeste do Alentejo e Algarve. Por fim, temos o Clima de estepe fria de latitude média (BSk), numa pequena região do Baixo Alentejo, no distrito de Beja.



*Figura 7 - Tipos de climas em Portugal Continental de acordo com a Classificação Climática de Köppen (extraído de: IPMA)*

Ferreira (2005) apresentou uma representação das regiões climáticas em Portugal Continental (Figura 8) que divide o território em 4 tipos. Um primeiro abrange as regiões de influência atlântica, que por sua vez são divididas em Domínios atlânticos onde, considerando valores médios anuais, a relação P/PET é francamente excedentária (4a), e domínios atlânticos onde a relação P/PET é deficitária (4b). Um segundo tipo integra as regiões de influência continental, que também são divididas em dois subtipos, os domínios continentais onde P/PET anual é, em média, ligeiramente deficitária (5a) e os domínios continentais onde P/PET anual é, em média, muito deficitária (5b). Os dois últimos grandes tipos correspondem ao Clima Algarvio (6) e ao Clima de Montanha. (7)



*Figura 8 - Regiões climáticas de acordo com Ferreira (Extraído de: Ferreira, 2005)*

### 3.2 - Dados

Para o cálculo dos índices de aridez foram utilizados dados climáticos de 1971–2015 que correspondem a um passado recente, e de 2041–2070, que dizem respeito ao futuro próximo.

Os dados que dizem respeito ao passado recente (1971–2015) foram retirados da base de dados Iberia01 (<https://digital.csic.es/handle/10261/183071>), que é um novo conjunto de dados de observação interpolados em grelha dos valores da precipitação diária total e das temperaturas máximas, médias e mínimas diárias (sendo que no trabalho serão utilizadas estas 4 variáveis). Os ficheiros de dados deste *dataset* estão disponíveis em formato netCDF. Esta base de dados foi produzida com base nas observações provenientes de uma densa rede de milhares de estações meteorológicas e pluviométricas na Península Ibérica, para o período de 1971 a 2015, transpostas para uma malha com uma resolução de 0,1° latitude X 0,1° longitude. As estações utilizadas pertencem ao Instituto Português do Mar e da Atmosfera, à Agência Portuguesa do Ambiente e à Agência de Meteorologia Espanhola, sendo que no caso da temperatura, a rede integra observações de 375 estações na Península Ibérica, e no caso da precipitação, a rede é constituída por 3486 estações, igualmente no território ibérico peninsular. Foi escolhida esta

base de dados por se tratar da base de dados mais recente, tendo sido publicada no final de maio de 2019, e atendendo também à sua alta resolução espacial (de 0,1°), permitindo uma representação geográfica adequada dos contrastes dos valores dos índices à escala regional. Outra vantagem decorrente da opção por utilizar dados disponíveis numa base de dados em grelha regular reside no facto dos dados estarem completos, e sem lacunas, possibilitando realizar todos os cálculos de modo muito mais expedito do que seria possível no caso de se ter optado pela utilização de séries climáticas de observação que, em geral, apresentam falhas e inconsistências nos dados. O conjunto de dados em grelha Iberia01 para a precipitação e temperatura foi construído usando a rede observacional descrita anteriormente e aplicando o método de interpolação tridimensional de média por área (AA-3D), explicado em detalhe em estudos anteriores (Herrera, 2011; Herrera *et al.*, 2012, 2015). Esse método de interpolação é um método de média por área baseado em crigagem ordinária (*ordinary kriging*, OK; Krige, 1951; Matheron, 1962) e interpolação e alisamento tridimensional (*three-dimensional thin plate splines*). No entanto, existem alguns problemas na base de dados Iberia01, como o facto de se ter registado um declínio no número de estações com dados disponíveis nos últimos 20 anos por toda a Península Ibérica, principalmente nos dados da precipitação e, ainda, o facto de 2009 a 2014, Portugal registar poucas estações com dados disponíveis de precipitação, pelo que terá de se ter cuidado na análise e interpretação dos dados.

Quanto aos dados que dizem respeito ao futuro próximo (2041–2070), foram retirados do Euro-CORDEX, mais propriamente um *ensemble* regional de alta resolução das simulações climáticas até ao final do presente século. O programa CORDEX foi financiado pelo *World Climate Research Program*, e visou organizar uma estrutura internacionalmente coordenada para produzir as melhores projeções regionais sobre as alterações climáticas, para todas as regiões terrestres do mundo. Os resultados do CORDEX servirão de *input* para os estudos de impacto e adaptação às alterações climáticas dentro do horizonte temporal do Quinto Relatório de Avaliação (AR5), do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC), e para estudos posteriores. No presente estudo, foram escolhidos os dados para a Europa, ou seja, os dados do Euro-CORDEX, sendo as variáveis escolhidas a precipitação diária, a temperatura máxima, média e mínima diária. No que diz respeito a cenários, existem três períodos disponíveis, o de 2011–2040, 2041–2070 e o de 2071–2100 (sendo que, para este trabalho, usaremos apenas o período 2041–2070) e com duas resoluções diferentes, a de 0,11° (devido à disponibilidade e melhor resolução, esta será a resolução a usar) e a de 0,44°. As projeções climáticas utilizam cenários de concentrações de gases de efeito de estufa (GEE) como dados de entrada (*inputs*) nos modelos climáticos, designados por *Representative Concentration*

*Pathways* (RCP) ou ‘Trajetórias Representativas de Concentrações’ (IPCC, 2013) que foram definidas para o Quinto Relatório de avaliação do IPCC (Moss *et al.*, 2010). Estes cenários representam emissões esperadas de GEE em função de diferentes evoluções futuras do desenvolvimento socioeconómico global. A concentração atual de CO<sub>2</sub> está nos 400 ppm (partes por milhão), sendo que para o presente estudo vamos considerar dois cenários, RCP4.5 e o RCP8.5. Diferentemente de outros tipos de cenários, os cenários RCP utilizam diferentes metas para o final do século XXI, referentes ao forçamento radiativo. O cenário RCP4.5 pressupõe um aumento no forçamento radiativo de 4,5 W/m<sup>2</sup> até ao final do século em relação às condições pré-industriais e pressupõe também uma trajetória de aumento da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico até 520 ppm em 2070, com incremento menor até 2100. Este é o cenário mais favorável, ou otimista, quanto aos efeitos das ações de mitigação. O outro cenário é o RCP8.5, que pressupõe um aumento no forçamento radiativo de 8,5 W/m<sup>2</sup> até ao final do século em relação às condições pré-industriais, e pressupõe também uma trajetória semelhante ao cenário RCP4.5 até 2050, mas com aumento intensificado depois, atingindo uma concentração de CO<sub>2</sub> de 950 ppm em 2100. Este é o cenário mais desfavorável e menos otimista, quanto aos efeitos de mitigação. Para este trabalho iremos utilizar os dois cenários. Os ficheiros de dados deste *dataset* estão disponíveis em formato netCDF.

Como já foi referido, para este estudo iremos analisar dados para o período futuro de 2041–2070, utilizando a comparação com dois cenários, mas também através de dois modelos. As séries de dados das simulações encontram-se disponíveis, com correção de viés (em <https://climate4impact.eu/impactportal/data/esgfsearch.jsp#project=CORDEX-Adjust&>), tendo sido retirados os dados respeitantes às seguintes combinações (pares) de Modelos Climáticos Regionais (RCM) e de Modelos Climáticos Globais (GCM): o Modelo 1 corresponde às simulações recuperadas com base no RCM KNMI-RACMO22E (regional) e no GCM ICHEC-EC-EARTH (global), e o Modelo 2 corresponde às simulações obtidas com RCM SMHI-RCA4 (regional) e do GCM MOHC-HadGEM2 (global). Para simplificar a leitura deste trabalho, o modelo 1 será referido simplesmente pela sigla “KNMI” e o modelo 2 pela sigla “SMHI”. A escolha destes dois modelos para serem os adotados neste trabalho deve-se ao facto de também terem sido os escolhidos no projeto ClimAdapt.Local, no âmbito do qual foram aplicados, desde 2016, em numerosos estudos à escala municipal e supramunicipal, em Portugal, enquadrados pelas estratégias europeia e nacional de adaptação às alterações climáticas. No caso da correção do viés, ambos os modelos foram descarregados com as simulações ajustadas através do método *Bias Correction Method*, sendo esses métodos o *Distribution Based Scaling*, fornecido pelo Instituto Sueco de Meteorologia e Hidrologia (Yang *et al.*, 2010) e para a calibração das simulações foi

utilizado o *dataset* “regional reanalysis MESAN (EU FP7 EURO4M project)” (Landelius, 2016), disponível também no Instituto Sueco de Meteorologia e Hidrologia (SMHI).

Naturalmente, deve ter-se em atenção que, no que diz respeito aos dados do Iberia01 e do Euro-CORDEX, estes estão em escala diária e, para o cálculo dos índices de aridez, os dados necessitam de estar em escala mensal e anual. Para tal, foram utilizadas dois programas: o *Rstudio*, que inclui um conjunto de livrarias de operadores como o CMSAF [`library (cmsaf) → run_toolbox ( )`], que permitiu transpor os dados diários para ficheiros de dados mensais e anuais, e o *Climate Data Operators* (CDO), ferramenta essencial para manipular e trabalhar os ficheiros de formato netCDF.

No caso dos dados do *dataset* Iberia01, foi utilizado o *software* CMSAF, utilizando os seguintes passos para transformar os dados diários em mensais, no caso das temperaturas máximas, médias e mínimas, “Analyze → Monthly statistics → Multi-year monthly means → Apply operator”. Para transformar os dados da temperatura máxima, média e mínima de dados diários para anuais, no CMSAF, temos de utilizar os dados mensais calculados acima e tem de se seguir os seguintes passos, “Analyze → Annual statistics → Annual means → Apply operator”. Quanto aos dados da precipitação, para transformar no CMSAF os dados diários em dados mensais, temos de seguir os seguintes passos, “Analyze → Monthly statistics → Monthly sums → Apply operator”, “Analyze → Monthly statistics → Multi-year monthly sums → Apply operator” e por fim “Analyze → Mathematical operators → Divide data by constant → Colocar o número de anos em estudo → Apply operator”. Para transformar os dados da precipitação diária para anuais, no CMSAF, temos de utilizar os dados mensais calculados acima e tem de se seguir os seguintes passos, “Analyze → Annual statistics → Annual sums → Apply operator”. Para a extração dos dados do domínio da Península Ibérica, para o domínio de Portugal Continental utilizamos os seguintes passos no CMSAF, “Visualize → Plot Region → Portugal”.

No caso dos dados do Euro-CORDEX, devido a impossibilidade do uso do CMSAF com estes dados, utilizou-se os Climate Data Operators (CDO) para transformar os dados na escala diária para dados na escala mensal e anual. No caso dos dados da temperatura máxima, média e mínima, para a transformação de dados diários para dados mensais, inseriu-se o seguinte comando, “`cdo ymonmean infile.nc outfile.nc`” Para transformar estes dados diários em dados mensais, usou-se o seguinte comando, “`cdo yearmean infile.nc outfile.nc`”. Para transformar os dados de precipitação diária para mensal utilizou-se os seguintes comandos, em primeiro lugar o comando “`cdo ymonsum infile.nc outfile.nc`” e de seguida o comando “`cdo monsum infile.nc outfile.nc`”. No caso dos dados de precipitação diários para dados anuais, aplicam-se os

seguintes comandos, primeiramente o comando “cdo ymonsum infile.nc outfile.nc”, e de seguida o comando “cdo yearsum infile.nc outfile.nc”. Como os dados apresentados estão numa escala espacial europeia, sendo que para este trabalho necessitamos de dados para o território Português, tivemos de seleccionar os dados a partir das coordenadas do território português através deste comando, “cdo sellonlatbox, -10, -6, 36, 43, infile.nc outfile.nc”.

Por fim, foi necessário transformar os ficheiros criados tanto a partir do Iberia01, como dos dados do Euro-CORDEX, de ficheiros NetCDF (.nc) para ficheiros de texto (.txt), de modo a prosseguir com tratamento dos dados e calcular os índices climáticos. Para isso, houve necessidade de, mais uma vez, utilizar o CDO, e introduzir o seguinte comando, “cdo outputtab, name, date, lon, lat, value infile.nc > outfile.txt”. De seguida, realizamos a importação dos dados em texto (.txt) para o formato *Comma-separated values* (.csv) para serem trabalhados no Microsoft Excel.

Os dados referentes à Evapotranspiração Potencial, Superavit e Défice Hídrico foram calculados através do Método de Thornthwaite - Mather (1953), tanto para os valores de 1971-2015 como para os de 2041-2070, e cujo método foi também utilizada por Ramos (2005). Nestes cálculos iremos utilizar os dados mensais tanto da temperatura como da precipitação, sendo que iremos começar os cálculos do balanço hidrológico em Outubro, quando se inicia o ano hidrológico em Portugal, sendo considerando nulo o armazenamento de água no solo neste mês

Em primeiro lugar temos de calcular Índice de Calor Mensal de cada um dos doze meses consecutivos do ano (Equação 1):

$$i_j = \left(\frac{T_j}{5}\right)^{1,514} \quad (1)$$

Sendo  $i_j$  o Índice de Calor Mensal e  $T_j$  é a temperatura média para cada um dos meses  $j$  em °C. De seguida vamos calcular o Índice de Calor Anual ( $I$ ) e que se calcula através da soma dos 12 índices térmicos mensais (Equação 2).

$$I = i_{j1} + i_{j2} + i_{j3} + i_{j4} + i_{j5} + i_{j6} + i_{j7} + i_{j8} + i_{j9} + i_{j10} + i_{j11} + i_{j12} \quad (2)$$

De seguida temos de calcular a Evapotranspiração Potencial, num local do Equador (latitude 0° e 12 horas de luz por dia), durante um mês, estando este cálculo presente na Equação 3:

$$PET_0 = 16 \times \left(\frac{10T}{I}\right)^d \quad (3)$$

Em que  $PET_0$  é a Evapotranspiração Potencial num local no Equador,  $T$  é a temperatura média mensal ( $^{\circ}C$ ),  $I$  é o Índice de Calor Anual e  $\alpha$  corresponde a seguinte equação (4):

$$\bar{d} = 0,493 + (17900 \times I - 77,1 \times I^2 + 0,675 \times I^3) \times 10^{-6} \quad (4)$$

Como o nº de horas de sol acima do horizonte (insolação) varia ao longo do ano e com latitude do lugar é preciso ajustar os valores da  $PET_0$  calculada. Para tal utiliza se um fator de correção, o coeficiente  $K$ , que representa a proporção do número de horas de luz do dia para a latitude do lugar em estudo em relação ao Equador, estando os valores de  $K$  para Portugal Continental na tabela 1:

*Tabela 1 - Coeficiente K para Portugal Continental (Extraído de: Ramos, 2005)*

Latitude	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
50°N	0,72	0,84	0,99	1,15	1,29	1,36	1,33	1,21	1,06	0,89	0,76	0,68
42°N	0,79	0,88	1,00	1,12	1,22	1,27	1,24	1,15	1,04	0,92	0,82	0,76
40°N	0,80	0,89	0,99	1,10	1,20	1,25	1,23	1,15	1,04	0,93	0,83	0,78
39°N	0,82	0,90	1,00	1,11	1,19	1,24	1,22	1,14	1,04	0,93	0,84	0,79
38°N	0,82	0,90	1,00	1,10	1,19	1,24	1,21	1,13	1,04	0,93	0,84	0,80
37°N	0,83	0,91	1,00	1,10	1,18	1,23	1,21	1,13	1,03	0,94	0,85	0,80
30°N	0,87	0,93	1,00	1,08	1,14	1,17	1,16	1,10	1,03	0,95	0,89	0,85
Equador	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Seguidamente iremos calcular a Evapotranspiração Potencial para o local de estudo, utilizando a seguinte equação (5):

$$PET = K \times PET_0 \quad (5)$$

Posteriormente calculamos o Déficit Pluviométrico, através da seguinte equação (6)

$$DP = P - PET \quad (6)$$

Após este cálculo iremos calcular o Déficit Pluviométrico Acumulado ( $L$ ), que é o somatório dos valores negativos mensais do Déficit Pluviométrico ( $P - PET$ ).

Seguidamente temos de calcular o Coeficiente de Perda de Potencial de Água no Solo, presente na Equação 7.

$$\alpha = e^{\left(\frac{-L}{RU}\right)} \quad (7)$$

Em que  $\alpha$  é o Coeficiente de Perda de Potencial de Água no Solo e  $RU$  corresponde a Reserva Útil do solo (mm), estando os valores para diferentes combinações do tipo de solo e da vegetação na tabela 2, sendo que para este trabalho utilizamos o valor base de 100 mm para todos os pontos utilizados.

Tabela 2 - A Reserva Útil do solo (mm) segundo diferentes combinações do tipo de solo e da vegetação (Extraído de: Ramos, 2005)

Tipo de solo	plantas com raízes superficiais (1)	plantas com raízes intermédias (2)	plantas com raízes profundas (3)	pomares	florestas cerradas
arenoso	50	75	100	150	250
arenoso e margoso	75	150	150	250	300
siltoso e margoso	125	200	250	300	400
argiloso e margoso	100	200	250	250	400
argiloso	75	150	200	200	350

(1) espinafres, ervilhas, feijões, beterrabas, cenouras, etc.

(2) milho, algodão, tabaco, cereais vários

(3) pastagens, arbustos

(C. Thornthwaite e J. Mather, 1957)

Posteriormente será necessário calcular a Água no Solo (A), sendo esta a equação a utilizar (8):

$$A = \alpha RU \quad (8)$$

De seguida temos o cálculo da variação mensal da água no solo ( $\Delta A$ ). Essa variação pode ser nula se a quantidade de água no solo (A) se mantiver de mês para mês, negativa se A diminuir ou positiva se A aumentar.

Seguidamente calculamos a Evapotranspiração Real (ETR), sendo que podem ocorrer dois cenários: se  $P \geq ETP$ , então  $ETR = PET$ ; no entanto se  $P < ETP$ , a  $ETR < PET$ , pelo que temos de calcular a seguinte equação (9):

$$ETR = P + |\Delta A| \quad (9)$$

Com estes cálculos já é possível calcular o Déficit Hídrico (DH), utilizando os valores em que  $P < PET$ , usando a seguinte equação (10):

$$DH = PET - ETR \quad (10)$$

Seguidamente, iremos calcular o Superavit Hídrico (S), sendo que quando o solo está saturado e  $P \geq PET$ , utiliza-se a seguinte equação (11):

$$S = P - PET \quad (11)$$

No entanto se estiver a ocorrer a reconstituição da reserva útil, então teremos de usar a seguinte equação (12):

$$S = (P - PET) - |\Delta A| \quad (12)$$

Por fim, para o cálculo do Índice de Aridez de Thornthwaite, teremos de utilizar dados anuais, e por isso, temos de calcular a Evapotranspiração Potencial anual (soma de todos os valores de

PET), o Déficit Hídrico Anual (soma de todos os valores de DH) e o Superavit Hídrico (soma de todos os valores de S).

A equação de Thornthwaite foi utilizada para o cálculo da PET. Normalmente é utilizada a Equação de Penman-Monteith para o cálculo da Evapotranspiração, como é o caso da base de dados disponibilizada pelo *Climate Research Unit* (<http://www.cru.uea.ac.uk/data>), devido a esta ser uma equação mais completa o seu cálculo, apresentado variáveis como a Temperatura Máxima, Média e Mínima, a cobertura de nuvens e velocidade de vento. Devido à impossibilidade de efetuar o cálculo segundo a equação de Penman-Monteith para os dados do futuro, por indisponibilidade de informação da cobertura de nuvens e da velocidade do vento, optou-se por utilizar a equação de Thornthwaite, que é outra das equações mais utilizadas para o cálculo da Evapotranspiração Potencial e que requer variáveis que estão disponíveis nos *datasets* do Euro-CORDEX.

### 3.3 - Índices de Aridez

Para o desenvolvimento deste trabalho foram escolhidos quatro índices de aridez que continuam a ser amplamente utilizados em programas e projetos científicos internacionais. Para a escolha destes quatro índices, foi igualmente importante a verificação de que os seus requisitos de cálculo (variáveis de *input*) permitiam a utilização dos dados climáticos disponíveis e reunidos para a presente investigação, descritos anteriormente. Os índices escolhidos são o **Índice de Aridez de De Martonne** (1926), o **Índice de Aridez de Emberger** (1933), o **Índice de Aridez de Bagnouls-Gausson** (1957) e o **Índice de Aridez de Thornthwaite** (1948).

O Índice de Aridez de De Martonne (1926) é calculado através da seguinte equação (13):

$$I_{DM} = \frac{P}{T + 10} \quad (13)$$

Sendo o P a precipitação anual (em mm) e T é a temperatura média anual do ar (em °C). De acordo com o Índice de Aridez de De Martonne, os tipos de clima considerados estão representados na Tabela 3:

*Tabela 3 - Classes do Índice de Aridez de De Martonne*

Classes	Valores
<b>Extremamente Húmido</b>	$I_{DM} > 55$
<b>Muito Húmido</b>	$35,0 \leq I_{DM} < 55,0$
<b>Húmido</b>	$28,0 \leq I_{DM} < 35,0$
<b>Sub-Húmido</b>	$24,0 \leq I_{DM} < 28,0$
<b>Mediterrânico</b>	$20,0 \leq I_{DM} < 24,0$
<b>Semiárido</b>	$10,0 \leq I_{DM} < 20,0$
<b>Árido</b>	$I_{DM} < 10,0$

O Índice de Aridez de Emberger (1933) é calculado através da seguinte equação (14):

$$I_E = \frac{100P}{(M - m)(M + m)} \quad (14)$$

Em que P é a precipitação anual (em mm), M é a temperatura média máxima do mês mais quente (em °C) e m é a temperatura média mínima do mês mais frio (em °C). De acordo com o Índice de Aridez de Emberger, os tipos de clima existentes estão representados na Tabela 4:

*Tabela 4 - Classes do Índice de Aridez de Emberger*

Classes	Valores
<b>Húmido</b>	$I_E > 90,0$
<b>Sub-Húmido</b>	$50,0 \leq I_E < 90,0$
<b>Semiárido</b>	$30,0 \leq I_E < 50,0$
<b>Árido</b>	$I_E < 30,0$

O Índice de Aridez de Bagnouls-Gaussen (1957) é calculado através da seguinte equação (15):

$$BGI = \sum_{i=1}^n (2t_i - P_i)K \quad (15)$$

Em que n é o número de meses do ano, P<sub>i</sub> é a precipitação total do mês i (em mm), t<sub>i</sub> é a temperatura média do mês i (em °C) e K é a percentagem de meses em que 2t<sub>i</sub>-P<sub>i</sub> > 0. De acordo com o Índice de Aridez de Bagnouls-Gaussen, os tipos de clima considerados estão representados na Tabela 5:

*Tabela 5 - Classes do Índice de Aridez de Bagnouls-Gaussen*

Classes	Valores
<b>Aridez Muito Baixa</b>	BGI < 50,0
<b>Baixa Aridez</b>	50,0 ≤ BGI < 75,0
<b>Aridez Moderada</b>	75,0 ≤ BGI < 100,0
<b>Aridez Alta</b>	100,0 ≤ BGI < 125,0
<b>Aridez Muito Alta</b>	125,0 ≤ BGI < 150,0
<b>Aridez Extremamente Elevada</b>	BGI > 150,0

Para o cálculo do Índice de Aridez de Thornthwaite, é necessário fazer o cálculo de 3 equações, o Índice de Humidade, o Índice de Aridez e o Índice Geral da Humidade, sendo os dois primeiros indispensáveis para o cálculo do último. O Índice de Humidade calcula-se da seguinte maneira (Equação 16):

$$I_h = 100 \frac{S}{PET} \quad (16)$$

Em que S é a água excedente anual (em mm) e PET é a Evapotranspiração Potencial anual (em mm). O Índice de Aridez calcula-se através da seguinte equação (17):

$$I_a = 100 \frac{D}{PET} \quad (17)$$

Em que D é a deficiência de água anual (em mm) e PET é a Evapotranspiração Potencial anual (em mm). Depois de calculados estes dois índices, já é possível o cálculo do Índice Geral da Humidade, o último índice, sendo este o índice que nos vai dar o índice de Aridez de Thornthwaite, sendo calculado através da seguinte equação (18):

$$I_m = I_h - 0.6I_a \quad (18)$$

Sendo  $I_h$  o Índice de Humidade,  $I_a$  o Índice de aridez, e os 0.6 representam o facto de o Índice de Aridez ser apenas seis décimos do valor do índice de Humidade. De acordo com o Índice de Aridez de Thornthwaite, os tipos de clima considerados estão representados na Tabela 6:

*Tabela 6 - Classes do Índice de Aridez de Thornthwaite*

Tipo	Classes	Valores
<b>A</b>	Perhúmido	$I_m > 100,0$
<b>B<sub>4</sub></b>	Húmido	$80,0 < I_m \leq 100,0$
<b>B<sub>3</sub></b>	Húmido	$60,0 < I_m \leq 80,0$
<b>B<sub>2</sub></b>	Húmido	$40,0 < I_m \leq 60,0$
<b>B<sub>1</sub></b>	Húmido	$20,0 < I_m \leq 40,0$
<b>C<sub>2</sub></b>	Sub-Húmido Húmido	$0,0 < I_m \leq 20,0$
<b>C<sub>1</sub></b>	Sub-Húmido Seco	$-20,0 < I_m \leq 0,0$
<b>D</b>	Semiárido	$-40,0 < I_m \leq -20,0$
<b>E</b>	Árido	$-60,0 < I_m \leq -40,0$

### 3.4 - Criação de mapas

Para a criação de mapas foram utilizadas 3 programas, o *Panoply*, o *QGIS* e o *ArcGIS*. O *Panoply* foi utilizado numa fase inicial para verificar se os valores calculados através do CMSAF (no caso dos valores de 1971–2015) e do CDO (no caso dos valores de 2041–2070) estavam corretos e em conformidade com os valores que seriam expectáveis. A utilização do programa *QGIS* foi necessária para transformar os dados calculados no *Excel* em pontos para a construção dos mapas que vão ser apresentados neste trabalho.

Por fim, foi utilizado o *software ArcGIS* para a construção dos mapas e reclassificação de classes. Neste trabalho iremos utilizar o sistema de coordenadas geográficas GCS\_WGS\_1984, Datum D\_WGS\_1984. Primeiramente foi necessário escolher o método de interpolação a utilizar, e entre vários métodos, como o *Kriging*, *Spline* e *Natural Neighbour*, mas no final acabamos por escolher o *Inverse Distance Weighted* (IDW). De acordo com o site do *ArcGIS* (<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-idw-works.htm>), o IDW é um método de interpolação que determina o valor da célula utilizando uma combinação linear ponderada de um conjunto de pontos, sendo a ponderação utilizada uma função de distância inversa. Este método acaba por assumir que a variável que irá ser mapeada diminui de acordo com a influência da distância na localização da amostra. Este método também foi utilizado devido à necessidade de uma grande densidade de pontos, o que neste estudo é uma realidade, ao facto dos dados do Iberia01 e do Euro-Cordex já serem dados modelados, o que quer dizer que os valores já foram calculados a contar com os fatores que podem influenciar os valores, como a altitude e, por fim, devido a este método não afetar os modelos de interpolação

dos dados utilizados. No *Arc Toolbox* aplicaram-se os seguintes passos “Spatial Analyst Tool → Interpolation → IDW” e na janela seguinte (selecionar o *shapefile* correspondente aos pontos com os valores calculados através dos índices de aridez escolhidos (Input Point Feature), selecionar o campo que queremos representar (Z Value Field), escolher o tamanho da célula para o *layer* que vamos criar, que neste caso é 0,01, ou seja 1 célula corresponde a 1x1 km. Na mesma janela, vamos escolher o número de pontos a considerar e, depois de algumas tentativas, o melhor resultado foi conseguido ao considerar apenas 4 pontos (utilizando valores superiores a este, o mapa final apresentava algumas células isoladas sem qualquer contexto). Foi também necessário definir os limites da *shapefile* que estamos a criar, e para isso carregamos na opção “Environments → Processing Extent” e selecionamos o ficheiro correspondente às fronteiras de Portugal Continental e, por fim, confirmar. Para que o *layer* que criamos tenha as fronteiras correspondentes a Portugal Continental, selecionamos no *Arc ToolBox* as opções “Spatial Analyst Tool → Extraction → Extract by Mask” e na janela seguinte selecionamos o *layer* que criamos (Input Raster) e o ficheiro com os limites do território que queremos utilizar (Input Raster or Feature Mask Data” e, por fim, confirmamos. Para sabermos o número de células que cada classe tem, necessitamos de efetuar a operação Reclassify, que está presente no “Arc ToolBox → Reclass → Reclassify”. Na janela surgida selecionamos o *layer* que acabamos de recortar (Input Raster), o campo que vamos reclassificar (Reclass Field) e vamos selecionar os limites de cada classe para o índice de aridez escolhido (Reclassification) e confirmamos. Por fim, criamos um *layer* que tem na sua representação as classes do índice de aridez escolhido. De seguida, temos a preparação para a criação do mapa final, sendo que, primeiramente temos a escolha das cores que vão corresponder às classes do índice de aridez na legenda final do trabalho final. Neste estudo vamos trabalhar com uma paleta de cores que vai do azul (que representa as classes consideradas húmidas) para o laranja (que representa as classes consideradas áridas), sendo esta ação realizada no “Layer Properties”, na aba correspondente à simbologia. Depois desta ação concluída, resta só construir o mapa final, colocando a legenda, orientação, escala gráfica e *layer* de apoio com o contorno de Portugal Continental e um *layer* de base com o território da Europa. Todos estes procedimentos foram realizados para os vários períodos de análise, índices, modelos e cenários em estudo.

### 3.5 - Criação de tabelas

Para melhor interpretação de dados, decidiu-se que seria necessária a criação de algumas tabelas que têm como objetivo tentar compreender quais as alterações na representação espacial das classes para os períodos em estudo, perceber as mudanças existentes ao longo dos períodos e entender onde existem as mudanças nas classes apresentadas.

Primeiramente, temos de retirar o número de células que correspondem a cada classe no índice de aridez selecionado, para isto basta abrir a Tabela de Atributos do layer selecionado no *ArcMap*, e retirar o valor. Para esta dissertação decidimos que a dimensão da célula a criar vai corresponder a  $0,01^\circ \times 0,01^\circ$ , e isto quer dizer que cada célula tem aproximadamente  $1 \text{ km}^2$ , possibilitando o uso desta medida na descrição dos dados em vez do número de células. Para melhorar a análise e facilitar a compreensão dos dados, foi calculada a percentagem da representação de cada classe, sendo de seguida calculada a variação (no caso de dois períodos diferentes) e diferença (no caso de dois cenários diferentes) das percentagens e  $\text{km}^2$  para cada classe de índice de aridez. Foram criadas e calculadas as seguintes tabelas para as comparações: 1971–1990 X 1986–2015, 2041–2070 (KNMI RCP4.5) X 2041–2070 (KNMI RCP8.5), 1986–2015 X 2041–2070 (KNMI RCP4.5), 1986–2015 X 2041–2070 (KNMI RCP8.5), 2041–2070 (SMHI RCP4.5) X 2041–2070 (SMHI RCP8.5), 1986–2015 X 2041–2070 (SMHI RCP4.5) e 1986–2015 X 2041–2070 (SMHI RCP8.5).

Por fim, foi criada uma tabela resumo, sistematizando o conjunto dos resultados.



## 4 - Resultados

Neste capítulo proceder-se-á à descrição da evolução das condições climáticas de aridez em Portugal Continental verificada entre os períodos 1971–1990 e 1986–2015, quer igualmente das mudanças que se projetam para meados do presente século (2041–2070). A análise será efetuada sucessivamente com referência a quatro índices climáticos de aridez: Índice de Aridez de De Martonne, Índice de Aridez de Emberger, Índice de Aridez de Bagnouls-Gausson e Índice de Aridez de Thornthwaite. Na análise das condições de futuras de aridez (2041–2070) no território serão considerados, relativamente a cada um dos quatro índices, dois modelos (simplificadamente, referidos por KNMI e SMHI) e dois cenários de emissões de gases com efeito de estufa (RCP4.5 e RCP8.5).

### 4.1 - Índice de Aridez de De Martonne

#### 4.1.1 - Períodos 1971–1990 e 1986–2015

##### 4.1.1.1 - Comparação entre os períodos de 1971–1990 e 1986–2015

Na comparação entre o período de 1971–1990 (Figura 9) e o período 1986–2015 (Figura 10), tendo presente a Tabela 7 e de acordo com Índice de Aridez de De Martonne, verificamos que a classe que apresenta um maior ganho é a classe Muito Húmido, com mais 4 046 km<sup>2</sup> (+4,4%), enquanto a maior perda verifica-se na classe Extremamente Húmido, com menos 4 540 km<sup>2</sup> (-4,9%).

No que diz respeito à variação da classe Extremamente Húmido entre os períodos 1971–1990 e 1986–2015, verificou-se uma significativa diminuição na representação desta classe em 4 540 km<sup>2</sup> (-4,9%), ocorrendo este decréscimo no noroeste de Portugal (ficando a área dividida em duas) e numa área entre a região de Coimbra e a Cordilheira Central (existindo esta classe na última área descrita).

No caso da classe Muito Húmido, verificamos entre os períodos 1971–1990 e 1986–2015 um incremento desta classe em 4 046 km<sup>2</sup> (+4,4%), resultado do aumento da sua extensão especialmente no Noroeste de Portugal e na área entre a Cordilheira Central e a Serra da Lousã (Região de Coimbra).

Relativamente à variação da classe Húmido entre os períodos 1971–1990 e 1986–2015, verificamos que existiu uma diminuição de 640 km<sup>2</sup> (-0,7%), sendo isto devido ao decréscimo desta classe na Serra de Monchique (Algarve), Serra do Caldeirão (Algarve) e Serra de São Mamede (Alto Alentejo), que não é compensado pelo aumento correspondente ocorrido na

Área da Grande Lisboa, faixa Marinha Grande-Figueira da Foz (Regiões de Leiria e Coimbra) e Terra Quente Transmontana.

*Tabela 7 - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1971–1990 e 1986–2015 de acordo com o Índice de Aridez de De Martonne*

Classes	1971-1990		1986-2015		Diferença	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Extremamente Húmido	14 283	15,4	9 743	10,5	-4 540	-4,9
Muito Húmido	22 929	24,6	26 975	29,0	+4 046	+4,4
Húmido	14 350	15,4	13 710	14,7	-640	-0,7
Sub-Húmido	18 605	20,0	18 509	19,9	-96	-0,1
Mediterrâneo	16 132	17,3	19 064	20,5	+2 932	+3,2
Semiárido	6 753	7,3	5 051	5,4	-1 702	-1,9
Árido	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Quanto à classe Sub-Húmido, verificamos um decréscimo desta classe entre os períodos 1971–1990 e 1986–2015 em 96 km<sup>2</sup> (-0,1%), devido à diminuição da mesma no Algarve, Baixo Alentejo, Alentejo Central e Alto Alentejo e ao seu desaparecimento na Área da Grande Lisboa. Esta redução não foi inteiramente compensada pelos aumentos da área ocupada por esta classe, verificados na Península de Setúbal, Terra Quente Transmontana, área da Serra de Monchique (Algarve), Serra do Caldeirão (Algarve) e Serra de São Mamede (Alto Alentejo).

No caso da classe Mediterrâneo, verificamos um crescimento entre os períodos 1971–1990 e 1986–2015 de 2 932 km<sup>2</sup> (+3,2%), sendo isto visível no aumento desta classe em Idanha-a-Nova e Castelo Branco (Beira Baixa), Alentejo Central, Baixo Alentejo e Algarve. Ocorreu uma diminuição na extensão desta classe na Terra Quente Transmontana e a mesma desapareceu na Península de Setúbal.

A classe Semiárido apresenta uma diminuição de área representada entre os períodos 1971–1990 e 1986–2015 de 1 702 km<sup>2</sup> (-1,8%). Esta variação corresponde a uma diminuição desta classe na Terra Quente Transmontana, Baixo Alentejo e Alentejo Central e desaparecimento da classe no Algarve.

A classe Árido, não está representada tanto no mapa, como na tabela 7.

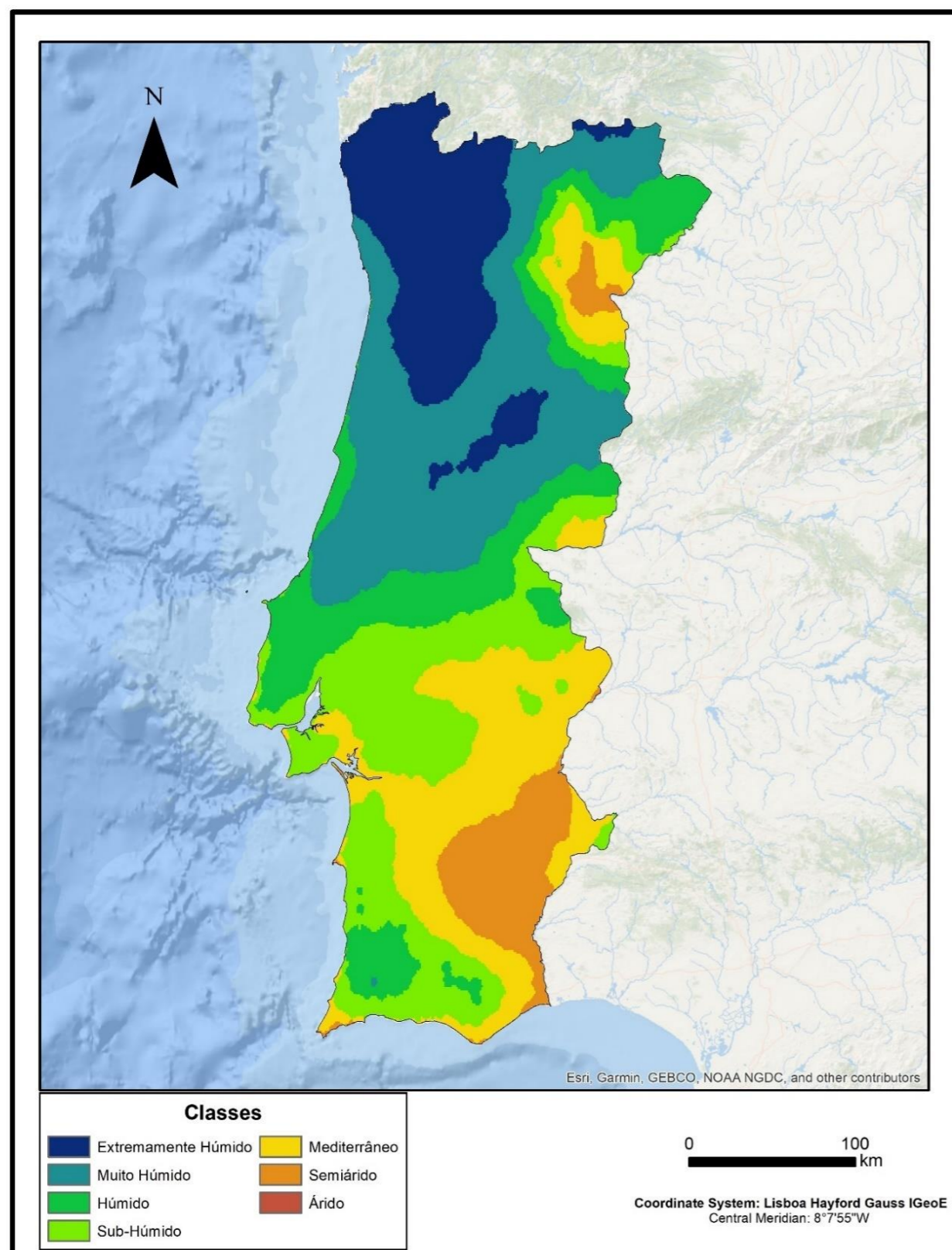


Figura 9 - Índice de Aridez de De Martonne para o período 1971-1990

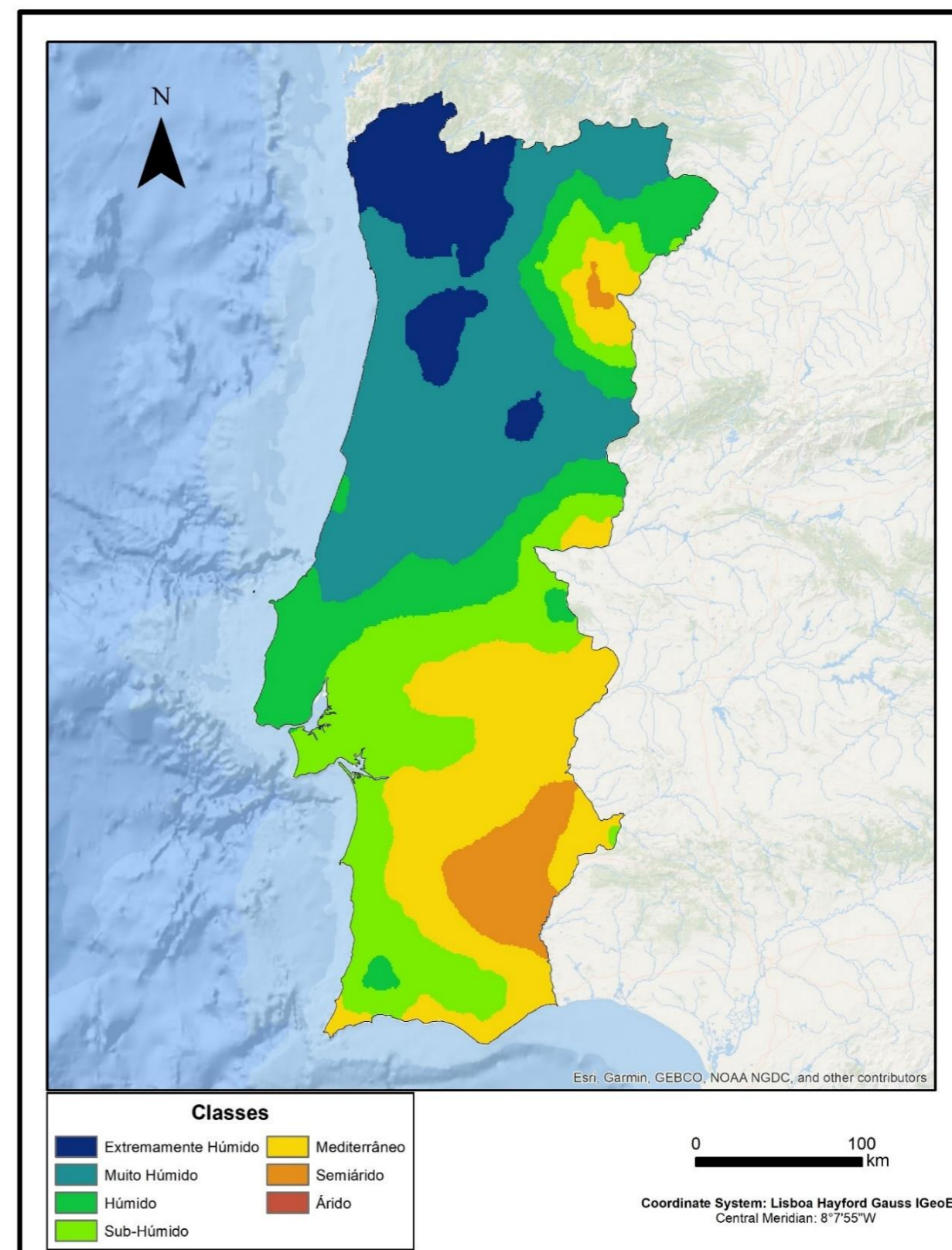


Figura 10 - Índice de Aridez de De Martonne para o período de 1986-2015

4.1.2 - Período 2041–2070 de acordo com o modelo KNMI nos cenários RCP4.5 e RCP8.5

4.1.2.1 - Comparação entre os cenários RCP4.5 e RCP8.5 no modelo KNMI para o período 2041–2070

No que diz respeito aos cenários RCP4.5 (Figura 11) e RCP8.5 (Figura 12) do modelo KNMI para o período 2041–2070, calculados através do Índice de Aridez de De Martonne, verificamos pela Tabela 8 que no caso do cenário mais gravoso se projeta uma ligeiramente maior extensão espacial das classes associadas a maior aridez (em especial das classes Mediterrâneo e Sub-Húmido) e uma ligeiramente inferior superfície ocupada pelas classes associadas a clima mais húmido (sobretudo as classes Extremamente Húmido e Húmido), comparativamente ao cenário de forçamento menos gravoso.

**Tabela 8** - Valores em área, percentagem e diferença entre cada classe para o período 2041–2070 nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 no modelo KNMI, de acordo com o Índice de Aridez de De Martonne

Classes	2041-2070					
	KNMI RCP 4.5		KNMI RCP 8.5		Diferença	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Extremamente Húmido	8 903	9,6	8 058	8,7	-845	-0,9
Muito Húmido	17 407	18,7	17 492	18,8	+85	+0,1
Húmido	15 504	16,7	14 785	15,9	-719	-0,8
Sub-Húmido	10 324	11,1	10 836	11,6	+512	+0,6
Mediterrâneo	18 939	20,3	19 821	21,3	+882	+0,9
Semiárido	21 975	23,6	22 060	23,7	+85	+0,1
Árido	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Quanto às classes em presença, verificamos que, em ambos os cenários de forçamento, não existe representação da classe Árido.

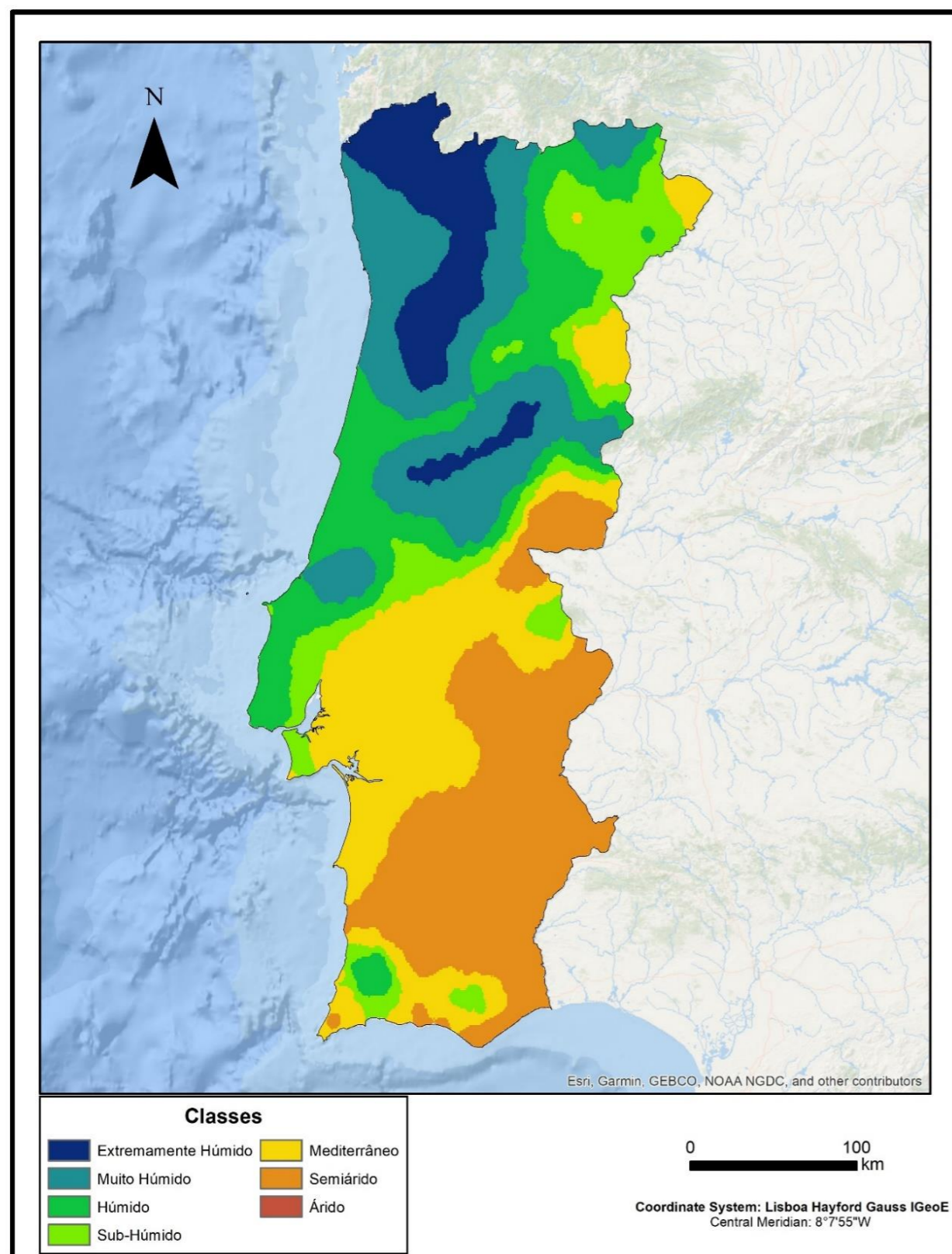


Figura 11 - Índice de Aridez de De Martonne para o período 2041–2070 (KNMI RCP4.5)

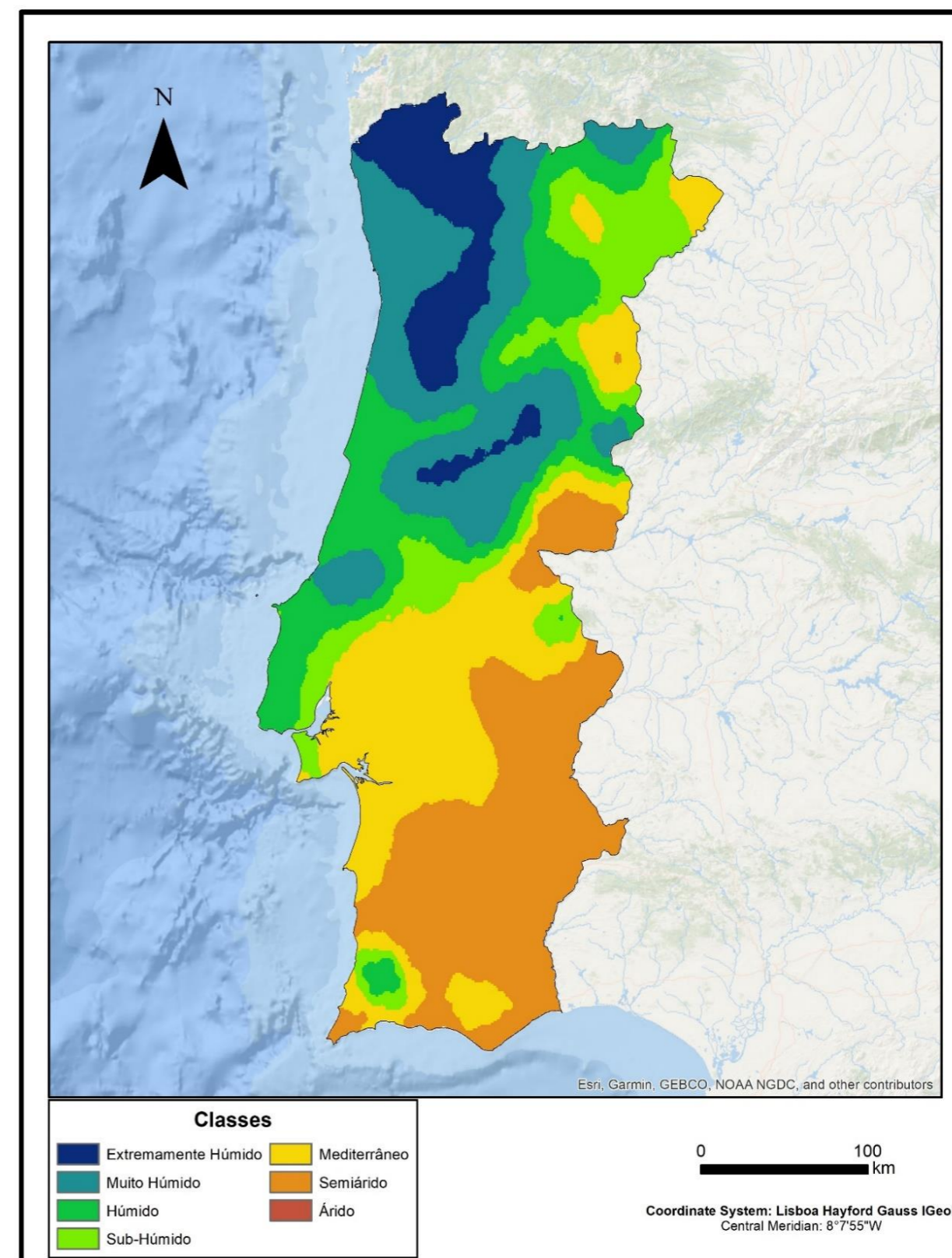


Figura 12 - Índice de Aridez de De Martonne para o período 2041–2070 (KNMI RCP8.5)

4.1.2.2 - Comparação entre os períodos de 1986–2015 e 2041–2070 (KNMI

RCP4.5)

De acordo com a Tabela 9 que tem como base os dados do período 1986–2015 (Figura 10) e o período 2041–2070 no cenário RCP4.5 e modelo KNMI (Figura 11) utilizando o Índice de Aridez de De Martonne, podemos dizer que existe um maior aumento da área representada na classe Semiárido com um aumento de 16 924 km<sup>2</sup> (+18,2%), enquanto a classe que apresenta um maior decréscimo na área representada é a classe Muito Húmido com uma diminuição de 9 568 km<sup>2</sup> (-10,3%).

No que diz respeito à classe Extremamente Húmido, temos também uma diminuição líquida na representação desta classe, em 840 km<sup>2</sup> (-0,9%), que decorrerá sobretudo de uma redução, em 2041–2070 (cenário RCP4.5 no modelo KNMI), na região do Alto Minho e Cávado. Aumentos pontuais ocorrerão na área entre a Serra do Gerês (Cávado) e a Serra de Montemuro (Tâmega e Sousa).

*Tabela 9 - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP4.5, modelo KNMI de acordo com o Índice de Aridez de De Martonne*

Classes	KNMI RCP 4.5					
	1986-2015		2041-2070		Diferença	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Extremamente Húmido	9 743	10,5	8 903	9,6	-840	-0,9
Muito Húmido	26 975	29,0	17 407	18,7	-9 568	-10,3
Húmido	13 710	14,7	15 504	16,7	+1 794	+1,9
Sub-Húmido	18 509	19,9	10 324	11,1	-8 185	-8,8
Mediterrâneo	19 064	20,5	18 939	20,3	-125	-0,2
Semiárido	5 051	5,4	21 975	23,6	+16 924	+18,2
Árido	0	0,0	0	0,0	0	0,0

No caso da classe Muito Húmido, verificamos um importante decréscimo desta classe em 9 568 km<sup>2</sup> (-10,3%) numa comparação entre o período recente e 2041-70 no cenário RCP4.5 do modelo KNMI. Esta forte redução é projetada para a área entre as Serras de Aire e Candeeiros (Oeste) na Cordilheira Central, na Região de Leiria, na Região de Coimbra, na Região de Aveiro, na Serra da Malcata (Beiras e Serra da Estrela), na Região de Viseu Dão Lafões, na Serra de Montesinho (Trás-os-Montes) e no Alto Tâmega. Apenas na Região do Cávado e do Alto Minho esta classe aumentará, em detrimento da classe Extremamente Húmido.

Para a classe Húmido, verificamos que se projeta um ligeiro aumento de 1 794 km<sup>2</sup> (+1,9%) numa comparação entre 1986–2015 e o cenário RCP4.5 no modelo KNMI para o período de 2041–2070. Verificamos um aumento desta classe na área da Serra de Monchique (Algarve), na Região de Leiria, na Região do Douro, Viseu Dão Lafões, na área entre as Serras de Aire e Candeeiros (Oeste) e a Cordilheira Central, Trás-os-Montes e o Alto Tâmega e o aparecimento desta classe na Região de Coimbra e na Região de Aveiro. Projeta-se ainda uma diminuição na Área da Grande Lisboa e Oeste e o desaparecimento desta classe na Serra de São Mamede (Alto Alentejo).

Quanto à classe Sub-Húmido, verificamos uma diminuição, em termos líquidos, da sua área em 8 185 km<sup>2</sup> (-8,8%) entre 1986–2015 e 2041–2070, segundo o cenário RCP4.5 no modelo KNMI. Este decréscimo projeta-se que se verifique no Algarve, na Península de Setúbal, Lezíria do Tejo, Médio Tejo e Beira Baixa, projetando-se ainda o desaparecimento desta classe no Baixo Alentejo, Alentejo Litoral, Alentejo Central, Alto Alentejo. Ocorrerão aumentos localizados na extensão desta classe na Beiras e Serra da Estrela, Região do Douro e Trás-os-Montes, verificando-se ainda o seu aparecimento na Área da Grande Lisboa, Oeste e Serra de São Mamede (Alto Alentejo).

No caso da classe Mediterrâneo, verificamos um crescimento líquido de 125 km<sup>2</sup> (+0,2%) entre 1986–2015 e 2041–2070, no cenário RCP4.5 no modelo KNMI. Projeta-se um aumento desta classe no Algarve, Alto Alentejo, Lezíria do Tejo e Médio Tejo, o seu surgimento na Península de Setúbal, Beiras e Serra da Estrela e no nordeste de Trás-os-Montes. Reduções localizadas na área ocupada por esta classe projetam-se no Baixo Alentejo, no Alentejo Litoral, Alentejo Central, Beira Baixa, deixando mesmo de ocorrer na Terra Quente Transmontana.

A classe Semiárido apresenta um muito expressivo aumento de área representada, de 16 924 km<sup>2</sup> (+18,2%) na comparação entre os valores de 1986–2015 e 2041–70, no cenário para futuro RCP4.5 no modelo KNMI. No período recente, a classe Semiárido era a de menor extensão espacial em Portugal Continental (5,4% do território) e passará a ser, já em meados deste século, a categoria de aridez com maior superfície relativa (23,6%). Esta importante expansão ocorrerá no Baixo Alentejo e Alentejo Central, Algarve, Alto Alentejo, Alentejo Litoral e na Beira Baixa. Apenas na Terra Quente Transmontana se projeta, neste modelo e cenário de forçamento, o desaparecimento desta classe.

A classe Árido continuará, em 2041–2070, a não ter representação em Portugal Continental, segundo estas simulações.

4.1.2.3 - Comparação entre os períodos de 1986–2015 e 2041–2070 (KNMI RCP8.5)

Passando agora a considerar o cenário de forçamento mais gravoso (cenário RCP8.5 no modelo KNMI), como podemos verificar na Tabela 10, na comparação entre o período 1986–2015 (Figura 10) e o período 2041–2070 (Figura 12), a classe do Índice de Aridez de De Martonne que apresenta o maior ganho líquido de área é a classe Semiárido com um aumento de 17 009 km<sup>2</sup> (+18,3%), enquanto a maior diminuição corresponde à classe Muito Húmido, com uma diminuição de 9 483 km<sup>2</sup> (-10,2%).

A classe Extremamente Húmido, deverá registar um decréscimo de 1 685 km<sup>2</sup> (-1,8%) numa comparação entre 1986–2015 e 2041-2070 (cenário RCP8.5 no modelo KNMI), projetando-se uma redução da área nas regiões do Alto Minho e do Cávado. Aumentos na área ocupada por esta classe poderão ocorrer na Serra do Gerês (Cávado), na Serra de Montemuro (Tâmega e Sousa) e na Cordilheira Central.

**Tabela 10** - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP8.5, modelo KNMI de acordo com o Índice de Aridez de De Martonne

Classes	1986-2015		KNMI RCP 8.5 2041-2070		Diferença	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Extremamente Húmido	9 743	10,5	8 058	8,7	-1 685	-1,8
Muito Húmido	26 975	29,0	17 492	18,8	-9 483	-10,2
Húmido	13 710	14,7	14 785	15,9	+1 075	+1,2
Sub-Húmido	18 509	19,9	10 836	11,6	-7 673	-8,3
Mediterrâneo	19 064	20,5	19 821	21,3	+757	+0,8
Semiárido	5 051	5,4	22 060	23,7	+17 009	+18,3
Árido	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Quanto à classe Muito Húmido, é projetada uma importante a perda de área, 9 483 km<sup>2</sup> (-10,2%) numa comparação entre 1986–2015 e o cenário RCP8.5 no modelo KNMI, sendo estas perdas localizadas na área entre as Serras de Aire e Candeeiros (Oeste), na Cordilheira Central, na Serra da Malcata (Beiras e Serra da Estrela), Região de Coimbra, Região de Aveiro, Serra de Montesinho (Trás-os-Montes), Alto Tâmega, Douro, Beiras e Serra da Estrela e Viseu Dão Lafões. Um aumento restrito é projetado na região do Cávado e Alto Minho.

Na classe Húmido, verificamos um aumento na área representada com esta classe em 1 075 km<sup>2</sup> (+1,2%), numa comparação entre 1986–2015 e o cenário RCP8.5 no modelo KNMI para 2041-2070, sendo isto visível no aumento desta classe na Região de Leiria, na área entre as Serras de

Aire e Candeeiros (Oeste), Cordilheira Central, na Região do Douro, Beiras e Serra da Estrela, Trás-os-Montes, Alto Tâmega, Viseu Dão Lafões, na Serra de Monchique (Algarve), na Região de Coimbra e Região de Aveiro. Uma diminuição na extensão desta classe é projetada na Área da Grande Lisboa e Oeste e o desaparecimento na Serra de São Mamede (Alto Alentejo).

No caso da classe Sub-Húmido, é patente que se projeta uma forte diminuição da sua área representada, em 7 673 km<sup>2</sup> (-8,3%), numa comparação entre 1986–2015 e 2041-2070 (cenário RCP8.5 no modelo KNMI). Essa redução projeta-se que se reparta pelo Algarve, Península de Setúbal, Lezíria do Tejo, Médio Tejo, Beira Baixa, Baixo Alentejo, Alentejo Central e Alentejo Central. Apesar desta diminuição projetada, ocorrerá também aumento da superfície ocupada por esta classe nas Beiras e Serra da Estrela, Região do Douro e Trás-os-Montes, na área da Grande Lisboa, Oeste e Serra de São Mamede (Alto Alentejo).

A classe Mediterrâneo apresenta um ligeiro aumento líquido na sua representação, de 757 km<sup>2</sup> (+0,8%), numa comparação entre 1986–2015 e o cenário RCP8.5 no modelo KNMI. A área desta classe diminuirá no Algarve, no Baixo Alentejo, Alentejo Central, Alentejo Litoral e na Beira Baixa, mas aumentará no Alto Alentejo, Península de Setúbal, Lezíria do Tejo, Médio Tejo, na Beira Baixa, Península de Setúbal e no nordeste de Trás-os-Montes.

Como se destacou, na classe Semiárido, projeta-se um forte aumento da área pertencente a esta classe, em 17 009 km<sup>2</sup> (18,3%). Esta expansão projetada ocorrerá sobretudo no Baixo Alentejo e Alentejo Central, no Algarve, Alentejo Litoral, Alto Alentejo e Beira Baixa. Somente na Terra Quente Transmontana, se projeta uma diminuição de área nesta classe.

Tal como nas descrições anteriores, não se verifica a presença da classe Árido nos dois períodos.

4.1.3 - Período 2041–2070 de acordo com o modelo SMHI nos cenários RCP4.5 e RCP8.5

4.1.3.1 - Comparação entre os cenários RCP4.5 e RCP8.5 no modelo SMHI para o período 2041–2070

Na comparação entre os cenários RCP4.5 (Figura 13) e o RCP8.5 (Figura 14) do modelo SMHI para o período 2041–2070 de acordo com o Índice de Aridez de De Martonne, verificamos na Tabela 11 que a maior diferença em termos de área projetada é a que se registra na classe Semiárido, com mais 8 880 km<sup>2</sup> (+9,5%) no caso do cenário de forçamento mais gravoso.

**Tabela 11** - Valores em área, percentagem e diferença entre cada classe para o período 2041–2070 nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 no modelo SMHI, de acordo com o Índice de Aridez de De Martonne

Classes	2041-2070					
	SMHI RCP 4.5		SMHI RCP 8.5		Diferença	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Extremamente Húmido	5 311	5,7	4 050	4,4	-1 261	-1,3
Muito Húmido	15 636	16,8	13 008	14,0	-2 628	-2,8
Húmido	10 982	11,8	10 037	10,8	-945	-1,0
Sub-Húmido	12 127	13,0	11 307	12,1	-820	-0,9
Mediterrâneo	15 349	16,5	12 123	13,0	-3 226	-3,5
Semiárido	33 647	36,2	42 527	45,7	+8 880	+9,5
Árido	0	0,0	0	0,0	0	0,0

A classe Árido não apresenta nenhuma representação tanto nos mapas como nas tabelas.

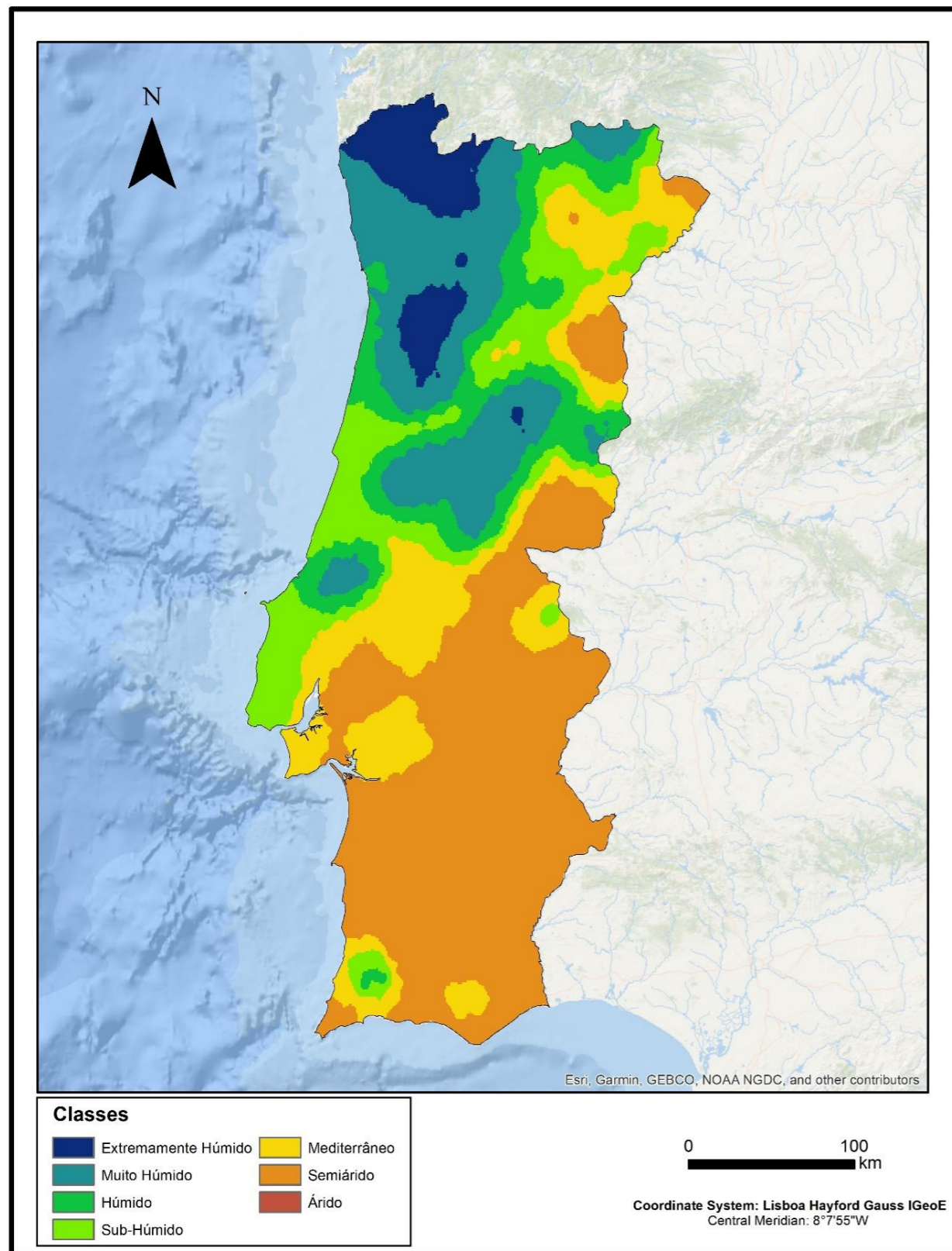


Figura 13 - Índice de Aridez de De Martonne para o período 2041–2070 (SMHI RCP4.5)

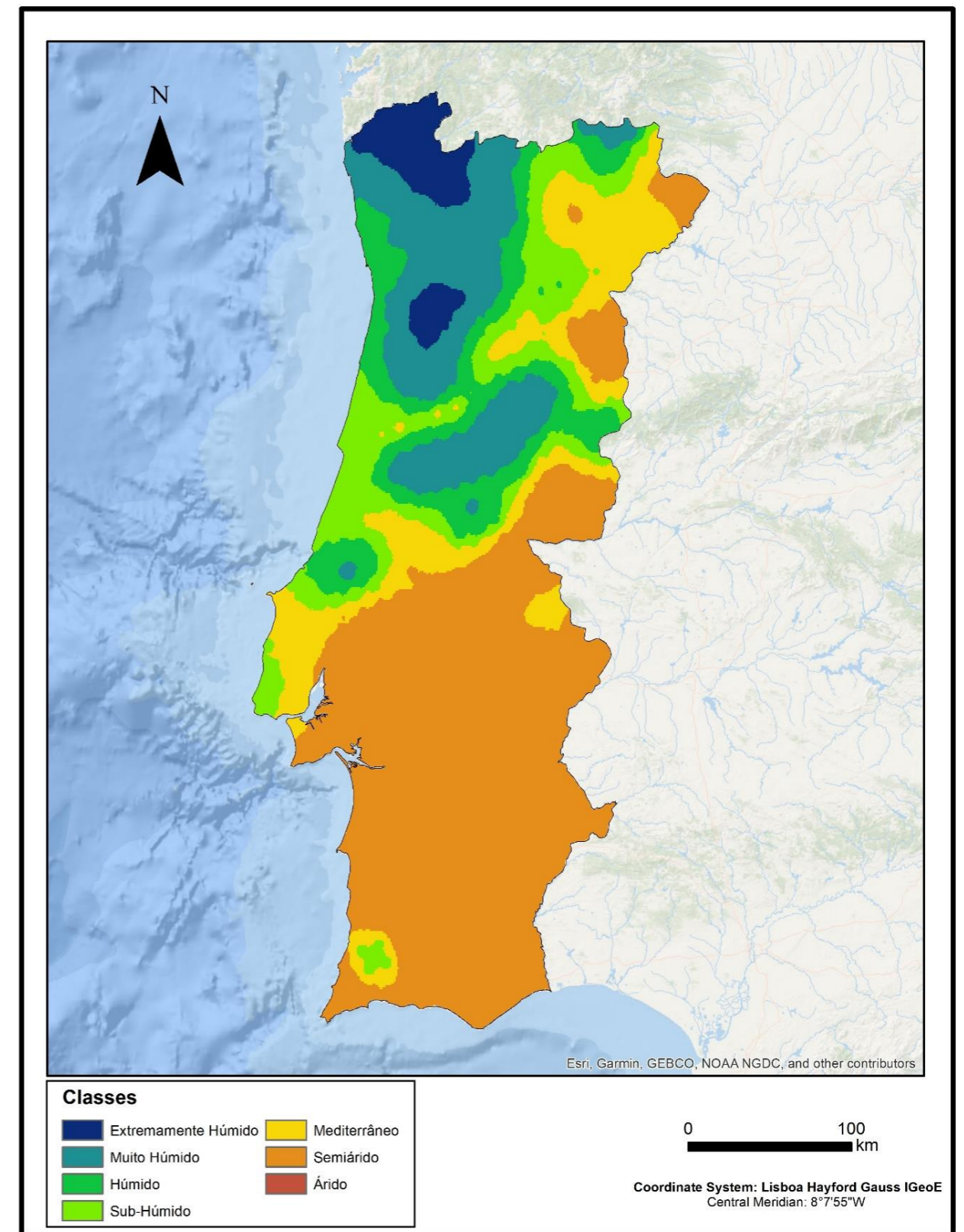


Figura 14 - Índice de Aridez de De Martonne para o período 2041–2070 (SMHI RCP8.5)

4.1.3.2 - Comparação entre os períodos de 1986–2015 e 2041–2070 (SMHI

RCP4.5)

Na tabela 12 estão representadas as variações entre os dados de 1986–2015 (Figura 10) e os dados para 2041–2070 de acordo com o cenário RCP4.5 do modelo SMHI (Figura 13), utilizando o Índice de Aridez de De Martonne e em que podemos verificar que a classe relativamente à qual se projeta um maior crescimento é o Semiárido, com mais 28 596 km<sup>2</sup> (+30,8%), enquanto a classe que registará a maior perda é o Muito Húmido, com menos 11 339 km<sup>2</sup> (-12,2%).

A classe Extremamente Húmido, deverá registar uma perda de 4 432 km<sup>2</sup> (-4,8%), sendo esta redução de área mais visível na Cordilheira Central, na Serra de Montemuro (Trás-os-Montes), Cávado, Ave e Alto Minho.

Na classe Muito Húmido, também é também projetado um decréscimo, estimado em 11 339 km<sup>2</sup> (-12,2%). A redução da área ocupada por esta classe projeta-se que ocorra na Serra de Aire e Candeeiros (Oeste), na Cordilheira Central, na Serra da Malcata (Beiras e Serra da Estrela), Serra de Montesinho (Trás-os-Montes), Região de Leiria, Região de Coimbra, Área Metropolitana do Porto e Alto Tâmega.

**Tabela 12** - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP4.5, modelo SMHI de acordo com o Índice de Aridez de De Martonne

Classes	1986-2015		2041-2070		Diferença	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Extremamente Húmido	9 743	10,5	5 311	5,7	-4 432	-4,8
Muito Húmido	26 975	29,0	15 636	16,8	-11 339	-12,2
Húmido	13 710	14,7	10 982	11,8	-2 728	-2,9
Sub-Húmido	18 509	19,9	12 127	13,0	-6 382	-6,9
Mediterrâneo	19 064	20,5	15 349	16,5	-3 715	-4,0
Semiárido	5 051	5,4	33 647	36,2	+28 596	+30,8
Árido	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Na classe Húmido, é projetado um decréscimo de território estimado em 2 728 km<sup>2</sup> (-2,9%), numa comparação entre 1986–2015 e o cenário RCP4.5 no modelo SMHI, sendo esta perda visível na área da Serra de Monchique (Algarve), no Oeste, Beira Baixa, Trás-os-Montes, Serra de São Mamede (Alto Alentejo), e na Área da Grande Lisboa.

No que diz respeito à classe Sub-Húmido, verificamos que se projeta um decréscimo na área representada em 6 382 km<sup>2</sup> (-6,9%), com perdas no Algarve, Alto Alentejo (na área da Serra de

São Mamede), Médio Tejo, Beira Baixa, Alentejo Litoral, Baixo Alentejo, Alentejo Central e Lezíria do Tejo.

A classe Mediterrâneo, apresentará um decréscimo de território de 3 715 km<sup>2</sup> (-4,0%) nesta comparação entre 1986–2015 e o cenário RCP4.5 no modelo SMHI, sendo esperada uma perda de representação no Algarve, Baixo Alentejo, Alentejo Litoral, Alentejo Central e Alto Alentejo.

Conforme se destacou, a classe Semiárido irá conhecer até 2041–2070 um grande aumento na sua superfície estimada, de 28 596 km<sup>2</sup> (+30,8%). Este forte aumento das áreas em condições de semiaridez no índice de De Martonne projeta-se que irá ocorrer em muitas áreas de Portugal Continental, nomeadamente, no Baixo Alentejo, Alentejo Central, Beiras e Serra da Estrela, Algarve, Alentejo Litoral, Alto Alentejo, Lezíria do Tejo, Beira Baixa e Trás-os-Montes. A expansão desta classe far-se-á em detrimento das restantes classes, com exceção da classe Árido.

A classe Árido, não está representada nesta tabela, devido a ausência desta classe, mesmo na projeção para 2041–2070, de acordo com este cenário e modelo.

#### *4.1.3.3 - Comparação entre os períodos de 1986–2015 e 2041–2070 (SMHI RCP8.5)*

Na comparação entre o período 1986–2015 (Figura 10) e o período 2041–2070, considerando o cenário RCP8.5 (mais gravoso) do modelo SMHI (Figura 14) de acordo com o Índice de Aridez de De Martonne, confirmamos na Tabela 13 que o maior aumento projetado é o respeitante à classe Semiárido, cuja área poderá aumentar em mais 37 476 km<sup>2</sup> (+40,3%). Com exceção da classe Semiárido e da classe Árido – não representada mesmo em 2041–2070 – todas as restantes perdem território, cabendo à classe Muito Húmido, a maior diminuição: 13 967 km<sup>2</sup> (-15,0%).

A classe Extremamente Húmido, poderá perder também 5 693 km<sup>2</sup> (-6,1%), sendo isto visível numa diminuição na Serra de Montemuro (Trás-os-Montes), no Cávado, Ave, Alto Minho e Cordilheira Central.

A classe Muito Húmido, como se referiu, é a que perderá mais área, projetando-se uma perda de 13 967 km<sup>2</sup> (-15,0%). As regiões onde se espera esta redução repartem-se pela Cordilheira Central, Serra de Montesinho (Trás-os-Montes), Serras de Aire e Candeeiros (Oeste), Região de Leiria, Região de Coimbra, Região de Aveiro, Área Metropolitana do Porto e Serra da Malcata (Beiras e Serra da Estrela).

**Tabela 13** - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP8.5, modelo SMHI de acordo com o Índice de Aridez de De Martonne

Classes	1986-2015		2041-2070		Diferença	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Extremamente Húmido	9 743	10,5	4 050	4,4	-5 693	-6,1
Muito Húmido	26 975	29,0	13 008	14,0	-13 967	-15,0
Húmido	13 710	14,7	10 037	10,8	-3 673	-3,9
Sub-Húmido	18 509	19,9	11 307	12,1	-7 202	-7,8
Mediterrâneo	19 064	20,5	12 123	13,0	-6 941	-7,5
Semiárido	5 051	5,4	42 527	45,7	+37 476	+40,3
Árido	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Quanto à classe Húmido, verificamos que se projeta um decréscimo de 3 673 km<sup>2</sup> (-3,9%), que poderá ocorrer na Serra de Monchique (Algarve), Área da Grande Lisboa, Lezíria do Tejo, no Oeste, Trás-os-Montes, Douro, Viseu Dão Lafões e Beira Baixa.

Na classe Sub-Húmido é esperada uma perda de 7 202 km<sup>2</sup> (-7,8%), sendo este decréscimo esperado na Serra de Monchique (Algarve), no Alentejo Litoral, Alto Alentejo, Península de Setúbal, na Lezíria do Tejo e Médio Tejo.

Por seu turno, a classe Mediterrâneo perderá nesta projeção 6 941 km<sup>2</sup> (-7,5%), numa redução que afetará as áreas da Serra de Monchique (Algarve), Serra de São Mamede (Alto Alentejo), Baixo Alentejo, Alentejo Central, Área da Grande Lisboa, Península de Setúbal, Lezíria do Tejo e Médio Tejo, aumento na Beira Baixa, Douro e Trás-os-Montes.

Como se destacou, a classe Semiárido poderá registar uma expansão territorial de cerca de 40% em Portugal Continental. Este alargamento do território com condições de semiaridez segundo o Índice de De Martonne, ocorrerá no Algarve, Baixo Alentejo, Alentejo Central, Beiras e Serra da Estrela, Trás-os-Montes, Alentejo Litoral, Alto Alentejo, Península de Setúbal, Lezíria do Tejo, Médio Tejo e Beira Baixa.

## 4.2 - Índice de Aridez de Emberger

### 4.2.1 - Períodos 1971-1990 e 1986-2015

#### 4.2.1.1 - Comparação entre os períodos de 1971-1990 e 1986-2015

Nesta comparação entre o período de 1971-1990 (Figura 15) e o período 1986-2015 (Figura 16) de acordo com o Índice de Aridez de Emberger, verificamos na Tabela 14 que a classe que apresenta um maior ganho é a classe Sub-Húmido com mais 2 212 km<sup>2</sup> (+2,4%), enquanto a maior perda se verifica na classe Húmido, com menos 4 376 km<sup>2</sup> (-4,7%).

A classe Húmido apresenta uma perda na área representada de 4 376 km<sup>2</sup> (-4,7%). Esta perda traduz-se numa diminuição da área correspondente nas regiões do Algarve e Baixo Alentejo (principalmente no sudoeste destas regiões), na área logo a norte do Rio Tejo e no noroeste de Portugal Continental, e no desaparecimento da classe na área da Serra de Monchique (Algarve).

Tabela 14 - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1971-1990 e 1986-2015 de acordo com o Índice de Aridez de Emberger

Classes	1971-1990		1986-2015		Diferença	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Húmido	48 038	51,6	43 662	46,9	-4 376	-4,7
Sub-Húmido	39 104	42,0	41 316	44,4	+2 212	+2,4
Semiárido	5 910	6,4	8 074	8,7	+2 164	+2,3
Árido	0	0,0	0	0,0	0	0,0

No caso da classe Sub-Húmido, verificamos um aumento de 2 212 km<sup>2</sup> (+2,4%), sendo este crescimento visível no Algarve e Baixo Alentejo (principalmente ano sudoeste do território), na área circundante à Terra Quente Transmontana, na área nordeste de Portugal Continental, na área logo a norte do Rio Tejo. Em termos líquidos, este aumento não foi compensado pela diminuição desta classe que é patente nas áreas do Baixo Alentejo, Alentejo Central e Alto Alentejo (principalmente nas áreas este e nordeste destas regiões).

Quanto à classe Semiárido, temos um crescimento de 2 164 km<sup>2</sup> (+2,3%) numa comparação entre 1971-1990 e 1986-2015, sendo isto devido ao aparecimento desta classe em pequenos focos na área sul da Beira Baixa, ao seu aumento no Baixo Alentejo, Alentejo Central e Alto Alentejo (principalmente na parte este e nordeste deste território). Temos também uma diminuição desta classe na Terra Quente Transmontana, que não afeta em muito a percentagem apresentada na tabela acima.

Por fim, refira-se o caso da classe Árido, que não apresenta qualquer representação na tabela ou nos mapas apresentados.

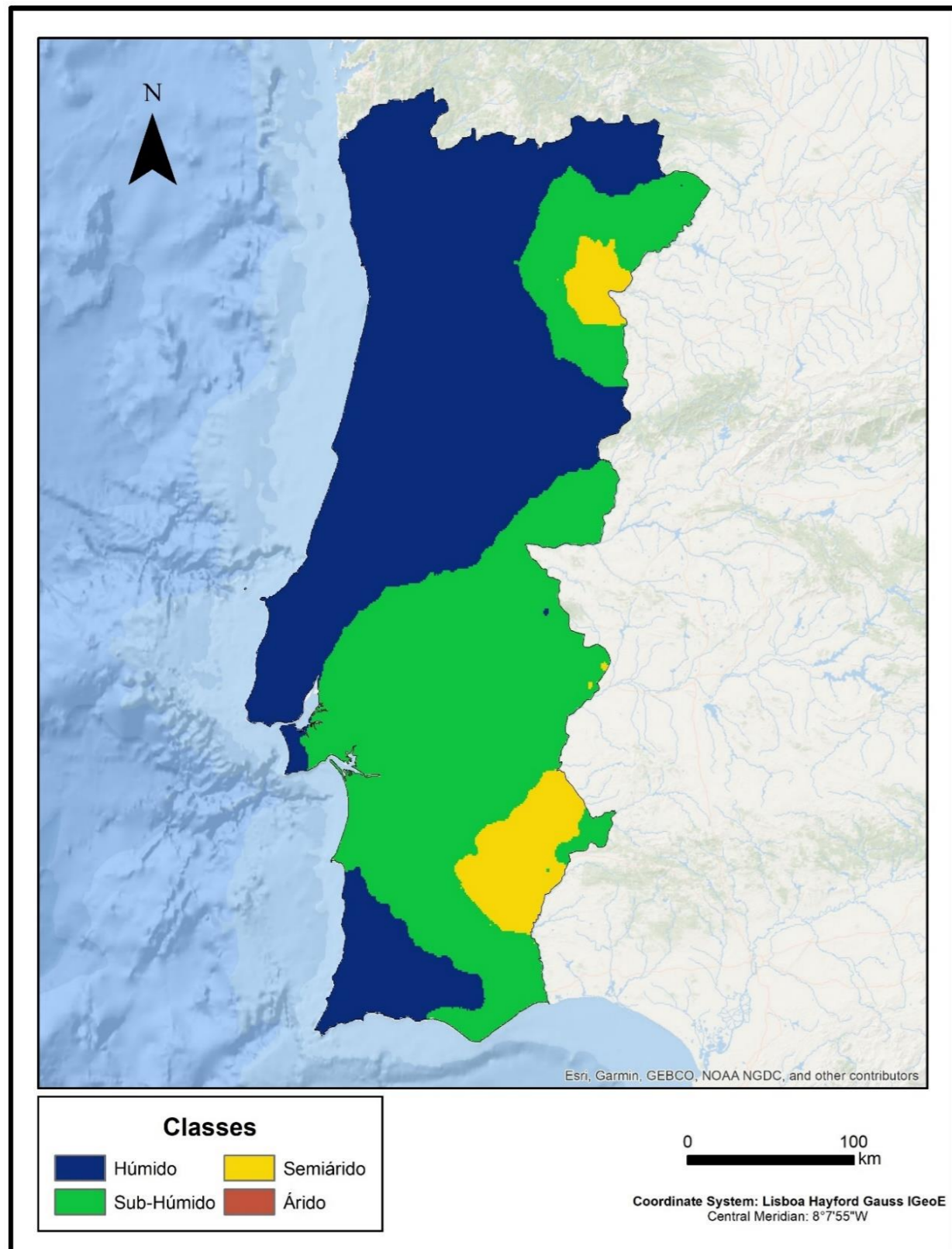


Figura 15 - Índice de Aridez de Emberger para o período 1971-1990

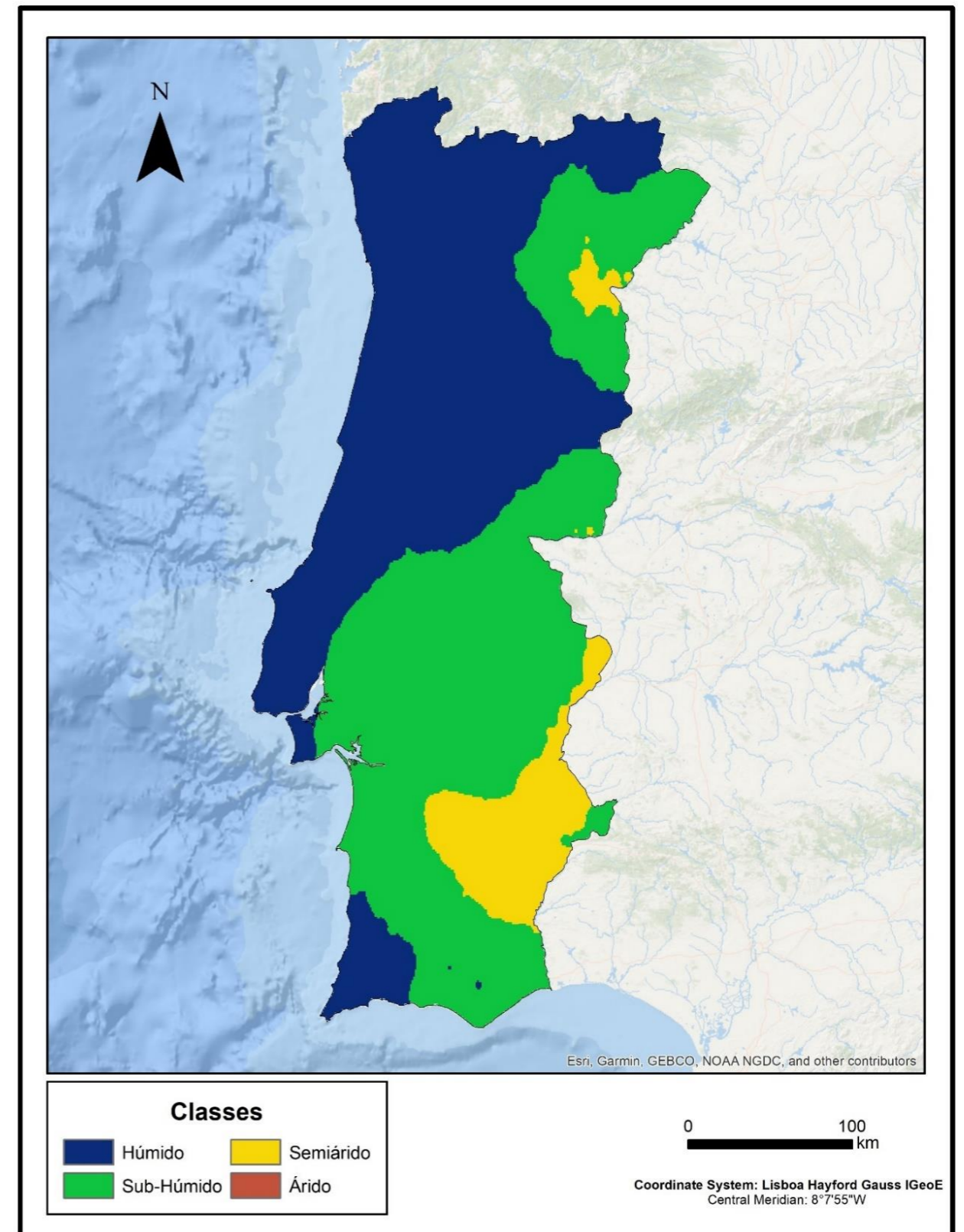


Figura 16 - Índice de Aridez de Emberger para o período 1986-2015

#### 4.2.2 - Período 2041–2070 de acordo com o modelo KNMI nos cenários RCP4.5 e RCP8.5

##### 4.2.2.1 - Comparação entre os cenários RCP4.5 e RCP8.5 no modelo KNMI para o período 2041–2070

Nesta comparação entre os cenários RCP4.5 (Figura 17) e RCP8.5 (Figura 18) no modelo KNMI para o período 2041–2070 de acordo com o Índice de Aridez de Emberger (Tabela 15), podemos dizer que no cenário de maior forçamento radiativo se projeta uma maior extensão espacial das classes associadas a aridez mais acentuada (Semiárido e Árido). Por seu turno, a classe Húmido irá abranger cerca de 33% do território de Portugal Continental no cenário RCP8.5, menos 2% da área que se projeta no cenário de forçamento radiativo menos gravoso.

**Tabela 15** - Valores em área, percentagem e diferença entre cada classe para o período 2041–2070 nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 no modelo KNMI de acordo com o Índice de Aridez de Emberger

Classes	2041-2070					
	KNMI RCP 4.5		KNMI RCP 8.5		Diferença	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Húmido	32 728	35,2	30 586	32,9	-2 142	-2,3
Sub-Húmido	36 771	39,5	36 166	38,9	-605	-0,6
Semiárido	23 553	25,3	26 298	28,2	+2 745	+2,9
Árido	0	0,0	2	0,0	2	0,0

De salientar também que existe o aparecimento da classe Árido no cenário RCP8.5 deste modelo, apesar de lhe corresponder uma superfície de apenas 2 km<sup>2</sup>.

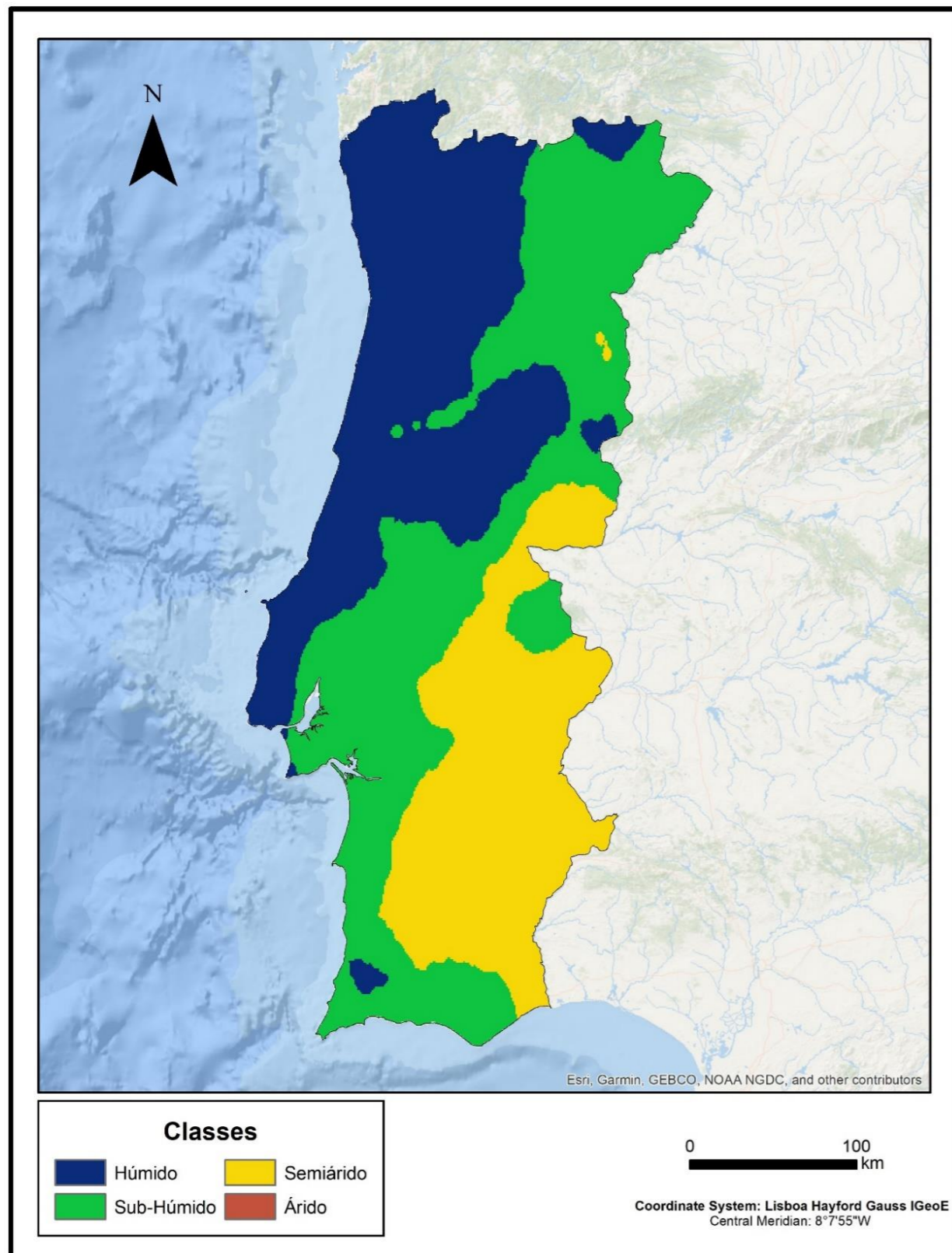


Figura 17 - Índice de Aridez de Emberger para o período 2041–2070 (KNMI RCP4.5)

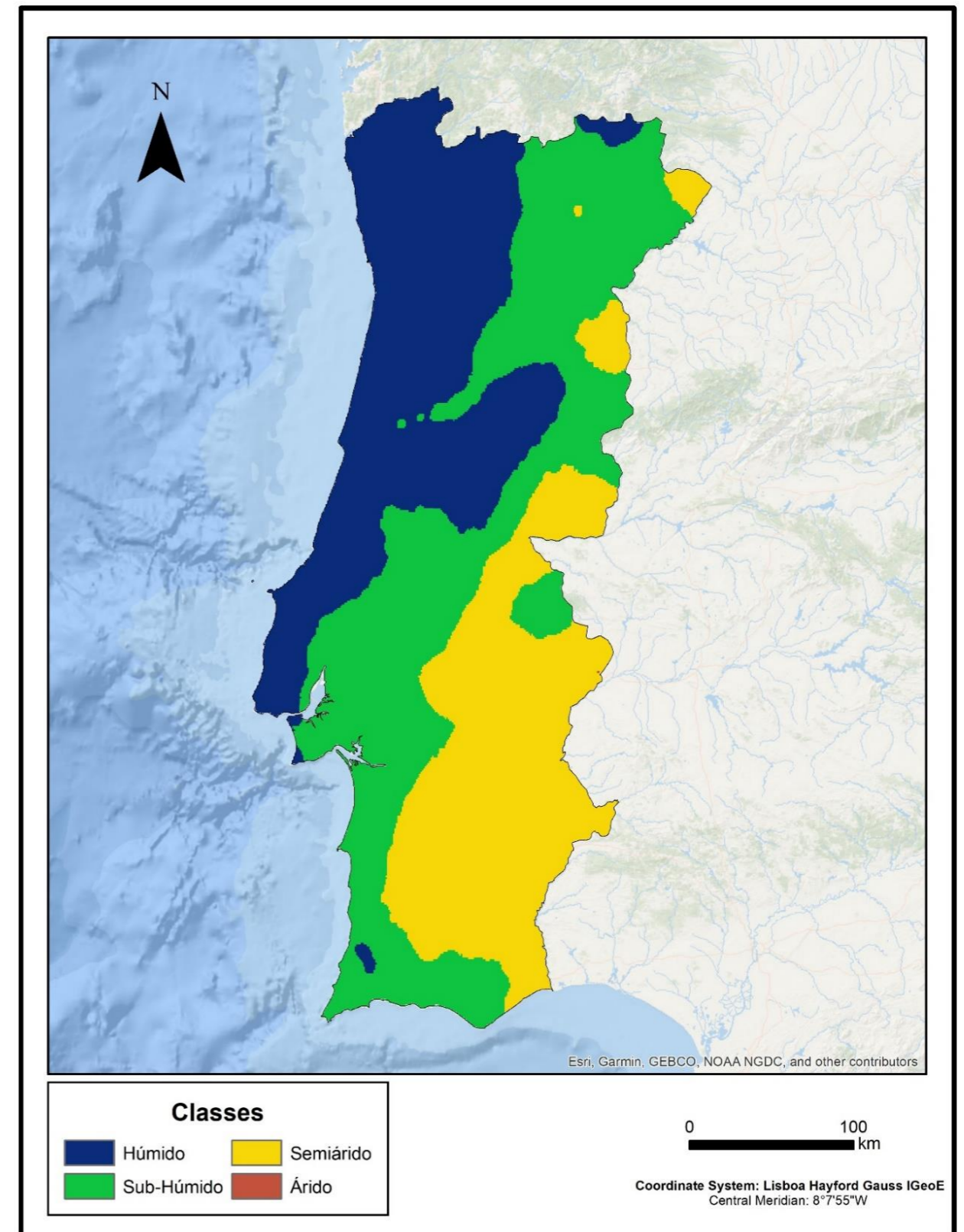


Figura 18 - Índice de Aridez de Emberger para o período 2041–2070 (KNMI RCP8.5)

#### 4.2.2.2 - Comparação entre os períodos de 1986–2015 e 2041–2070 (KNMI RCP4.5)

Nesta comparação entre o período de 1986–2015 (Figura 16) e o período 2041–2070 de acordo com o cenário RCP4.5 (o menos gravoso) do modelo KNMI (Figura 17), de acordo com o Índice de Aridez de Emberger, podemos verificar na Tabela 16 que a classe em que é projetado o maior crescimento é a classe Semiárido com mais 15 479 km<sup>2</sup> (+16,6%), enquanto o maior decréscimo se projeta na classe Húmido com menos 10 934 km<sup>2</sup> (-11,7%). A única classe que apresenta um aumento de área projetada é a classe Semiárido, sendo que as classes Húmido e Sub-Húmido apresentam uma diminuição no território e a classe Árido não surge representada no período recente, nem na projeção para meados do presente século.

Tal como foi já dito, a classe Húmido apresenta um grande decréscimo na área representada, em 10 934 km<sup>2</sup> (-11,7%), sendo esta perda visível no oeste do Algarve (ficando circunscrita à Serra de Monchique no Algarve), na Península de Setúbal, na Área da Grande Lisboa, no Oeste, no Médio Tejo, na Serra da Malcata (Beiras e Serra da Estrela), em Viseu Dão Lafões, no Douro, Trás-os-Montes (ficando circunscrita à Serra do Montesinho) e no Alto Tâmega. Temos ainda o desaparecimento desta classe na Serra do Caldeirão (Algarve) e no Alentejo Litoral.

*Tabela 16 - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP4.5, modelo KNMI de acordo com o Índice de Aridez de Emberger*

Classes	KNMI RCP 4.5					
	1986-2015		2041-2070		Diferença	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Húmido	43 662	46,9	32 728	35,2	-10 934	-11,7
Sub-Húmido	41 316	44,4	36 771	39,5	-4 545	-4,9
Semiárido	8 074	8,7	23 553	25,3	+15 479	+16,6
Árido	0	0,0	0	0,0	0	0,0

No caso da classe Sub-Húmido, temos um decréscimo de 4 545 km<sup>2</sup> (-4,9%) numa comparação entre os períodos de 1986–2015 e 2041–2070 (cenário RCP4.5 no modelo KNMI). Isto é visível na perda de área no Algarve (a este), no Baixo Alentejo, no Alentejo Central, no Alto Alentejo (ficando circunscrita à Serra de São Mamede e arredores) e na Beira Baixa. Apesar de se projetar uma diminuição desta classe, em alguns locais haverá um aumento na área representada, como podemos ver no Algarve (oeste), no Alentejo Litoral, na Península de Setúbal, no Médio Tejo, na Serra da Malcata (Beiras e Serra da Estrela), em Viseu Dão Lafões, no Douro, em Trás-os-Montes e Alto Tâmega, e o aparecimento desta mesma classe na Área da Grande Lisboa e no Oeste.

Como já vimos anteriormente, a classe Semiárido apresenta um grande crescimento na área representada em 15 479 km<sup>2</sup> (+16,6%), sendo este aumento repartido pelas regiões do Baixo Alentejo, Alentejo Central, Alto Alentejo, Beira Baixa, Médio Tejo e Algarve (este). Existe também o desaparecimento desta classe na Terra Quente Transmontana.

Por fim a classe Árido, não apresenta nenhuma representação para ambos os períodos.

#### 4.2.2.3 - Comparação entre os períodos de 1986–2015 e 2041–2070 (KNMI RCP8.5)

Na tabela 17 estão representadas as variações entre os dados de 1986–2015 (Figura 16) e os dados para 2041–2070 de acordo com o cenário RCP8.5 do modelo KNMI (Figura 18), utilizando o Índice de Aridez de Emberger. Podemos verificar que a classe relativamente à qual se projeta um maior crescimento é o Semiárido, com mais 18 224 km<sup>2</sup> (+19,5%), enquanto a classe que registará a maior perda é o Húmido, com menos 13 076 km<sup>2</sup> (-14,0%).

Como vemos na tabela 17, a classe Húmido apresenta uma diminuição de 13 076 km<sup>2</sup> (-14,0%) na comparação entre 1986–2015 e 2041–2070. Projeta-se que esta perda irá ocorrer em muitas áreas de Portugal Continental, nomeadamente no oeste do Algarve (ficando circunscrita na Serra de Monchique), Península de Setúbal, Médio Tejo, Beiras e Serra da Estrela, Viseu Dão Lafões, Douro, Trás-os-Montes (ficando restrita à Serra de Montesinho) e Alto Tâmega, sendo que se constata também o desaparecimento da classe na Serra do Caldeirão e Alentejo Litoral.

*Tabela 17 - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP8.5, modelo KNMI de acordo com o Índice de Aridez de Emberger*

Classes	KNMI RCP 8.5					
	1986-2015		2041-2070		Diferença	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Húmido	43 662	46,9	30 586	32,9	-13 076	-14,0
Sub-Húmido	41 316	44,4	36 166	38,9	-5 150	-5,5
Semiárido	8 074	8,7	26 298	28,2	+18 224	+19,5
Árido	0	0,0	2	0,0	2	0,0

Na classe Sub-Húmido, projeta-se um decréscimo de 5 150 km<sup>2</sup> (-5,5%), com perdas visíveis no Algarve (este), Baixo Alentejo, Alentejo Central, Alto Alentejo (ficando limitada à Serra de São Mamede e arredores) e Beira Baixa, e com o desaparecimento na Serra do Caldeirão. Apesar desta diminuição da percentagem, existe o aumento na área classificada com Sub-Húmido no Algarve (oeste), Alentejo

Litoral, Península de Setúbal, Médio Tejo, Beiras e Serra da Estrela, Viseu Dão Lafões, Douro, Trás-os-Montes e Alto Tâmega, e o aparecimento na Área da Grande Lisboa e Oeste.

Como se referiu, a classe Semiárido deverá apresenta um crescimento de 18 224 km<sup>2</sup> (+19,5%) numa comparação entre 1986–2015 e o cenário RCP8.5 no modelo KNMI para o período 2041–2070, sendo isto visível através do aumento no Baixo Alentejo, Alentejo Central, Alto Alentejo e Beira Baixa, ao aparecimento no Algarve (este), Médio Tejo, Beira Baixa e Trás-os-Montes (nordeste). Temos também o desaparecimento desta classe na Terra Quente Transmontana, o que apesar de tudo não afeta em muito a variação de conjunto.

Na classe Árido, temos o aumento desta classe em 2 km<sup>2</sup>, surgindo na área de Campo Maior (Alto Alentejo).

4.2.3 - Período 2041–2070 de acordo com o modelo SHMI nos cenários RCP4.5 e RCP8.5

4.2.3.1 - Comparação entre os cenários RCP4.5 e RCP8.5 no modelo SMHI para o período 2041–2070

No que diz respeito à comparação entre os cenários RCP4.5 (o cenário menos gravoso) na Figura 19 e RCP8.5 (o mais gravoso) na Figura 20, podemos verificar na Tabela 18 que se projeta no cenário de maior forçamento radiativo uma menor extensão espacial das classes associadas a condições climáticas de ausente ou fraca aridez, estimada em cerca de 10,5% (-6,7 % na classe Húmido e -3,8% na classe Sub-Húmido). Em consequência, o oposto é constatado relativamente às classes mais associadas a condições aridez, com maior área projetada no território nacional continental, +4,0% na classe Semiárido e +6,5% na classe Árido, no cenário RCP8.5.

**Tabela 18** - Valores em área, percentagem e diferença entre cada classe para o período 2041–2070 nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 no modelo SMHI de acordo com o Índice de Aridez de Emberger

Classes	2041-2070					
	SMHI RCP 4.5		SMHI RCP 8.5		Diferença	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Húmido	27 130	29,1	20 823	22,4	-6 307	-6,7
Sub-Húmido	31 424	33,8	27 960	30,0	-3 464	-3,8
Semiárido	33 378	35,9	37 110	39,9	+3 732	+4,0
Árido	1 120	1,2	7 159	7,7	+6 039	+6,5

A classe onde se verifica uma maior diferença na área estimada é a classe Húmido, com menos 6,7% de superfície no território de Portugal Continental no cenário RCP8.5, seguindo-se o contraste projetado na classe Árido, mais 6,5 % do território, no cenário de maior forçamento radiativo.

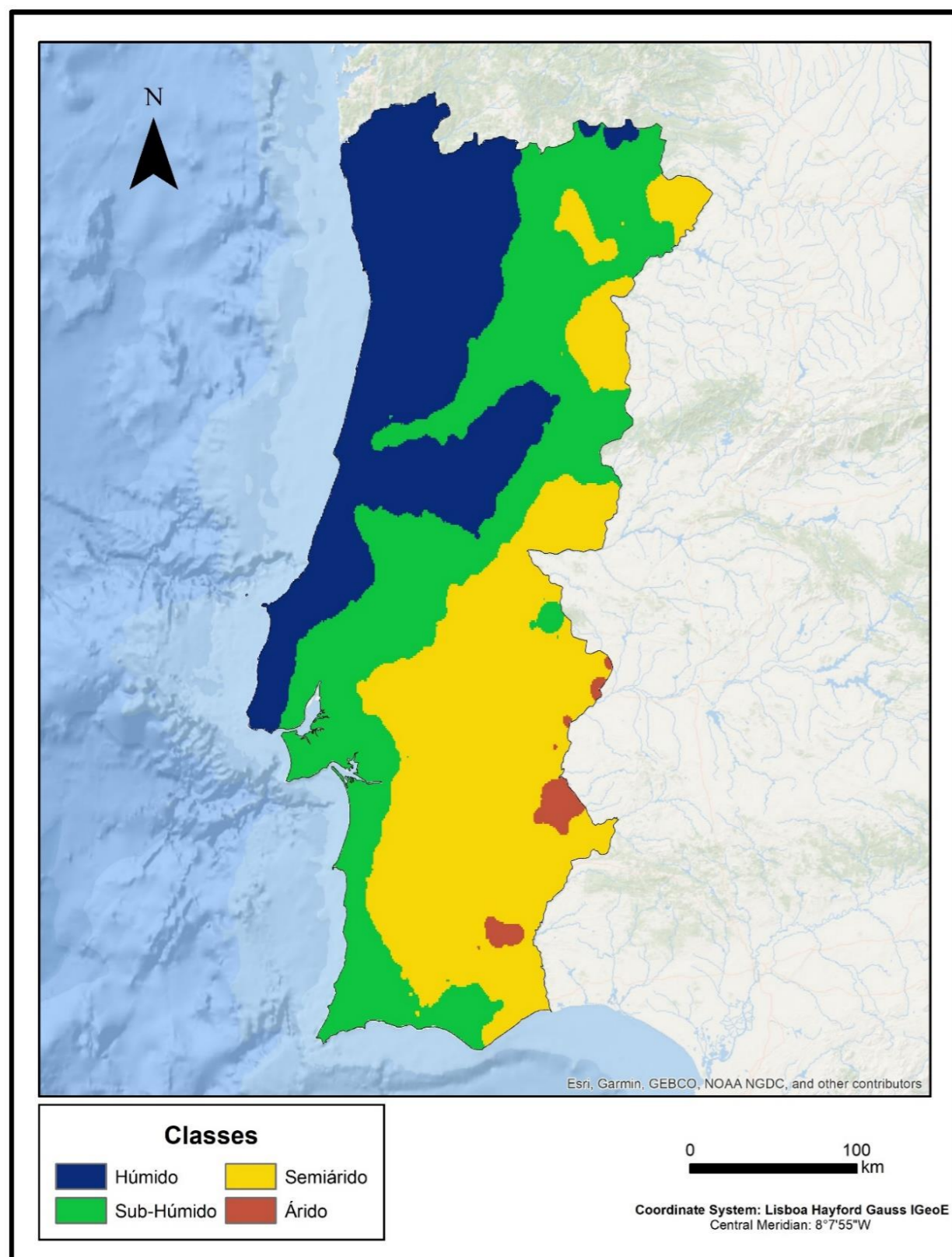


Figura 19 - Índice de Aridez de Emberger para o período 2041–2070 (SMHI RCP4.5)

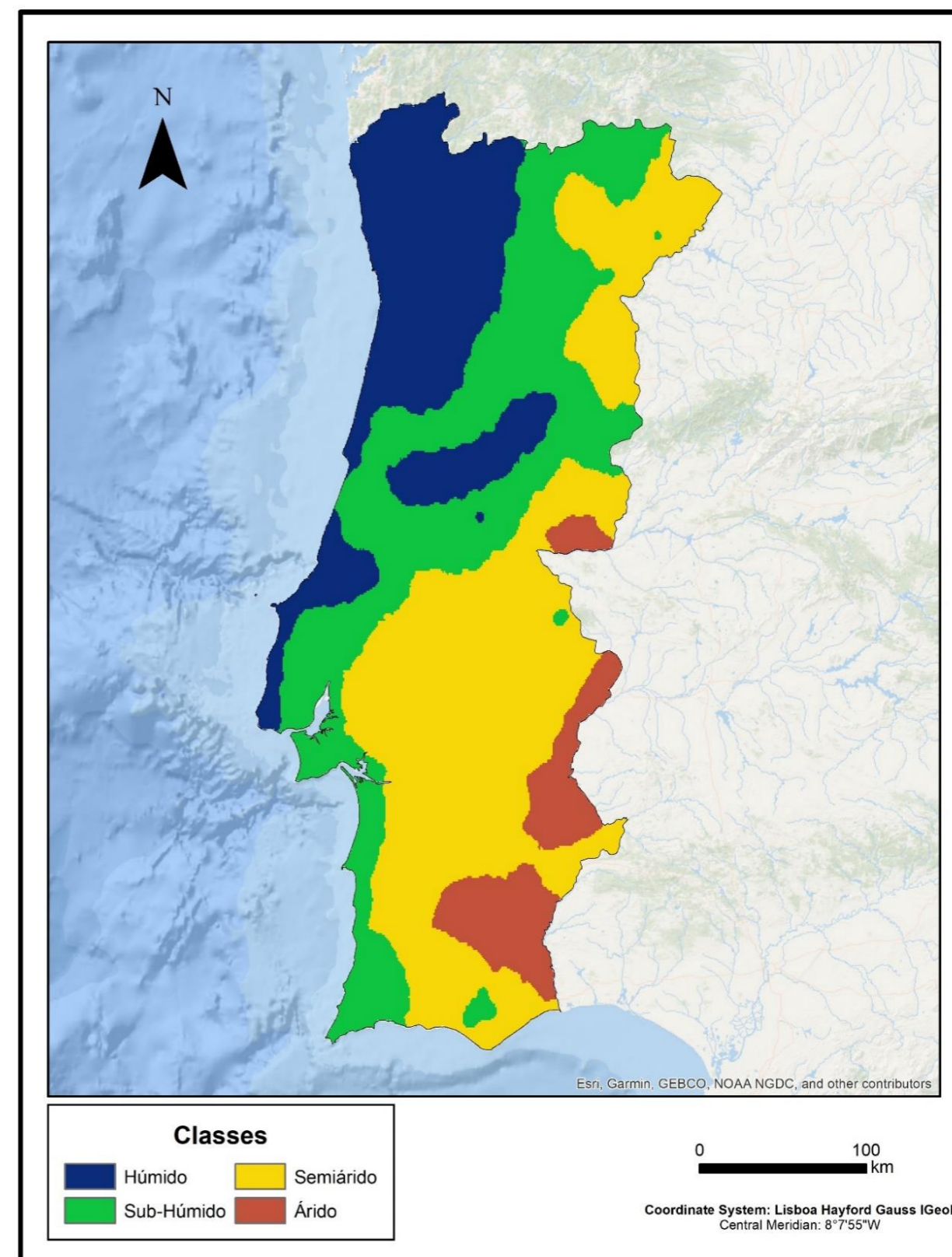


Figura 20 - Índice de Aridez de Emberger para o período 2041–2070 (SMHI RCP8.5)

4.2.3.2 - Comparação entre os períodos de 1986–2015 e 2041–2070 (SMHI RCP4.5)

De acordo com a Tabela 19 que tem como base os dados do período 1986–2015 (Figura 16) e o período 2041–2070 no cenário RCP4.5 e modelo SMHI (Figura 19) utilizando o Índice de Aridez de Emberger, deve destacar-se que identifica um maior aumento da área representada na classe Semiárido, estimado em 25 304 km<sup>2</sup> (+27,2%), enquanto a classe que apresenta um maior decréscimo na área representada é a classe Húmido, com uma diminuição cifrada em menos 16 532 km<sup>2</sup> (-17,8%).

A classe Húmido, como se referiu, apresenta uma perda de 16 532 km<sup>2</sup> (-17,8%). Esta perda estimada significativa de área deverá ocorrer um pouco por todo o território, nomeadamente na Área da Grande Lisboa, no Oeste, no Médio Tejo, na Região de Leiria, na Região de Coimbra, na Cordilheira Central, em Viseu Dão Lafões, no Douro, em Trás-os-Montes e no Alto Tâmega, havendo também o desaparecimento desta classe no Algarve, no Alentejo Litoral e na Península de Setúbal.

**Tabela 19** - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP4.5, modelo SMHI de acordo com o Índice de Aridez de Emberger

Classes	1986-2015		SMHI RCP 4.5 2041-2070		Diferença	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Húmido	43 662	46,9	27 130	29,1	-16 532	-17,8
Sub-Húmido	41 316	44,4	31 424	33,8	-9 892	-10,6
Semiárido	8 074	8,7	33 378	35,9	+25 304	+27,2
Árido	0	0,0	1 120	1,2	+1 120	+1,2

No caso da classe Sub-Húmido, projeta-se também uma perda, estimada em -9 892 km<sup>2</sup> (-10,6%), sendo esta perda visível no Algarve (este), Baixo Alentejo, Alentejo Central, Alentejo Litoral, Alto Alentejo (ficando circunscrita à Serra de São Mamede), Lezíria do Tejo e Trás-os-Montes. Esta perda de superfície poderá ser atenuada por aumentos na área da classe na Península de Setúbal, Médio Tejo, Região de Coimbra, Cordilheira Central, Viseu Dão Lafões, Douro, Serra de Montesinho (Trás-os-Montes) e Alto Tâmega, e pelo seu aparecimento na Área da Grande Lisboa, Oeste e Região de Leiria.

Na classe Semiárido projeta-se um aumento significativo da sua área, estimado em 27,2%, expansão projetada que decorre das perdas de território existentes nas classes Húmido e Sub-Húmido. Assim, projeta-se que este ganho se deva ao aumento da área representada por esta

classe no Baixo Alentejo, Alentejo Central, Alto Alentejo, Beira Baixa, Beiras e Serra da Estrela, Douro e Trás-os-Montes, e pelo aparecimento da classe no Algarve (este), Alentejo Litoral, Lezíria do Tejo e Médio Tejo.

A classe Árido apresenta um aumento de 1 120 km<sup>2</sup> (+1,2%) numa comparação entre 1986–2015 e o cenário RCP4.5 no modelo SMHI, sendo este ganho devido ao aparecimento desta classe no Baixo Alentejo (este), Alentejo Central (este) e Alto Alentejo (este).

#### 4.2.3.3 - Comparação entre os períodos de 1986–2015 e 2041–2070 (SMHI RCP8.5)

Nesta comparação entre o período de 1986–2015 (Figura 16) e o período 2041–2070 de acordo com o cenário RCP8.5 e modelo SMHI (Figura 20) calculado através do Índice de Aridez de Emberger, verificamos na Tabela 20 que o maior ganho de território esperado se coloca em relação à classe Semiárido, com mais 29 036 km<sup>2</sup> (+31,2%), enquanto a maior perda é esperada na classe Húmido, com menos 22 839 km<sup>2</sup> (-24,5%).

Como verificamos acima, projeta-se que a classe Húmido perca 24,5% do território até 2041–2070, sendo que esta classe era a mais representada no período mais recente (46,9%), passando no futuro a ser terceira mais representada em Portugal Continental (22,4%). A diminuição projetada diz respeito à Área da Grande Lisboa, Oeste, Região de Leiria, Região de Coimbra, Douro, Cordilheira Central, Viseu Dão Lafões e Trás-os-Montes, verificando-se o desaparecimento desta classe na Península de Setúbal e Algarve.

**Tabela 20** - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP8.5, modelo SMHI de acordo com o Índice de Aridez de Emberger

Classes	1986-2015		SMHI RCP 8.5 2041-2070		Diferença	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Húmido	43 662	46,9	20 823	22,4	-22 839	-24,5
Sub-Húmido	41 316	44,4	27 960	30,0	-13 356	-14,4
Semiárido	8 074	8,7	37 110	39,9	+29 036	+31,2
Árido	0	0,0	7 159	7,7	+7 159	+7,7

Quanto à classe Sub-Húmido, existe uma diminuição de 13 356 km<sup>2</sup> (-14,4%) numa comparação entre 1986–2015 e o cenário RCP8.5 no modelo SMHI para o período 2041–2070. Esta perda esperada reparte-se pelo Baixo Alentejo, Alentejo Central, Alto Alentejo, Lezíria do Tejo, Médio Tejo, Beira Baixa, Beiras e Serra da Estrela e Trás-os-Montes. Apesar desta classe apresentar

uma perda significativa no território, existem alguns setores onde se projeta um ganho de território, tais como as regiões da Península de Setúbal, Região de Leiria, Região de Coimbra, Douro, Cordilheira Central, Viseu Dão Lafões e Trás-os-Montes, existindo também o aparecimento desta classe na Área da Grande Lisboa e no Oeste.

Tal como vimos na Tabela 20, a classe Semiárido apresenta um ganho de 29 036 km<sup>2</sup> (+31,2%) numa comparação entre 1986–2015 e o cenário RCP8.5 no modelo SMHI. Este é um aumento muito expressivo na área representada por esta classe, passando de terceira classe mais significativa com 8,68% no período 1986–2015, para a mais significativa no período 2041–2070 com quase 40% do território. Este crescimento irá dever-se a um aumento esperado do território pertencente a esta classe no Baixo Alentejo, Alentejo Central, Alto Alentejo, Beira Baixa, Beiras e Serra da Estrela, Douro e Trás-os-Montes, e ao aparecimento no Algarve, Alentejo Litoral, Lezíria do Tejo.

No caso da classe Árido temos um ganho de 7 159 km<sup>2</sup> (+7,7%) numa comparação entre 1986–2015 e o cenário RCP8.5 no modelo SMHI, sendo este acréscimo visível no aparecimento desta classe no Baixo Alentejo, Alentejo Central, Alto Alentejo e Beiras e Serra da Estrela.

## 4.3 - Índice de Aridez de Bagnouls-Gaussen

### 4.3.1 - Períodos 1971-1990 e 1986-2015

#### 4.3.1.1 - Comparação entre os períodos de 1971-1990 e 1986-2015

Na Tabela 21, temos a comparação entre o período de 1971-1990 (Figura 21) e o período 1986-2015 (Figura 22) de acordo com o cálculo do Índice de Aridez de Bagnouls-Gaussen. Na tabela 21 verificamos que a classe que apresenta um maior ganho é a classe Aridez Moderada com mais 5 307 km<sup>2</sup> (+5,7%), enquanto a maior perda se verifica na classe Aridez Muito Baixa com menos 5 965 km<sup>2</sup> (-6,4%).

Tal como já verificamos, a classe Aridez Muito Baixa apresenta um decréscimo de 5 965 km<sup>2</sup> (-6,4%) numa comparação entre 1971-1990 e 1986-2015, sendo esta diminuição visível na Cordilheira Central, Alta Tâmega e Trás-os-Montes, e também no desaparecimento da classe nas áreas entre a Cordilheira Central e a Região de Aveiro e Viseu Dão Lafões.

Na classe Aridez Baixa foi estimada uma diminuição de 1 932 km<sup>2</sup> (-2,1%) numa comparação entre 1971-1990 e 1986-2015, devido ao decréscimo nas áreas a norte do Rio Tejo e ao quase desaparecimento da classe nas áreas da Beiras e Serra da Estrela (sendo apenas existente um foco na Serra da Malcata). No entanto, constatou-se o aumento desta classe nalgumas áreas, como na Cordilheira Central, Alto Tâmega e Trás-os-Montes, apesar destas não compensarem a perda de território.

*Tabela 21 - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1971-1990 e 1986-2015 de acordo com o Índice de Aridez de Bagnouls-Gaussen*

Classes	1971-1990		1986-2015		Diferença	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Aridez Muito Baixa	22 247	23,9	16 282	17,5	-5 965	-6,4
Aridez Baixa	18 966	20,4	17 034	18,3	-1 932	-2,1
Aridez Moderada	10 804	11,6	16 111	17,3	+5 307	+5,7
Aridez Alta	22 706	24,4	24 622	26,5	+1 916	+2,1
Aridez Muito Alta	15 624	16,8	17 349	18,6	+1 725	+1,8
Aridez Extremamente Elevada	2 705	2,9	1 654	1,8	-1 051	-1,1

Quanto à classe Aridez Moderada, como já verificamos foi estimado um aumento de 5 307 km<sup>2</sup> (+5,7%), sendo que este ganho relativo se verificou em Trás-os-Montes, Douro, Viseu Dão Lafões, Beira Baixa, Beiras e Serra da Estrela, Área Metropolitana de Lisboa, Médio Tejo, Serra de Monchique (Algarve) e Oeste. No entanto, também se verificou o desaparecimento desta classe na Serra de S. Mamede (Alto Alentejo).

No caso da classe Aridez Alta, temos um decréscimo de 1 916 km<sup>2</sup> (-2,1%) numa comparação entre 1971-1990 e 1986–2015, sendo visível esta diminuição no Alto Alentejo, na área circundante à Terra Quente Transmontana e no desaparecimento na área de Moura e Barrancos (Baixo Alentejo). Esta redução não foi inteiramente compensada pelos aumentos da área ocupada por esta classe, verificados na Península de Setúbal e no Alentejo Litoral (continuando esta tendência para o interior do território).

A classe Aridez Muito Alta apresentou um aumento de 1 725 km<sup>2</sup> (+1,8%) numa comparação entre 1971-1990 e 1986–2015, sendo este incremento devido ao ganho desta classe no Baixo Alentejo, Alentejo Central e Alto Alentejo, principalmente nos seus setores ocidentais, e ao aparecimento na área sul da Beira Baixa. Existe, no entanto, o desaparecimento desta classe na Península de Setúbal, que, por sua vez, acaba por não afetar muito o resultado da comparação entre os dois períodos em estudo.

No caso da classe Aridez Extremamente Elevada, temos um decréscimo de 1 051 km<sup>2</sup> (-1,1%) numa comparação entre 1971-1990 e 1986–2015, sendo esta diminuição visível no Algarve e Baixo Alentejo.

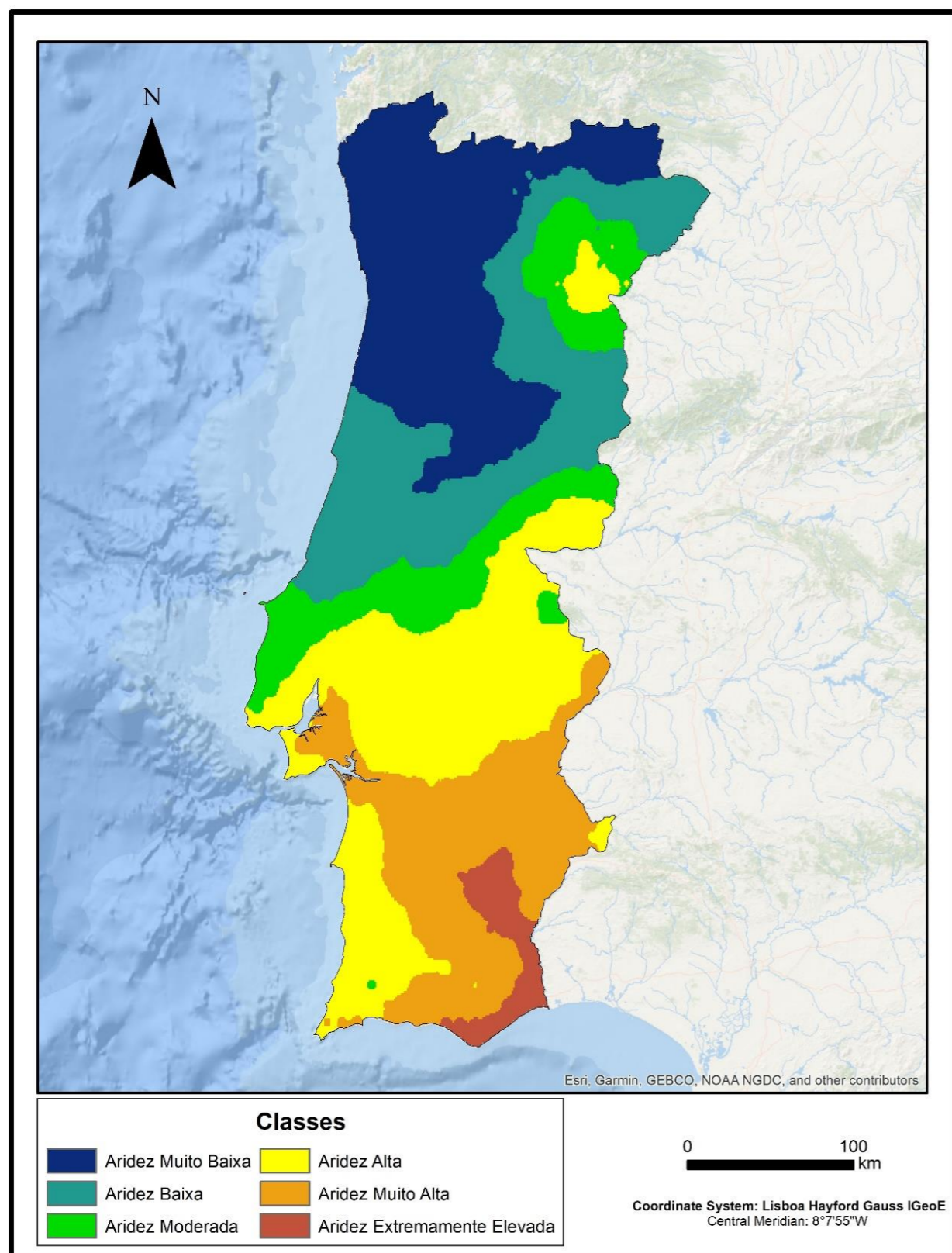


Figura 21 - Índice de Aridez de Bagnouls-Gausson para o período 1971-1990

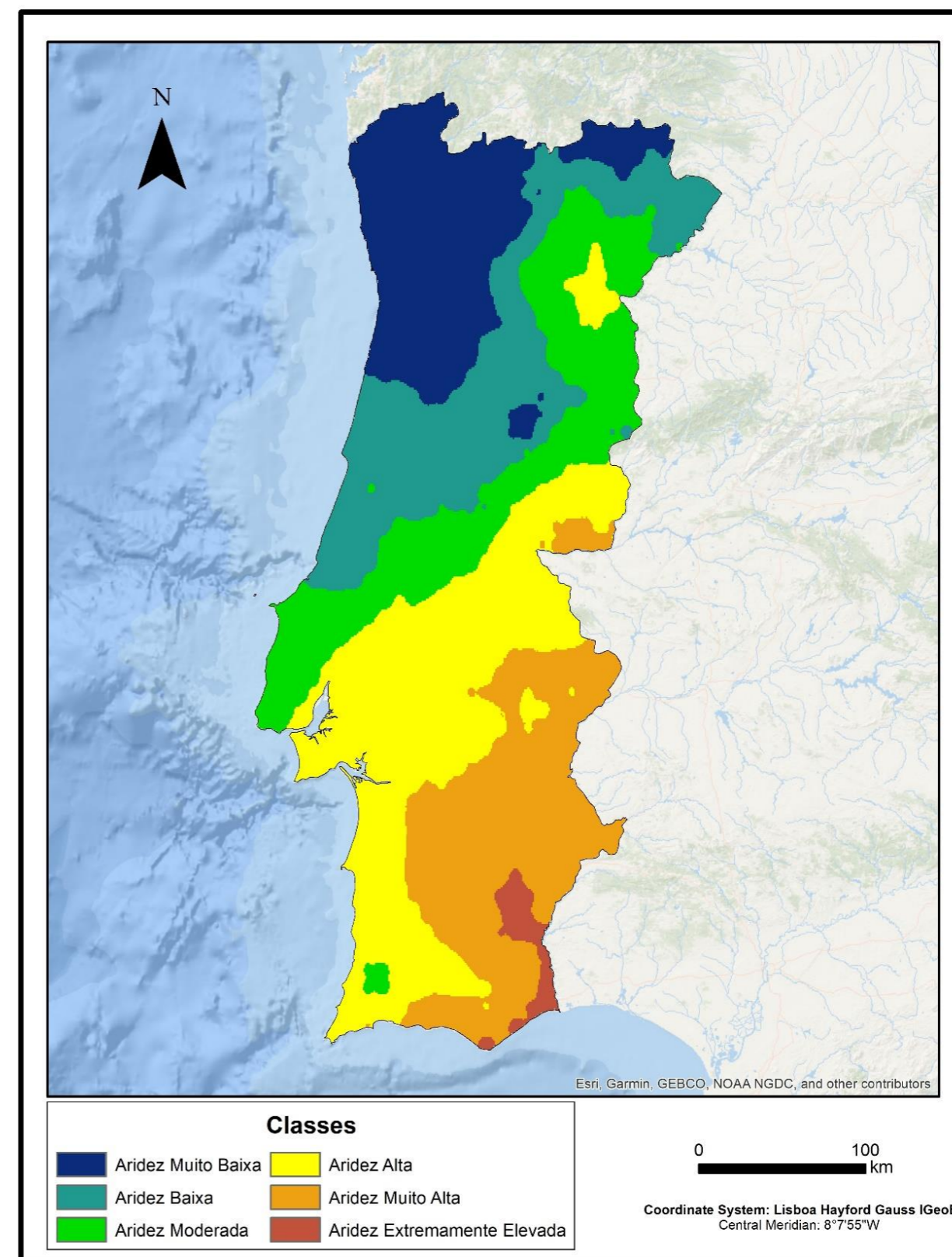


Figura 22 - Índice de Aridez de Bagnouls-Gausson para o período 1985-2015

4.3.2 - Período 2041–2070 de acordo com o modelo KNMI nos cenários RCP4.5 e RCP8.5

4.3.2.1 - Comparação entre os cenários RCP4.5 e RCP8.5 no modelo KNMI para o período 2041–2070

Na comparação entre os cenários RCP4.5 (Figura 23) e o RCP8.5 (Figura 24) do modelo KNMI para o período 2041–2070 de acordo com o Índice de Aridez de De Martonne, verificamos na Tabela 22 que a maior diferença em termos de área projetada é que se registra na classe Aridez Muito Alta, com uma área superior em 4 475 km<sup>2</sup> (+4,8%) no caso de cenário de forçamento mais gravoso.

**Tabela 22** - Valores em área, percentagem e diferença entre cada classe para o período 2041–2070 nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 no modelo KNMI de acordo com o Índice de Aridez de Bagnouls-Gausson

Classes	2041-2070					
	KNMI RCP 4.5		KNMI RCP 8.5		Diferença	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Aridez Muito Baixa	7 887	8,5	7 231	7,8	-656	-0,7
Aridez Baixa	8 587	9,2	10 696	11,5	+2 109	+2,3
Aridez Moderada	15 839	17,0	14 095	15,1	-1 744	-1,9
Aridez Alta	16 113	17,3	14 342	15,4	-1 771	-1,9
Aridez Muito Alta	10 620	11,4	15 095	16,2	+4 475	+4,8
Aridez Extremamente Elevada	34 006	36,6	31 593	34,0	-2 413	-2,6

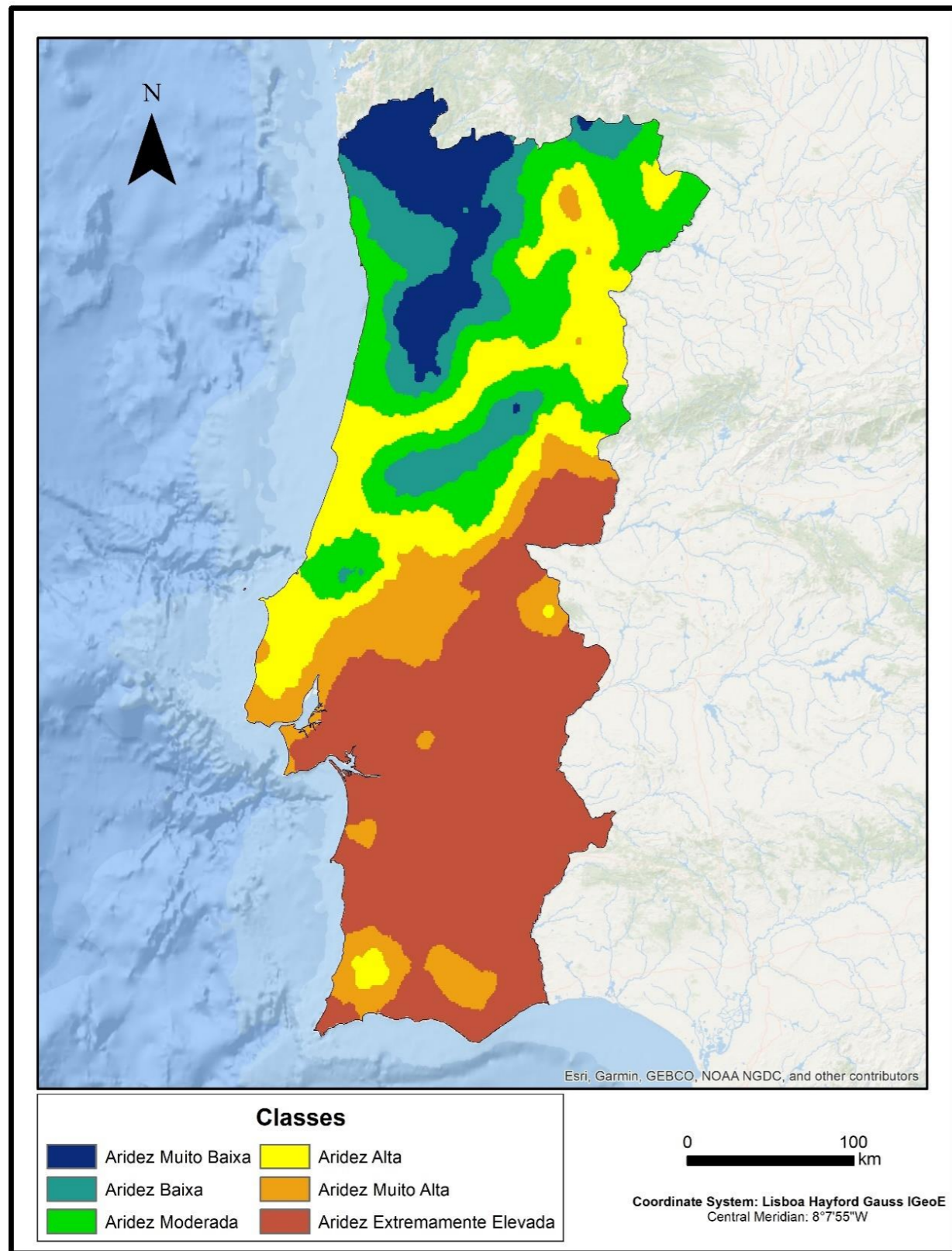


Figura 23 - Índice de Aridez de Bagnouls-Gaussen para o período 2041–2070 (KNMI RCP4.5)

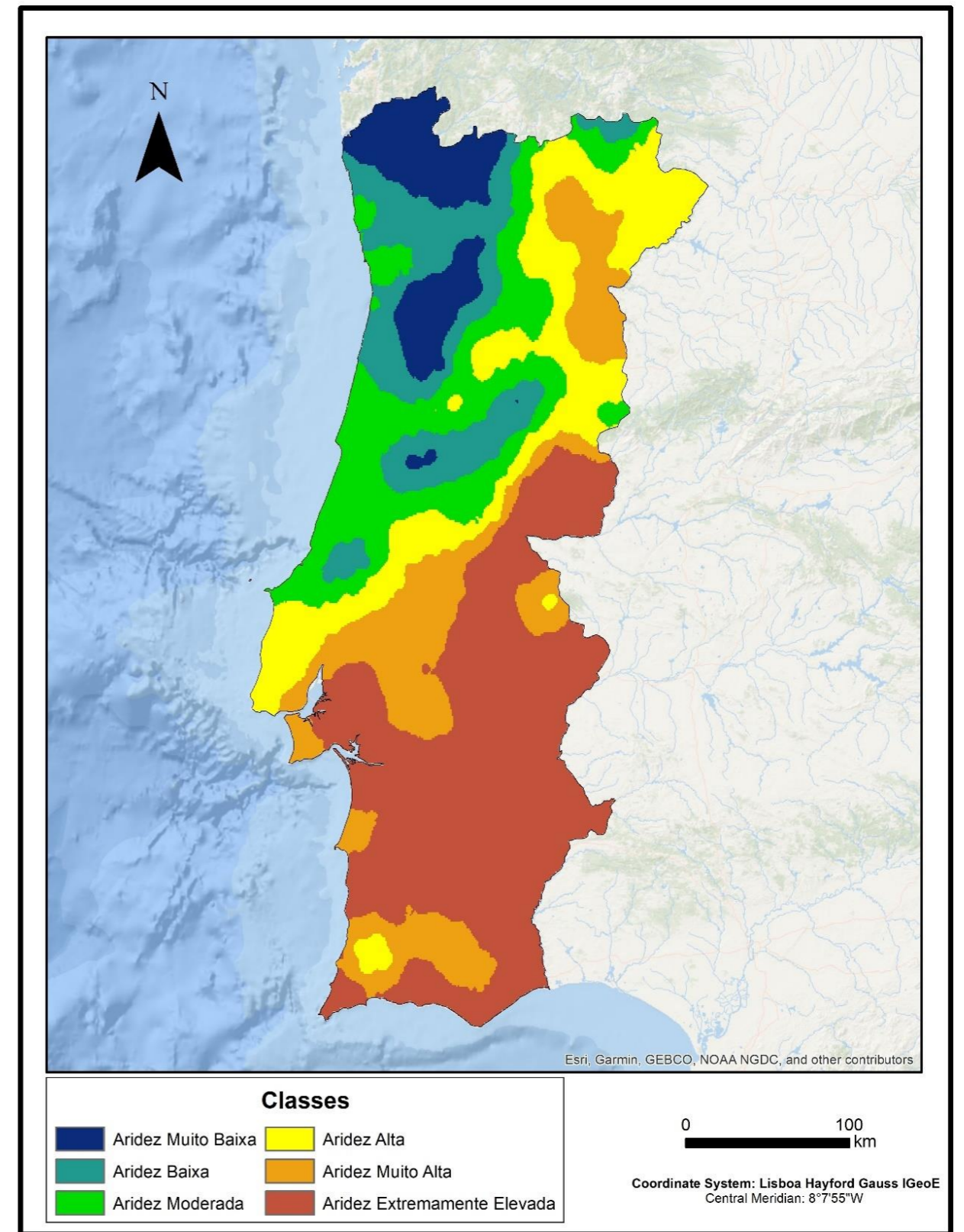


Figura 24 - Índice de Aridez de Bagnouls-Gaussen para o período 2041–2070 (KNMI RCP8.5)

#### 4.3.2.2 - Comparação entre os períodos de 1986–2015 e 2041–2070 (KNMI

RCP4.5)

De acordo com a Tabela 23 que tem como base os dados do período 1986–2015 (Figura 22) e o período 2041–2070 no cenário RCP4.5 e modelo KNMI (Figura 23) utilizando o Índice de Aridez de Bagnouls-Gaussen, podemos destacar que a maior variação projetada corresponde ao forte aumento da área representada na classe Aridez Extremamente Elevada, com mais 32 352 km<sup>2</sup> (+34,8%). Naturalmente, este forte incremento projetado acarreta diminuições em várias outras classes, a mais importante das quais ocorrerá na classe Aridez Alta com menos 8 509 km<sup>2</sup> (9,2%)

A classe Aridez Muito Baixa, deverá registar um decréscimo de 8 395 km<sup>2</sup> (-9,0%) na sua área projetada. Esta diminuição é projetada para o Alto Minho, Ave, Cávado, Área Metropolitana do Porto, Cordilheira Central, Serra de Montesinho (Trás-os-Montes), Tâmega e Sousa, Douro, Alto Tâmega e Viseu Dão Lafões.

**Tabela 23** - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP4.5, modelo KNMI de acordo com o Índice de Aridez de Bagnouls-Gaussen

Classes	KNMI RCP 4.5					
	1986-2015		2041-2070		Diferença	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Aridez Muito Baixa	16 282	17,5	7 887	8,5	-8 395	-9,0
Aridez Baixa	17 034	18,3	8 587	9,2	-8 447	-9,1
Aridez Moderada	16 111	17,3	15 839	17,0	-272	-0,3
Aridez Alta	24 622	26,5	16 113	17,3	-8 509	-9,2
Aridez Muito Alta	17 349	18,6	10 620	11,4	-6 729	-7,2
Aridez Extremamente Elevada	1 654	1,8	34 006	36,6	+32 352	+34,8

No caso da classe Aridez Baixa, está projetada também uma diminuição, em 8 447 km<sup>2</sup> (-9,1%) numa comparação entre 1986–2015 e o cenário RCP4.5 no modelo KNMI, sendo que esta diminuição está ligada a uma perda de território em Trás-os-Montes, Cordilheira Central, Serra de Aire e Candeeiros (Oeste), Alto Tâmega, Douro, Tâmega e Sousa e Viseu Dão Lafões, e ao desaparecimento no Oeste, Região de Leiria, Região de Coimbra e Região de Aveiro. Existe também o aparecimento desta classe na Área Metropolitana do Porto, Cávado, Ave e Alto Minho.

Já relativamente à a classe Aridez Moderada, projeta-se uma diminuição de 272 km<sup>2</sup> (-0,3%), relativamente pouco expressivo.

Como já vimos anteriormente, a classe Aridez Alta, deverá registar um decréscimo de 8 509 km<sup>2</sup> (-9,2%) numa comparação entre 1986–2015 e no cenário RCP4.5 do modelo KNMI, sendo isto visível na diminuição no Algarve (ficando circunscrita à Serra de Monchique (Algarve) Beira Baixa, Área da Grande Lisboa, desaparecendo esta classe no Baixo Alentejo, Alentejo Central, Alentejo Central, Alto Alentejo.

Para a classe Aridez Muito Alta projeta-se igualmente uma diminuição expressiva de 6 729 km<sup>2</sup> (-7,2%) numa comparação entre 1986–2015 e o cenário RCP4.5 no modelo KNMI, devido ao decréscimo nas regiões do Algarve, Baixo Alentejo e Alto Alentejo, e ao desaparecimento no Alentejo Central. Apesar da perda de área, aumentos localizados desta classe poderão ocorrer na Lezíria do Tejo e Beira Baixa, e verificar-se o seu aparecimento na Península de Setúbal, Área da Grande Lisboa e Alto Tâmega.

Como se destacou, a classe Aridez Extremamente Elevada apresenta um expressivo aumento na área projetada em 32 352 km<sup>2</sup> (+34,8%) na comparação entre os valores de 1986–2015 e o cenário para futuro RCP4.5 no modelo KNMI para o período 2041–2070. No período recente a classe Aridez Extremamente Elevada era a de menor extensão espacial em Portugal Continental (1,8% do território) e passará a ser, já em meados deste século, a categoria de aridez com maior superfície relativa (36,6%). Esta expansão ocorrerá no Algarve, Baixo Alentejo e Alentejo Central, e haverá também o aparecimento desta classe no Alto Alentejo, Alentejo Litoral, Península de Setúbal, Beira Baixa, Lezíria do Tejo e Médio Tejo.

#### *4.3.2.3 - Comparação entre os períodos de 1986–2015 e 2041–2070 (KNMI RCP8.5)*

Na comparação entre o período de 1986–2015 (Figura 22) e o período 2041–2070 de acordo com o cenário RCP8.5 (o cenário de forçamento mais gravoso) e modelo KNMI (Figura 24), calculado a partir do Índice de Aridez de Bagnouls-Gaussen, verificamos na Tabela 24 que a única classe que apresenta aumento na área projetada é a classe Aridez Extremamente Elevada com mais 29 939 km<sup>2</sup> (+32,2%), enquanto que as restantes apresentam uma diminuição de território, sendo a maior perda na classe Aridez Alta com menos 10 280 km<sup>2</sup> (-11,1%).

A classe Aridez Muito Baixa, deverá registar um decréscimo de 9 051 km<sup>2</sup> (-9,7%), sendo esta perda visível nas regiões do Alto Minho, Ave, Cávado, Área Metropolitana do Porto, Alto Tâmega, Douro, Tâmega e Sousa e Viseu-Dão Lafões, existindo também o desaparecimento desta classe na Cordilheira Central e Serra de Montesinho (Trás-os-Montes). Constata-se

também na tabela 24, o aparecimento desta classe na Serra da Lousã (Região de Coimbra), apesar desta alteração não afetar em muito a projeção de conjunto.

*Tabela 24 - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP8.5, modelo KNMI de acordo com o Índice de Aridez de Bagnouls-Gausсен*

Classes	1986-2015		KNMI RCP 8.5 2041-2070		Diferença	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Aridez Muito Baixa	16 282	17,5	7 231	7,8	-9 051	-9,7
Aridez Baixa	17 034	18,3	10 696	11,5	-6 338	-6,8
Aridez Moderada	16 111	17,3	14 095	15,1	-2 016	-2,2
Aridez Alta	24 622	26,5	14 342	15,4	-10 280	-11,1
Aridez Muito Alta	17 349	18,6	15 095	16,2	-2 254	-2,4
Aridez Extremamente Elevada	1 654	1,8	31 593	34,0	+29 939	+32,2

A classe Aridez Baixa, apresentará um decréscimo de território de 6 338 km<sup>2</sup> (-6,8%) nesta comparação entre 1986–2015 e o cenário RCP4.5 no modelo KNMI para o período 2041–2070, sendo esperada uma perda de representação em Trás-os-Montes, Serra de Aire e Candeeiros (Oeste), Cordilheira Central, Alto Tâmega, Tâmega e Sousa, Douro, Viseu Dão Lafões e Médio Tejo, o desaparecimento desta classe na Região de Aveiro, Região de Coimbra, Região de Leiria e Oeste. Por outro lado, verificamos que é projetado o aparecimento desta classe no Alto Minho, Ave, Cávado e Área Metropolitana do Porto.

Quanto à classe Aridez Moderada, projeta-se uma diminuição de 2 016 km<sup>2</sup> (-2,2%) numa comparação entre 1986–2015 e 2041–2070 (cenário RCP8.5 no modelo KNMI). Esta perda irá dever-se a uma diminuição desta classe nas regiões de Trás-os-Montes, Beira Baixa, Cordilheira Central, Douro, Alto Tâmega e Viseu Dão Lafões, e ao desaparecimento na Área da Grande Lisboa, Médio Tejo e Serra de Monchique (Algarve). Apesar desta diminuição projetada ocorrerá também aumento da superfície ocupada por esta classe na Serra de Aire e Candeeiros e Oeste, e o aparecimento da classe na Região de Leiria, Região de Coimbra, Região de Aveiro e Área Metropolitana do Porto.

Como se referiu anteriormente, a classe Aridez Alta, irá verificar um decréscimo significativo de 10 280 km<sup>2</sup> (-11,1%), sendo esta diminuição projetada devido ao desaparecimento desta classe na Península de Setúbal, Alentejo Litoral, Alto Alentejo, Alentejo Central, Baixo Alentejo e Lezíria do Tejo, e há diminuição na Serra de Monchique (Algarve), Serra de São Mamede (Alto Alentejo), Médio Tejo e Beira Baixa. Apesar desta diminuição projetada ocorrerá também aumento da

superfície ocupada por esta classe em Trás-os-Montes, Beiras e Serra da Estrela, Douro, Viseu Dão Lafões e Oeste.

A classe Aridez Muito Alta apresenta uma diminuição de 2 254 km<sup>2</sup> (-2,4%) numa comparação entre 1986–2015 e 2041–2070 (cenário RCP8.5 no modelo KNMI). Esta redução projetada ocorrerá sobretudo no Algarve, Baixo Alentejo, Alentejo Central, Baixo Alentejo e Beira Baixa. Aumentos na área ocupada por esta classe poderão ocorrer devido ao aparecimento desta classificação no Alentejo Litoral, Lezíria do Tejo, Península de Setúbal, Área da Grande Lisboa, Beiras e Serra da Estrela e Trás-os-Montes.

Conforme se destacou, a classe Aridez Extremamente Elevada irá conhecer até 2041–2070 um grande aumento na sua superfície estimada, de 29 939 km<sup>2</sup> (+32,2%). Este forte aumento das áreas em condições de Aridez Extremamente Elevada no Índice de Bagnouls-Gaussien projeta-se que irá ocorrer devido à expansão territorial no Algarve e Baixo Alentejo, e ao aparecimento da classe no Alentejo Central, Alentejo Litoral, Alto Alentejo, Lezíria do Tejo e Beira Baixa. O grande alargamento espacial desta classe far-se-á em detrimento das restantes classes, que apresentam uma quebra generalizada de território, como se descreveu anteriormente.

4.3.3 - Período 2041–2070 de acordo com o modelo SMHI nos cenários RCP4.5 e RCP8.5

4.3.3.1 - Comparação entre os cenários RCP4.5 e RCP8.5 no modelo SMHI para o período 2041–2070

No que diz respeito a comparação na tabela 25 entre os cenários RCP4.5 (Figura 25) e RCP8.5 (Figura 26) no modelo SMHI para o período 2041–2070 calculados a partir do Índice de Aridez de Bagnouls-Gausson, deve destacar-se a importante diferença associada à extensão espacial que se projeta em relação à classe Aridez Extremamente Elevada, que terá mais 22 498 km<sup>2</sup> (+24,2%) se se confirmar o cenário de forçamento mais gravoso. Também a classe Aridez Alta terá um crescimento maior (+6 954 km<sup>2</sup>, ou seja, +7,5%) no caso do RCP8.5.

**Tabela 25** - Valores em área, percentagem e diferença entre cada classe para o período 2041–2070 nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 no modelo SMHI de acordo com o Índice de Aridez de Bagnouls-Gausson

Classes	2041-2070					
	SMHI RCP 4.5		SMHI RCP 8.5		Diferença	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Aridez Muito Baixa	16 195	17,4	4 920	5,3	-11 275	-12,1
Aridez Baixa	17 475	18,8	7 469	8,0	-10 006	-10,8
Aridez Moderada	12 103	13,0	10 519	11,3	-1 584	-1,7
Aridez Alta	9 515	10,2	16 469	17,7	+6 954	+7,5
Aridez Muito Alta	18 210	19,6	11 623	12,5	-6 587	-7,1
Aridez Extremamente Elevada	19 554	21,0	42 052	45,2	+22 498	+24,2

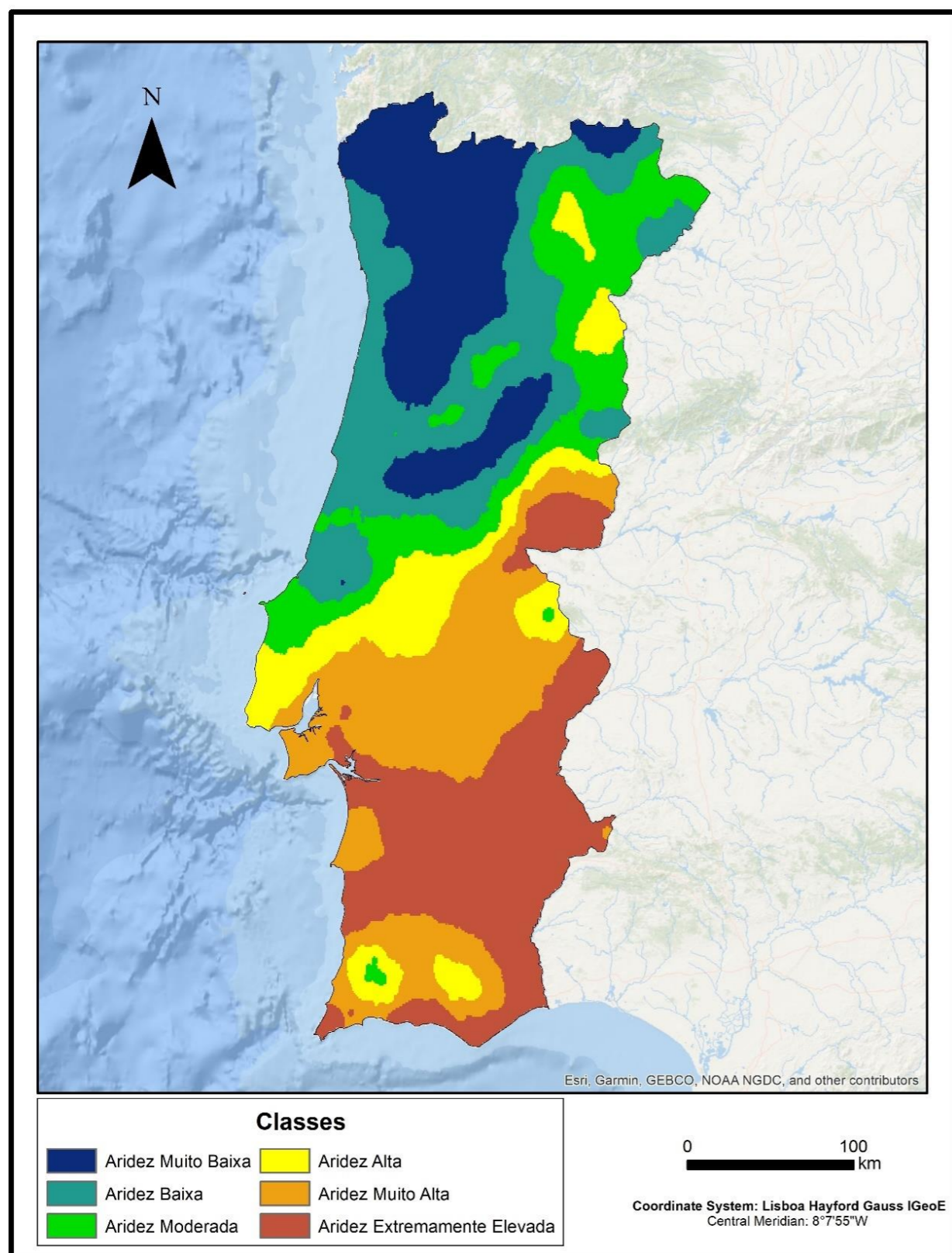


Figura 25 - Índice de Aridez de Bagnouls-Gausson para o período 2041–2070 (SMHI RCP4.5)

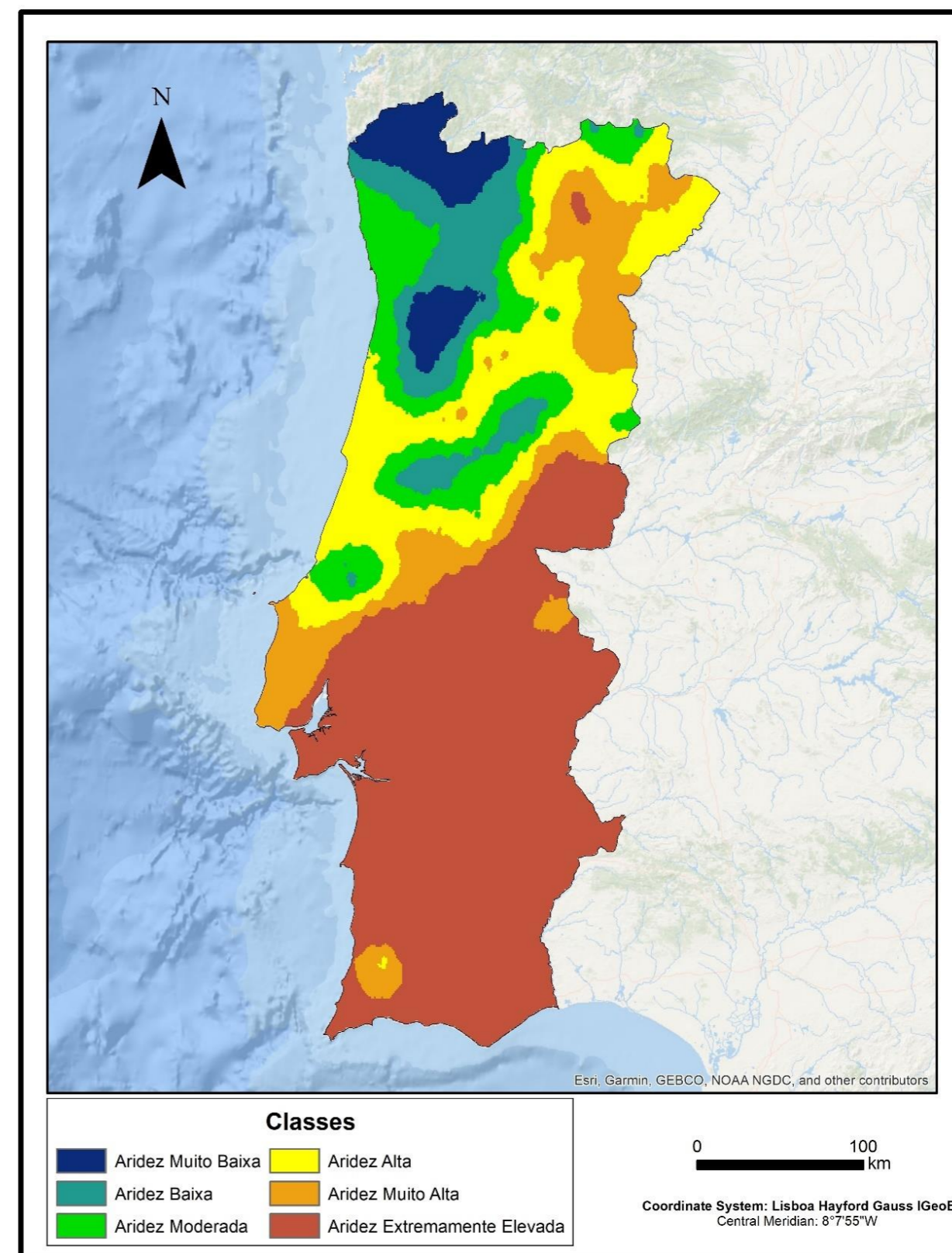


Figura 26 - Índice de Aridez de Bagnouls-Gausson para o período 2041–2070 (SMHI RCP8.5)

#### 4.3.3.2 - Comparação entre os períodos de 1986–2015 e 2041–2070 (SMHI

RCP4.5)

Na comparação entre o período 1986–2015 (Figura 22) e o período 2041–2070, considerando o cenário RCP4.5 (menos gravoso) do modelo SMHI (Figura 25) de acordo com o Índice de Aridez de Bagnouls-Gausson, confirmamos na Tabela 26 que a classe que apresenta um maior aumento de área projetada é a classe Aridez Extremamente Elevada, com mais 17 900 km<sup>2</sup> (+19,2%), enquanto a maior perda de área se projeta para a classe Aridez Alta, com uma diminuição de 15 107 km<sup>2</sup> (-16,3%). Podemos verificar também que apenas 3 classes apresentam uma diminuição ou aumento superior a 1%: as classes Aridez Moderada (-4,3%), Aridez Alta (-16,3%) e Aridez Extremamente Elevada (19,2%).

A classe Aridez Muito Baixa apresenta um ligeiro decréscimo líquido na sua representação, de 87 km<sup>2</sup> (-0,1%), numa comparação entre 1986–2015 e 2041–2070 (cenário RCP4.5 no modelo SMHI). A diminuição desta classe situa-se na Serra de Montesinho (Trás-os-Montes), Alto Tâmega, Douro, Viseu-Dão-Lafões, Alto Minho, Cávado, Ave, Área Metropolitana do Porto e Região de Aveiro, sendo que o aumento desta classe na Cordilheira Central, não chegou para compensar a diminuição ocorrida.

**Tabela 26** - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP4.5, modelo SMHI de acordo com o Índice de Aridez de Bagnouls-Gausson

Classes	SMHI RCP 4.5					
	1986-2015		2041-2070		Diferença	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Aridez Muito Baixa	16 282	17,5	16 195	17,4	-87	-0,1
Aridez Baixa	17 034	18,3	17 475	18,8	+441	+0,5
Aridez Moderada	16 111	17,3	12 103	13,0	-4 008	-4,3
Aridez Alta	24 622	26,5	9 515	10,2	-15 107	-16,3
Aridez Muito Alta	17 349	18,6	18 210	19,6	+861	+1,0
Aridez Extremamente Elevada	1 654	1,8	19 554	21,0	+17 900	+19,2

A classe Aridez Baixa apresenta um aumento pouco importante, de 441 km<sup>2</sup> (+0,5%) numa comparação entre 1986–2015 e 2041–2070 (cenário RCP4.5 no modelo SMHI), sendo este aumento visível devido ao aparecimento desta classe no Alto Minho, Cávado, Ave, Área Metropolitana do Porto e Região de Aveiro, ao aumento desta classe no Douro, Viseu Dão Lafões, Serra da Malcata (Beiras e Serra da Estrela) e Região de Leiria, e na diminuição em Trás-os-Montes e Região de Coimbra.

No que diz respeito à variação da Aridez Moderada entre os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP4.5 e modelo SMHI, verificou-se uma significativa diminuição na representação desta classe em 4 008 km<sup>2</sup> (-4,3%). Isto deve-se há diminuição no Oeste, Médio Tejo, Beira Baixa, Beiras e Serra da Estrela, e ao desaparecimento desta classe na Área da Grande Lisboa e Serra de Monchique (Algarve). O aumento desta classe em Viseu Dão Lafões e Trás-os-Montes, não chegou para compensar a perda verificada na percentagem global.

Como já vimos anteriormente, a classe Aridez Alta apresenta um decréscimo expressivo de 15 107 km<sup>2</sup> (-16,3%) deixando de estar presente em mais de 1/4 do território (26,5%) no presente para, no futuro, estar em pouco mais de 1/10 (10,2%) do território. Esta diminuição projeta-se para as regiões do Algarve, Alentejo Litoral, Baixo Alentejo, Alentejo Central, Alto Alentejo, Beira Baixa e Lezíria do Tejo. Apesar desta diminuição projetada ocorrerá também aumento da superfície ocupada por esta classe na Área da Grande Lisboa, Oeste, Médio Tejo, Beira Baixa e Trás-os-Montes

A classe Aridez Muito Alta apresenta um aumento de 861 km<sup>2</sup> (+1,0%) numa comparação entre 1986–2015 e 2041–2070 (cenário RCP4.5 no modelo SMHI). Esta expansão projetada ocorrerá devido ao aumento na Lezíria do Tejo, Beiras e Serra da Estrela, Alto Alentejo, Alentejo Central, Baixo Alentejo e Algarve e ao aparecimento na Área da Grande Lisboa, Península de Setúbal e Alentejo Litoral.

Conforme se destacou a principal variação esperada refere-se à classe Aridez Extremamente Elevada: projeta-se um incremento muito significativo, de 17 900 km<sup>2</sup> (+19,2), passando da classe com menos representatividade (com apenas 1,8% no período 1986–2015), para a classe com maior representatividade, atingido 21,0% do território Continental português no período 2041–2070. Este aumento projetado deverá registar-se no Algarve, Baixo Alentejo, Alentejo Central, Alentejo Litoral e Alto Alentejo, Península de Setúbal e Beira Baixa.

#### *4.3.3.3 - Comparação entre os períodos de 1986–2015 e 2041–2070 (SMHI RCP8.5)*

Passando agora a considerar o cenário de forçamento mais gravoso (cenário RCP8.5 no modelo SMHI), como podemos verificar na Tabela 27, na comparação entre o período 1986–2015 (Figura 22) e o período 2041–2070 (Figura 26), a classe do Índice de Aridez Bagnouls-Gausson que apresenta o maior aumento projetado é a classe Aridez Extremamente Elevada, com um aumento de 40 398 km<sup>2</sup> (+43,4%), sendo esta classe a única que apresenta um ganho nesta

comparação. As restantes classes apresentam uma diminuição de território, sendo esperado o maior decréscimo na classe Aridez Muito Baixa com menos 11 362 km<sup>2</sup> (-12,2%).

Como já vimos anteriormente, a classe Aridez Muito Baixa apresenta um decréscimo expressivo de 11 362 km<sup>2</sup> (-12,2%) numa comparação entre 1986–2015 e 2041–2070, sendo esta diminuição visível no decréscimo desta classe no Alto Minho, Alto Tâmega, Área Metropolitana do Porto e Tâmega e Sousa, e no desaparecimento da classe no Cávado, Ave, Cordilheira Central e Serra de Montesinho (Trás-os-Montes).

*Tabela 27 - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP8.5, modelo SMHI de acordo com o Índice de Aridez de Bagnouls-Gausson*

Classes	1986-2015		SMHI RCP 8.5 2041-2070		Diferença	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Aridez Muito Baixa	16 282	17,5	4 920	5,3	-11 362	-12,2
Aridez Baixa	17 034	18,3	7 469	8,0	-9 565	-10,3
Aridez Moderada	16 111	17,3	10 519	11,3	-5 592	-6,0
Aridez Alta	24 622	26,5	16 469	17,7	-8 153	-8,8
Aridez Muito Alta	17 349	18,6	11 623	12,5	-5 726	-6,1
Aridez Extremamente Elevada	1 654	1,8	42 052	45,2	+40 398	+43,4

Na classe Aridez Baixa projeta-se uma diminuição significativa em 9 565 km<sup>2</sup> (-10,3%), sendo que esta redução afetará a Cordilheira Central, Serra de Montesinho (Trás-os-Montes) e Serra de Aire e Candeeiros, havendo também o desaparecimento desta classe no Oeste, Região de Leiria, Região de Coimbra e Serra da Malcata (Beiras e Serra da Estrela). O aparecimento nas regiões do Ave, Tâmega e Sousa e Viseu Dão Lafões, não compensa a perda projetada para esta classe.

Quanto à classe Aridez Moderada, verificamos uma diminuição de 5 592 km<sup>2</sup> (-6,0%) numa comparação entre 1986–2015 e o cenário RCP8.5 no modelo SMHI, sendo esta perda visível no desaparecimento na Área da Grande Lisboa, Oeste, Médio Tejo, Beira Baixa, Beiras e Serra da Estrela e Serra de Monchique (Algarve), e na diminuição em Trás-os-Montes (circunscrita à Serra de Montesinho), Alto Tâmega, Douro e Viseu Dão Lafões. Apesar da diminuição projetada para esta classe, temos o aparecimento da mesma na Serra de Aire e Candeeiros (Oeste), Cordilheira Centro, Região de Aveiro, Área Metropolitana do Porto, Cávado, Ave e Alto Minho.

Na classe Aridez Alta projeta-se uma diminuição em 8 153 km<sup>2</sup> (-8,8%), sendo que esta existe o desaparecimento desta classe no Algarve, Baixo Alentejo, Alentejo Central, Alentejo Litoral, Alto Alentejo, Península de Setúbal, Área da Grande Lisboa, Lezíria do Tejo e Beira Baixa. No entanto

também existe o aparecimento desta classe no Oeste, Região de Leira, Região de Coimbra, Região de Aveiro, Médio Tejo, Beiras e Serra da Estrela e Viseu Dão Lafões, sendo que também verificamos um aumento na Região do Douro e Trás-os-Montes.

A classe Aridez Muito Alta apresenta uma diminuição de 5 726 km<sup>2</sup> (-6,1%) numa comparação entre 1986–2015 e 2041–2070, sendo este decréscimo projetado no Alto Alentejo e na Beira Baixa. A classe deverá desaparecer no Algarve (ficando circunscrita à Serra de Monchique), Baixo Alentejo e Alentejo Central. Um aumento restrito é projetado na Área da Grande Lisboa, Médio Tejo, Beiras e Serra da Estrela, Trás-os-Montes, Douro e Alto Tâmega.

Como já foi referido, em relação à classe Aridez Extremamente Elevada projeta-se um aumento muito expressivo de 40 398 km<sup>2</sup> (+43,4%), passando da classe com menos área representada, com 1,8% no período 1941-2015, para a classe com maior representação - com 45,2% - no período 2041–2070. As regiões onde se espera este aumento repartem-se pelo Algarve e Baixo Alentejo, e espera-se que haja um aparecimento da classe no Alentejo Central, Alto Alentejo, Alentejo Litoral, Lezíria do Tejo, Península de Setúbal, Área da Grande Lisboa e Beira Baixa.

## 4.4 - Índice de Aridez de Thornthwaite

### 4.4.1 - Períodos 1971-1990 e 1986-2015

#### 4.4.1.1 - Comparação entre os períodos de 1971-1990 e 1986-2015

Na comparação entre os períodos 1971-1990 (Figura 27) e 1986-2015 (Figura 28) de acordo com o Índice de Aridez de Thornthwaite, confirmamos na tabela 28 que o maior aumento projetado é o respeitante à classe C<sub>1</sub> – Sub-Húmido Seco, cuja área poderá aumentar em mais 5 280 km<sup>2</sup> (+5,6%), enquanto a maior diminuição está projetada na classe A – Perhúmido com menos 6 209 km<sup>2</sup> (-6,7%).

Como já vimos, a classe A - Perhúmido irá apresentar um decréscimo de 6 209 km<sup>2</sup> (-6,7%) numa comparação entre 1971-1990 e 1986-2015, sendo esta diminuição projetada na Cordilheira Central, noroeste de Portugal Continental e na Serra de Montemuro (Douro).

A classe B<sub>4</sub> - Húmido apresenta um aumento de apenas 19 km<sup>2</sup>, sendo este ganho visível na Cordilheira Central, Noroeste de Portugal Continental, e na Serra de Montemuro (Douro). No entanto, este aumento é quase compensado pela diminuição vista na área circundante à Cordilheira Central e em Trás-os-Montes.

Relativamente à variação da classe B<sub>3</sub> – Húmido entre os períodos 1971-1990 e 1986-2015, verificamos que existiu uma diminuição de 468 km<sup>2</sup> (-0,4%), sendo isto devido ao decréscimo desta classe na área circundante a Cordilheira Central, em Trás-os-Montes e na Serra da Malcata (Beiras e Serra da Estrela). Existe também, no entanto o aumento desta classe na área da Serra de Montemuro até a Área Metropolitana do Porto.

*Tabela 28 - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1971-1990 e 1986-2015 de acordo com o Índice de Aridez de Thornthwaite*

Classes	1971-1990		1986-2015		Diferença	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
A - Perhúmido	12 463	13,4	6 254	6,7	-6 209	-6,7
B <sub>4</sub> - Húmido	4 737	5,1	4 756	5,1	+19	0,0
B <sub>3</sub> - Húmido	6 942	7,4	6 474	7,0	-468	-0,4
B <sub>2</sub> - Húmido	8 529	9,2	10 821	11,6	+2 292	+2,4
B <sub>1</sub> - Húmido	8 858	9,5	11 036	11,9	+2 178	+2,4
C <sub>2</sub> - Sub-Húmido Húmido	20 416	21,9	17 220	18,5	-3 196	-3,4
C <sub>1</sub> - Sub-Húmido Seco	27 045	29,1	32 325	34,7	+5 280	+5,6
D - Semiárido	4 062	4,4	4 166	4,5	+104	+0,1
E - Árido	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Ao analisarmos a classe B<sub>2</sub> - Húmido, verificamos um aumento de 2 292 km<sup>2</sup> (+2,4%) numa comparação entre 1971-1990 e 1986–2015, sendo este aumento visível na área entre a Cordilheira Central e a Serra de Montemuro, e na Região de Aveiro. Por outro lado, temos a diminuição desta classe nas Serras de Aire e Candeeiros (Oeste), Beiras e Serra da Estrela e Alto Tâmega, o que apesar de tudo, não anula a variação líquida de crescimento apresentada para esta classe.

A classe B<sub>1</sub> - Húmido apresenta um aumento de 2 178 km<sup>2</sup> (+2,4%) numa comparação entre 1971-1990 e 1986–2015, sendo este aumento apresentado na Região de Coimbra, Beiras e Serra da Estrela e Alto Tâmega. O desaparecimento na Serra de Monchique (Algarve) desta classe, em quase nada altera o aumento calculado acima.

No caso da classe C<sub>2</sub> - Sub-Húmido Húmido, temos um decréscimo de 3 196 km<sup>2</sup> (-3,4%), presente na diminuição desta classe no Algarve, Baixo Alentejo, Alentejo Litoral, e Península de Setúbal, e no desaparecimento na Serra de Monfurado (Alentejo Central).

Como verificamos acima, a classe C<sub>1</sub> - Sub-Húmido Seco apresenta um incremento na área representada por esta classe em 5 280 km<sup>2</sup> (+5,6%) para os períodos em estudo. Este aumento é visível na Beira Baixa, Alto Alentejo, Alentejo Central, Baixo Alentejo, Alentejo Litoral, Algarve e Península de Setúbal. Apesar desta classe apresentar o maior aumento para o período em estudo, no entanto, esta categoria desapareceu na Serra de São Mamede (Alto Alentejo).

A classe D - Semiárido apresenta um aumento em 104 km<sup>2</sup> (+0,1%) numa comparação entre 1971-1990 e 1986–2015, sendo este aumento visível no Baixo Alentejo.

Quanto a classe E - Árido, verificamos que não existe nenhum local que corresponde a esta classificação.

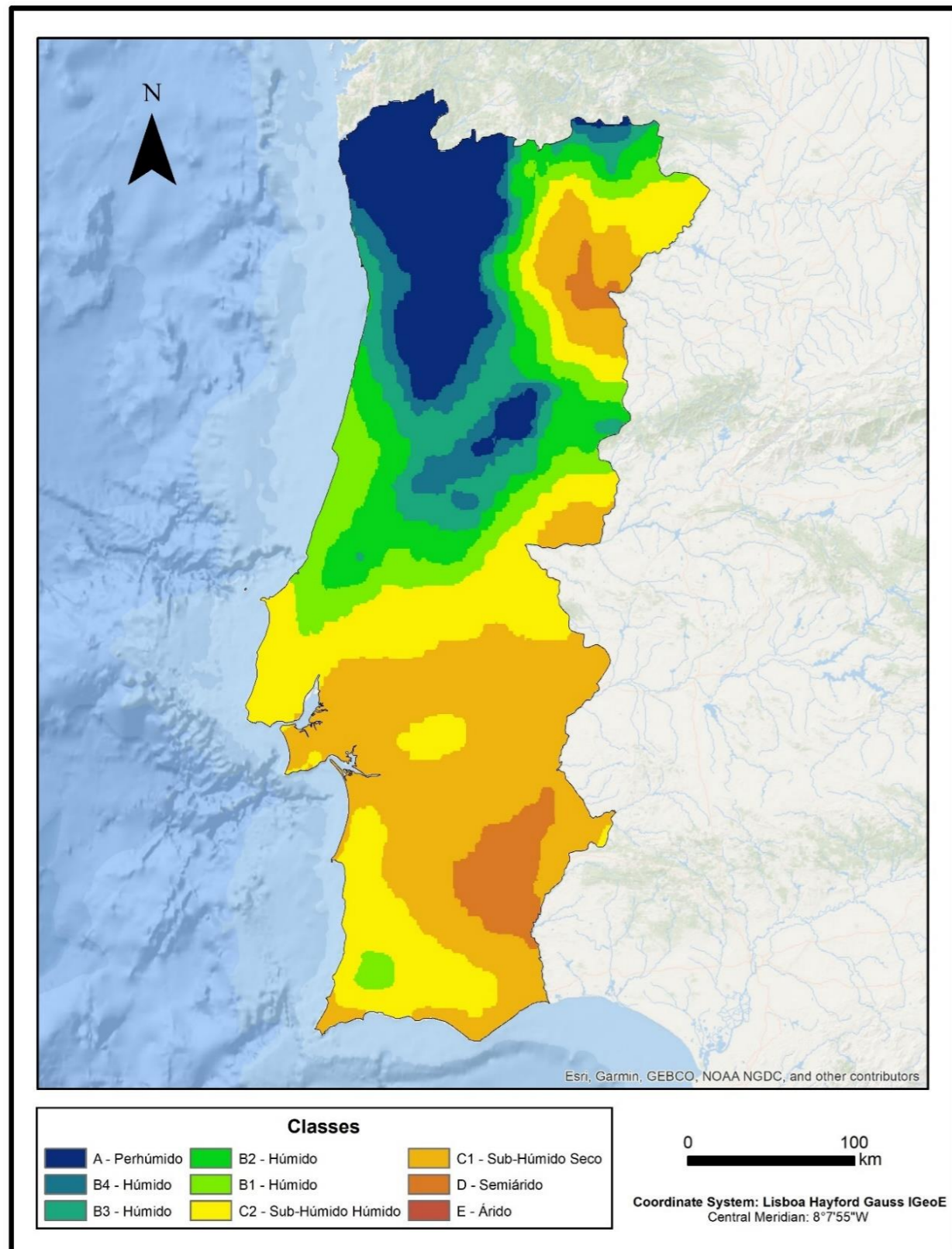


Figura 27 - Índice de Aridez de Thornthwaite para o período 1971-1990

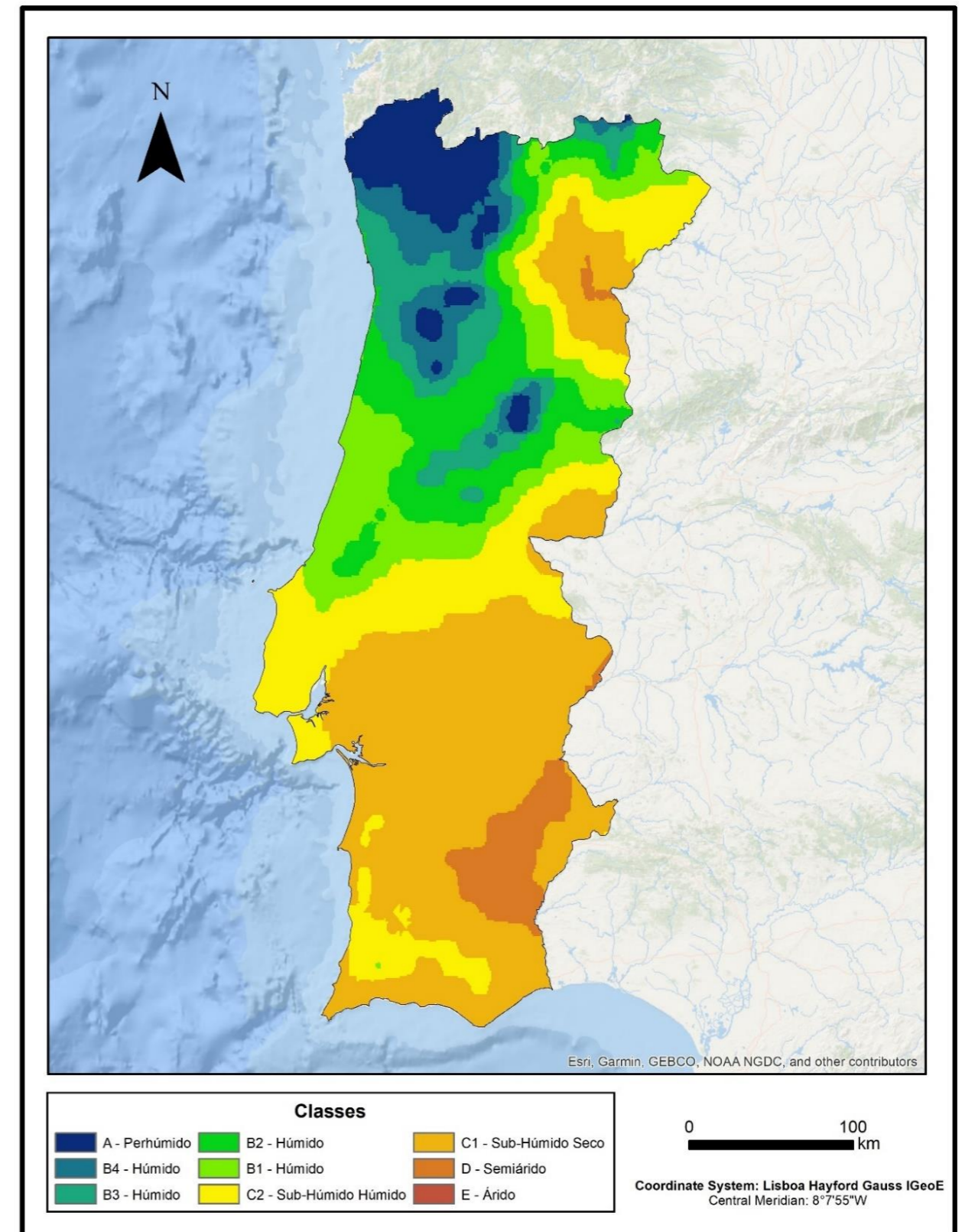


Figura 28 - Índice de Aridez de Thornthwaite para o período 1986-2015

4.4.2 - Período 2041–2070 de acordo com o modelo KNMI nos cenários RCP4.5 e RCP8.5

4.4.2.1 - Comparação entre os cenários RCP4.5 e RCP8.5 no modelo KNMI para o período 2041–2070

No que diz respeito aos cenários RCP4.5 (Figura 29) e RCP8.5 (Figura 30) do modelo KNMI para o período 2041–2070, calculados através do Índice de Aridez de Thornthwaite, verificamos pela Tabela 29 que apenas uma classe apresenta uma percentagem de diferença superior a 1%, a classe C<sub>1</sub> – Sub-Húmido Seco, sendo que as restantes apresentam uma percentagem inferior a 1%, tanto nos valores positivos como nos valores negativos. As diferenças observadas nas projeções pelos dois modelos são, deste modo, pouco significativas.

**Tabela 29** - Valores em área, percentagem e diferença entre cada classe para o período 2041–2070 nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 no modelo KNMI de acordo com o Índice de Aridez de Thornthwaite

Classes	2041-2070					
	KNMI RCP 4.5		KNMI RCP 8.5		Diferença	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
A – Perhúmido	6 542	7,0	5 749	6,2	-793	-0,8
B <sub>4</sub> – Húmido	3 874	4,2	3 964	4,3	+90	+0,1
B <sub>3</sub> – Húmido	3 982	4,3	3 805	4,1	-177	-0,2
B <sub>2</sub> – Húmido	6 497	7,0	6 261	6,7	-236	-0,3
B <sub>1</sub> – Húmido	8 752	9,4	8 605	9,3	-147	-0,1
C <sub>2</sub> - Sub-Húmido Húmido	17 019	18,3	16 420	17,6	-599	-0,7
C <sub>1</sub> - Sub-Húmido Seco	28 431	30,5	29 442	31,6	+1 011	+1,1
D – Semiárido	17 955	19,3	18 806	20,2	+851	+0,9
E – Árido	0	0,0	0	0,0	0	0,0

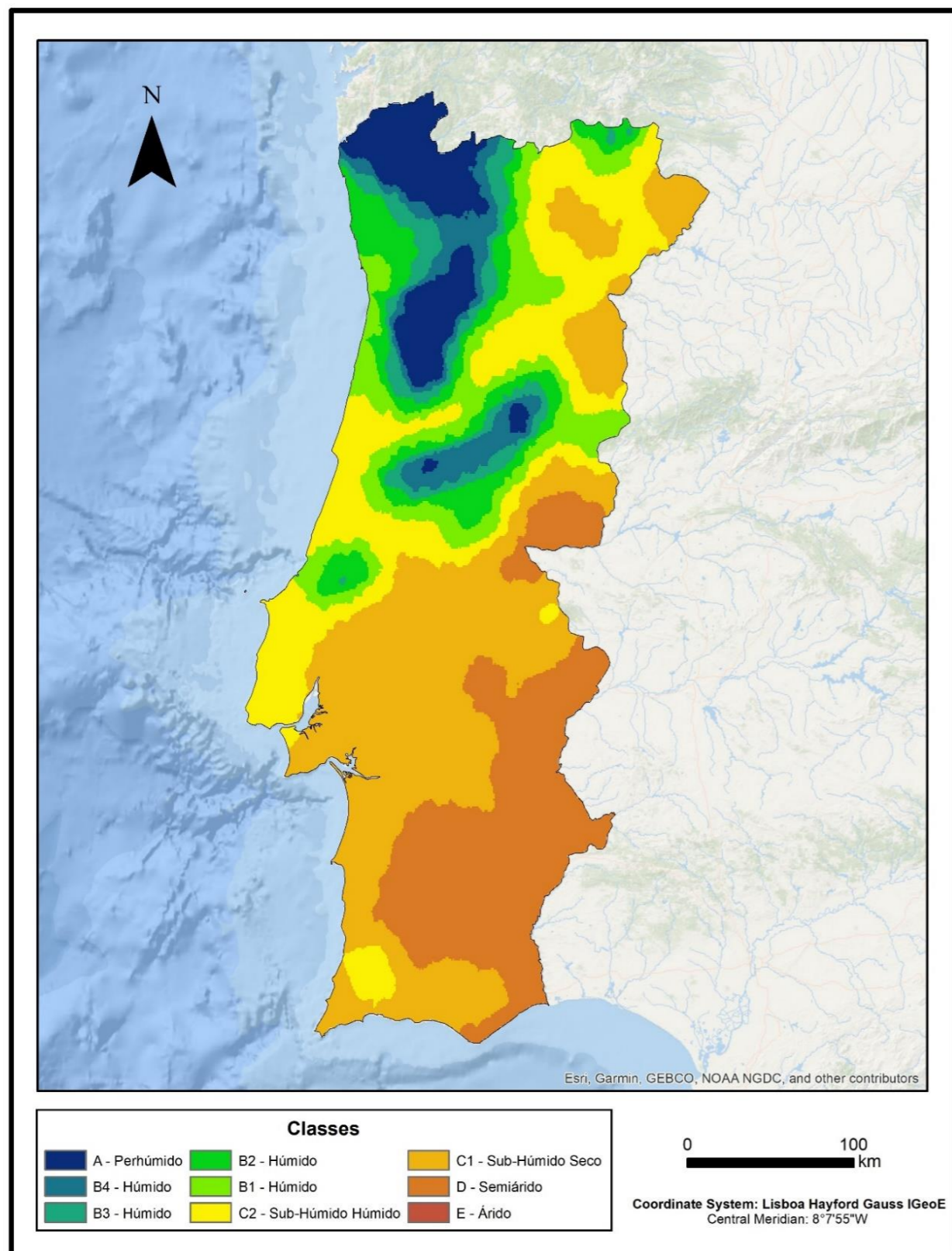


Figura 29 - Índice de Aridez de Thornthwaite para o período 2041–2070 (KNMI RCP4.5)

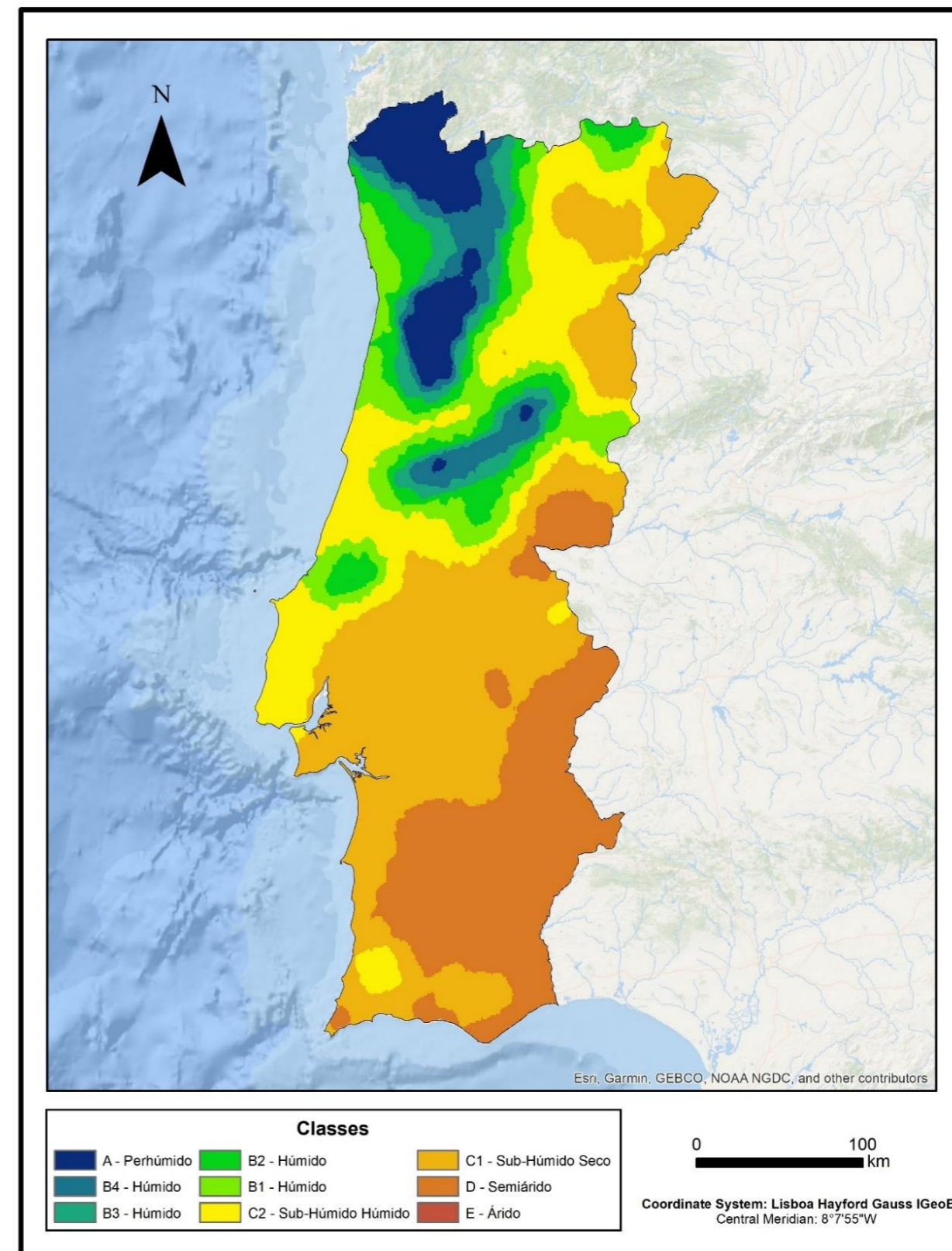


Figura 30 - Índice de Aridez de Thornthwaite para o período 2041–2070 (KNMI RCP8.5)

4.4.2.2 - Comparação entre os períodos de 1986–2015 e 2041–2070 (KNMI RCP4.5)

Nesta comparação entre o período de 1986–2015 (Figura 28) e o período 2041–2070 de acordo com o cenário RCP4.5 e modelo KNMI (Figura 29), relativamente ao Índice de Aridez de Thornthwaite, verificamos na Tabela 30 que a classe que apresenta um maior ganho é a classe D – Semiárido, com mais 13 789 km<sup>2</sup> (+14,8%), enquanto a maior perda se verifica na classe B<sub>2</sub> – Húmido, com menos 4 324 km<sup>2</sup> (-4,6%).

No caso da classe A - Perhúmido temos um incremento de 288 km<sup>2</sup> (+0,3%) numa comparação entre 1986–2015 e o cenário RCP4.5 no modelo KNMI, sendo isto visível num aumento no Tâmega e Sousa e Viseu Dão Lafões e na diminuição na Cordilheira Central, Alto Minho, Cávado e Ave.

Na classe B<sub>4</sub> - Húmido é esperada uma perda de 882 km<sup>2</sup> (-0,9%) numa comparação entre 1986–2015 e 2041–2070, sendo este decréscimo esperado no Alto Tâmega, Tâmega e Sousa, Cávado, Ave e Viseu Dão Lafões. Um aumento restrito é projetado na Cordilheira Central.

**Tabela 30** - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP4.5, modelo KNMI de acordo com o Índice de Aridez de Thornthwaite

Classes	KNMI RCP 4.5					
	1986-2015		2041-2070		Diferença	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
A – Perhúmido	6254	6,7	6542	7,0	288	0,3
B <sub>4</sub> – Húmido	4756	5,1	3874	4,2	-882	-0,9
B <sub>3</sub> – Húmido	6474	7,0	3982	4,3	-2492	-2,7
B <sub>2</sub> – Húmido	10821	11,6	6497	7,0	-4324	-4,6
B <sub>1</sub> – Húmido	11036	11,9	8752	9,4	-2284	-2,5
C <sub>2</sub> - Sub-Húmido Húmido	17220	18,5	17019	18,3	-201	-0,2
C <sub>1</sub> - Sub-Húmido Seco	32325	34,7	28431	30,5	-3894	-4,2
D – Semiárido	4166	4,5	17955	19,3	13789	14,8
E -Árido	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Quanto à classe B<sub>3</sub> - Húmido, verificamos uma diminuição de 2 492 km<sup>2</sup> (-2,7%) na variação projetada entre 1986–2015 e 2041–2070 (cenário RCP4.5 no modelo KNMI), sendo esta perda repartida pelas regiões do Alto Tâmega, Tâmega e Sousa, Cávado, Ave, Viseu Dão Lafões, Cordilheira Central e Serra de Montesinho (Trás-os-Montes).

Como vimos anteriormente, no caso da classe B<sub>2</sub> - Húmido temos um decréscimo expressivo de 4 324 km<sup>2</sup> (-4,6%) na alteração simulada entre 1986–2015 e o 2041–2070. A área desta classe

diminuirá na Serra de Aire e Candeeiros, Cordilheira Central, Beiras e Serra da Estrela e Serra de Montesinho (Trás-os-Montes), mas existe também o aumento na Região de Aveiro, Área Metropolitana do Porto e Cávado.

A classe B<sub>1</sub> - Húmido apresenta uma diminuição de 2 284 km<sup>2</sup> (-2,5%) entre 1986–2015 e o cenário RCP4.5 no modelo KNMI para o período de 2041–2070. Este decréscimo projeta-se para a Região de Coimbra, na Região de Leiria, Beira Baixa e Beiras e Serra da Estrela. No entanto, também se projeta o aumento desta classe na Cordilheira Central, Região de Aveiro, Área Metropolitana do Porto, Douro e Alto Tâmega, Serra de Montesinho (Trás-os-Montes) e Serra de Aire e Candeeiros (Oeste).

No caso da classe C<sub>2</sub> - Sub-Húmido Húmido, temos uma perda de 201 km<sup>2</sup> (-0,2%) comparando os períodos de 1986–2015 e 2041–2070. Esta diminuição projeta-se que aconteça no Alentejo Litoral, Península de Setúbal, Médio Tejo, Beira Baixa, Serra de Monchique (Algarve) e Oeste. O aumento nas Beiras e Serra da Estrela, Douro, Viseu Dão Lafões, Trás-os-Montes, Alto Tâmega, na Região de Leiria e Região de Coimbra não compensa as perdas de representatividade espacial desta classe.

Relativamente à variação da classe C<sub>1</sub>- Sub-Húmido Seco entre os períodos 1971-1990 e 1986–2015, verificamos que se projeta uma diminuição de 3 894 km<sup>2</sup> (-4,2%), sendo isto devido à diminuição esperada no Baixo Alentejo, Alentejo Central e Alto Alentejo, e que não é compensada pelo aumento correspondente no Algarve (este), Alentejo Litoral, Lezíria do Tejo, Beira Baixa, Beiras e Serra da Estrela e Trás-os-Montes, e pelo aparecimento da classe no Médio Tejo.

No que diz respeito à variação da classe D- Semiárido entre os períodos 1971-1990 e 1986–2015, projeta-se um significativo aumento na representação desta classe em 13 789 km<sup>2</sup> (+14,8%), esperando-se este incremento no Baixo Alentejo e Alentejo Central, e o aparecimento desta classe no Algarve (este), Alto Alentejo e Beira Baixa. É projetado também o desaparecimento desta classe na Terra Quente Transmontana, o que não influencia de modo significativo a tendência geral, de expansão, na variação da categoria.

Quanto a classe E - Árido, verificamos que não existe nenhum local que corresponda a esta classificação, quer no período recente, quer em meados do presente século.

4.4.2.3 - Comparação entre os períodos de 1986–2015 e 2041–2070 (KNMI RCP8.5)

Passando agora a considerar o cenário de forçamento mais gravoso (cenário RCP8.5 no modelo KNMI), como podemos verificar na Tabela 31, na comparação entre o período 1986–2015 (Figura 28) e o período 2041–2070 (Figura 30), a classe do Índice de Aridez de Thornthwaite que apresenta o maior ganho líquido de área é a classe D - Semiárido com um aumento de 14 640 km<sup>2</sup> (+15,7%), enquanto a maior perda corresponde à classe B<sub>2</sub> - Húmido, com uma diminuição de 4 560 km<sup>2</sup> (-4,9%). De realçar também o facto de apenas uma classe apresentar um aumento nesta comparação, a classe D- Semiárido, enquanto todas as restantes apresentam uma perda projetada (a exceção é a classe E- Árido que não apresenta nenhuma representatividade nos dois períodos).

No caso da classe A - Perhúmido temos um decréscimo de 505 km<sup>2</sup> (-0,5%) numa comparação entre 1986–2015 e o cenário RCP8.5 no modelo KNMI, visível na diminuição na Cordilheira Central, Alto Minho, Cávado e Ave, e aumento no Tâmega e Sousa e Viseu Dão Lafões.

**Tabela 31** - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP8.5, modelo KNMI de acordo com o Índice de Aridez de Thornthwaite

Classes	1986-2015		KNMI RCP 8.5 2041-2070		Diferença	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
A – Perhúmido	6254	6,7	5749	6,2	-505	-0,5
B <sub>4</sub> – Húmido	4756	5,1	3964	4,3	-792	-0,8
B <sub>3</sub> – Húmido	6474	7,0	3805	4,1	-2669	-2,9
B <sub>2</sub> – Húmido	10821	11,6	6261	6,7	-4560	-4,9
B <sub>1</sub> – Húmido	11036	11,9	8605	9,3	-2431	-2,6
C <sub>2</sub> - Sub-Húmido Húmido	17220	18,5	16420	17,6	-800	-0,9
C <sub>1</sub> - Sub-Húmido Seco	32325	34,7	29442	31,6	-2883	-3,1
D – Semiárido	4166	4,5	18806	20,2	14640	15,7
E – Árido	0	0,0	0	0,0	0	0,0

A classe B<sub>4</sub> - Húmido revela uma evolução projetada de ligeiro decréscimo, em 792 km<sup>2</sup> (-0,8%), nesta comparação entre 1986–2015 e o 2041–2070, sendo esta perda visível no Alto Tâmega, Tâmega e Sousa, Cávado, Ave e Viseu Dão Lafões. Um aumento restrito é projetado para a Cordilheira Central.

Na classe B<sub>3</sub> - Húmido, verificamos uma diminuição na área representada com esta classe em 2 669 km<sup>2</sup> (-2,9%), no modelo KNMI para 2041–2070. Esta perda é a projetada para as regiões

do Alto Tâmega, Tâmega e Sousa, Cávado, Ave, Viseu Dão Lafões e Cordilheira Central, sendo também visível o desaparecimento desta classe na Serra de Montesinho (Trás-os-Montes).

Como já vimos, a classe B<sub>2</sub> - Húmido, apresenta um importante decréscimo de 4 560 km<sup>2</sup> (-4,9%), sendo esta diminuição projetada para a Serra de Aire e Candeeiros (Oeste), Cordilheira Central, Beiras e Serra da Estrela e Serra de Montesinho (Trás-os-Montes). Apesar desta classe apresentar uma diminuição na sua totalidade, esperam-se aumentos na Região de Aveiro, Área Metropolitana do Porto e Cávado.

A classe B<sub>1</sub> - Húmido também irá registar uma diminuição na área correspondente de 2 431 km<sup>2</sup> (-2,6%), comparando os períodos de 1986–2015 e 2041–2070 (cenário RCP8.5 no modelo KNMI). A redução da área ocupada por esta classe projeta-se que ocorra na Região de Coimbra, Cordilheira Central e Douro, havendo também o desaparecimento desta classe na Beira Baixa, Beiras e Serra da Estrela, Alto Tâmega e Serra de Montesinho (Trás-os-Montes). Aumentos na área ocupada por esta classe poderão ocorrer na Região de Aveiro, Área Metropolitana do Porto e na Serra de Aire e Candeeiros (Oeste).

No caso da classe C<sub>2</sub> - Sub-Húmido Húmido, temos um decréscimo de 800 km<sup>2</sup> (-0,9%) numa comparação entre 1986–2015 e o cenário RCP8.5 no modelo KNMI, sendo esta diminuição visível no Alentejo Litoral, Península de Setúbal, Médio Tejo, Beira Baixa, Serra de Monchique (Algarve) e Oeste. Em compensação, esperam-se aumentos de extensão espacial nas Beiras e Serra da Estrela, Douro, Viseu Dão Lafões, Trás-os-Montes, Alto Tâmega, na Região de Leiria e Região de Coimbra.

Relativamente à variação da classe C<sub>1</sub> - Sub-Húmido Seco entre os períodos 1986–2015 e 2041–2070, verificamos que se projeta uma diminuição de 2 883 km<sup>2</sup> (-3,1%), sendo isto devido à perda de território no Baixo Alentejo, Alentejo Central e Alto Alentejo. Esta redução não deverá ser inteiramente compensada pelos aumentos estimados da área ocupada por esta classe, verificados no Algarve (este), Alentejo Litoral, Lezíria do Tejo, Beira Baixa, Beiras e Serra da Estrela, Trás-os-Montes e Península de Setúbal, e pelo aparecimento desta classe no Médio Tejo e Área da Grande Lisboa.

A classe D - Semiárido apresenta um aumento muito importante de 14 640 km<sup>2</sup> (+15,7%) numa comparação entre 1986–2015 e o cenário RCP8.5 no modelo KNMI para 2041–2070, sendo este ganho territorial projetado para o Algarve (este), Alto Alentejo, Beira Baixa, Baixo Alentejo e Alentejo Central.

Quanto a classe E - Árido, verificamos que não existe nenhum local que corresponda a esta classificação.

4.4.3 - Período 2041–2070 de acordo com o modelo SMHI nos cenários RCP4.5 e RCP8.5

4.4.3.1 - Comparação entre os cenários RCP4.5 e RCP8.5 no modelo SMHI para o período 2041–2070

Na tabela 32 comparam-se os cenários RCP4.5 (Figura 31) e RCP8.5 (Figura 32) no modelo SHMI para o período 2041–2070 de acordo com o Índice de Aridez de Thornthwaite.

**Tabela 32** - Valores em área, percentagem e diferença entre cada classe para o período 2041–2070 nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 no modelo SMHI de acordo com o Índice de Aridez de Thornthwaite

Classes	2041-2070					
	SMHI RCP 4.5		SMHI RCP 8.5		Diferença	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
A – Perhúmido	4 397	4,7	2 746	2,9	-1 651	-1,8
B <sub>4</sub> – Húmido	3 181	3,4	1 863	2,0	-1 318	-1,4
B <sub>3</sub> – Húmido	3 645	3,9	3 606	3,9	-39	0,0
B <sub>2</sub> – Húmido	4 782	5,2	4 440	4,8	-342	-0,4
B <sub>1</sub> – Húmido	7 644	8,2	6 954	7,5	-690	-0,7
C <sub>2</sub> - Sub-Húmido Húmido	13 758	14,8	10 333	11,1	-3 425	-3,7
C <sub>1</sub> - Sub-Húmido Seco	25 960	27,9	21 822	23,4	-4 138	-4,5
D – Semiárido	29 685	31,9	41 118	44,2	+11 433	+12,3
E – Árido	0	0,0	170	0,2	+170	+0,2

Da análise da tabela 32 ressalta o facto da maior diferença projetada entre as duas simulações dizer respeito à classe D – Semiárido, cuja área estimada em meados do século será 12,3% maior no caso do cenário de forçamento radiativo mais gravoso. A classe E - Árido, embora com uma reduzida superfície, também poderá surgir em 2041-70, apenas se se confirmasse o cenário RCP8.5.

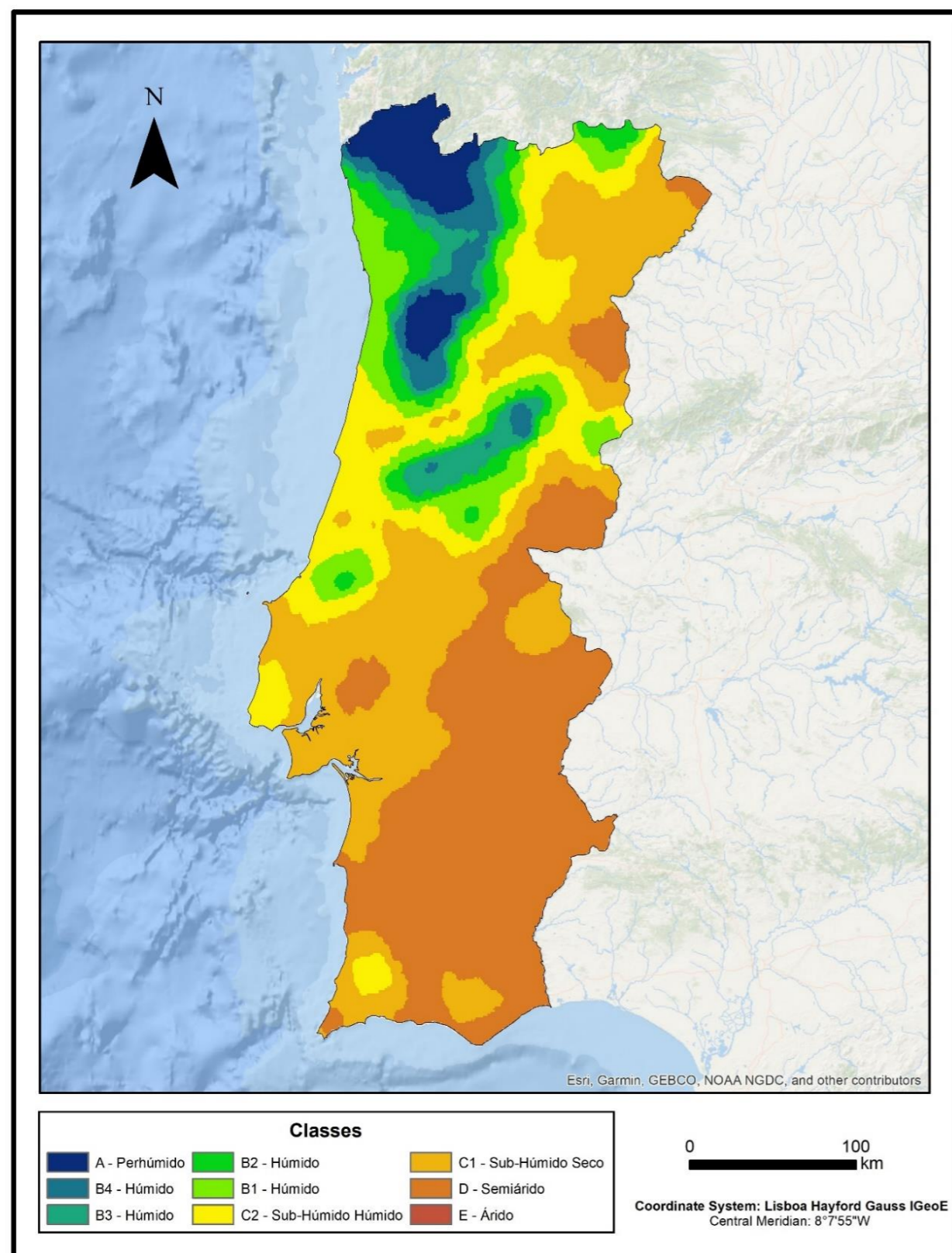


Figura 31 - Índice de Aridez de Thornthwaite para o período 2041–2070 (SMHI RCP4.5)

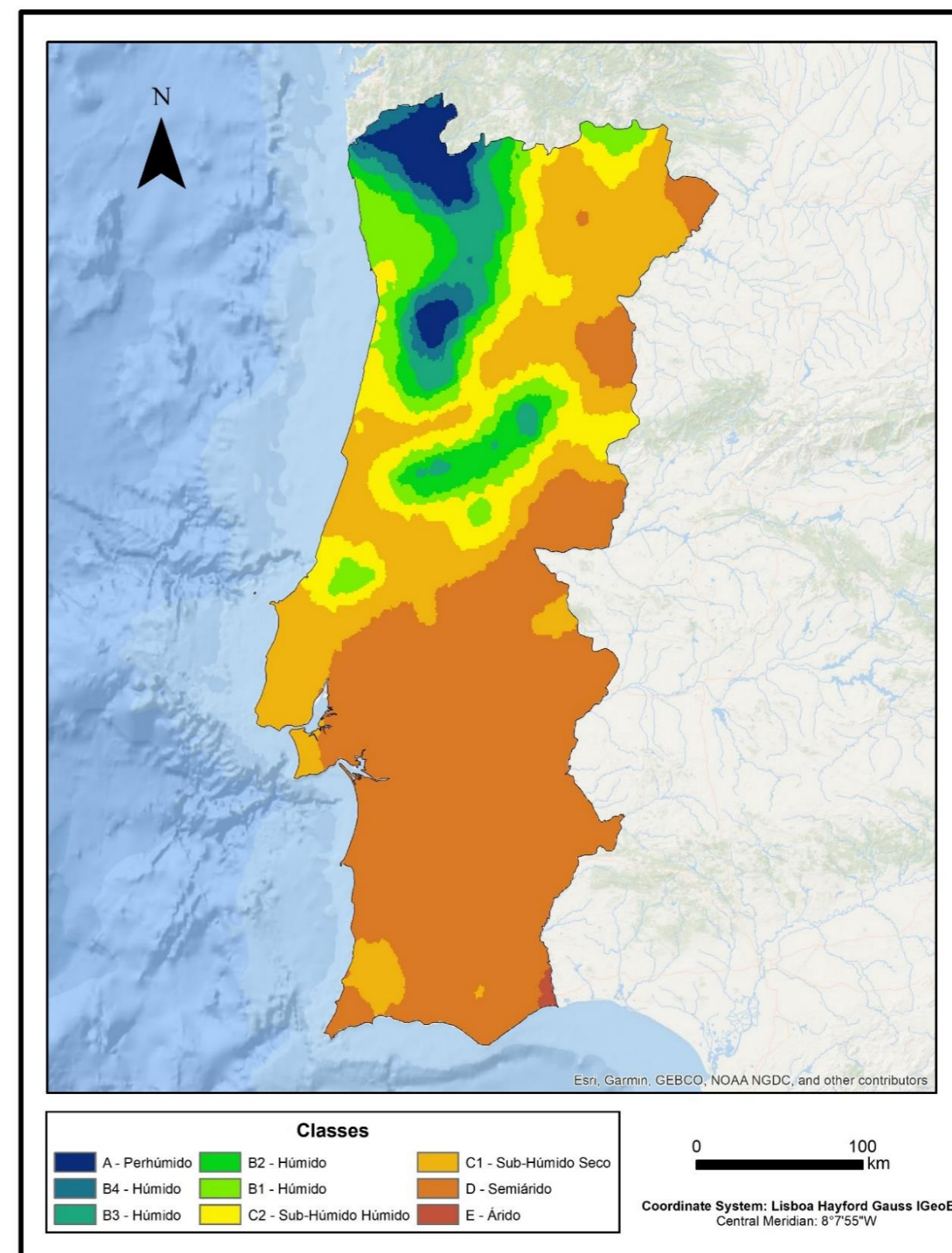


Figura 32 - Índice de Aridez de Thornthwaite para o período 2041–2070 (SMHI RCP8.5)

4.4.3.2 - Comparação entre os períodos de 1986–2015 e 2041–2070 (SMHI RCP4.5)

Considerando o cenário menos gravoso (cenário RCP4.5 e modelo SMHI), como podemos verificar na Tabela 33, na comparação entre o período de 1986–2015 (Figura 28) e o período 2041–2070 (Figura 31) a classe do Índice de Aridez de Thornthwaite que apresenta o maior ganho é a classe D – Semiárido com mais 25 519 km<sup>2</sup> (+27,4%), sendo também esta a única classe que apresenta um aumento neste cenário, enquanto a maior perda se espera na classe C<sub>1</sub> – Sub-Húmido Seco, com menos 6 365 km<sup>2</sup> (-6,8%).

No caso da classe A - Perhúmido temos um decréscimo de 1 857 km<sup>2</sup> (-2,0%) na variação entre 1986–2015 e 2041-70 no cenário RCP4.5 e no modelo SMHI, sendo esperada uma perda de representação no Alto Minho, Cávado e Ave, e o desaparecimento da categoria na Cordilheira Central e Trás-os-Montes. Existe também o aumento desta classe no Tâmega e Sousa e Viseu Dão Lafões.

No que diz respeito à classe B<sub>4</sub>- Húmido, verificamos que se projeta um decréscimo na área representada em 1 575 km<sup>2</sup> (-1,7%), com perdas na Cordilheira Central, Viseu Dão Lafões, Tâmega e Sousa, Ave, Cávado e Alto Minho, e desaparecimento na Serra de Montesinho (Trás-os-Montes).

**Tabela 33** - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP4.5, modelo SMHI de acordo com o Índice de Aridez de Thornthwaite

Classes	1986-2015		SMHI RCP 4.5 2041-2070		Diferença	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
A – Perhúmido	6 254	6,7	4 397	4,7	-1 857	-2,0
B <sub>4</sub> – Húmido	4 756	5,1	3 181	3,4	-1 575	-1,7
B <sub>3</sub> – Húmido	6 474	7,0	3 645	3,9	-2 829	-3,1
B <sub>2</sub> – Húmido	10 821	11,6	4 782	5,2	-6 039	-6,4
B <sub>1</sub> – Húmido	11 036	11,9	7 644	8,2	-3 392	-3,7
C <sub>2</sub> - Sub-Húmido Húmido	17 220	18,5	13 758	14,8	-3 462	-3,7
C <sub>1</sub> - Sub-Húmido Seco	32 325	34,7	25 960	27,9	-6 365	-6,8
D – Semiárido	4 166	4,5	29 685	31,9	+25 519	+27,4
E – Árido	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Quanto a classe B<sub>3</sub> - Húmido, também verificamos uma diminuição de 2 829 km<sup>2</sup> (-3,1%) numa comparação entre 1986–2015 e 2041–2070, sendo isto visível em Viseu Dão Lafões, Tâmega e Sousa, Ave, Cávado e Alto Minho, e no desaparecimento na Serra de Montesinho (Trás-os-Montes).

Na classe B<sub>2</sub> - Húmido, é projetado um decréscimo de 6 039 km<sup>2</sup> (-6,4%) numa comparação entre 1986–2015 e 2041–2070 (cenário RCP4.5 no modelo SMHI). Esta perda é projetada para acontecer na Serra de Aire e Candeeiros (Oeste), Cordilheira Central, Viseu Dão Lafões, Tâmega e Sousa, Ave, Cávado, Alto Minho e Serra de Montesinho (Trás-os-Montes), com o desaparecimento também projetado nas Beiras e Serra da Estrela.

A classe B<sub>1</sub> - Húmido deverá registar uma diminuição de 3 392 km<sup>2</sup> (-3,7%) numa entre 1986–2015 e o cenário RCP4.5 no modelo SMHI, sendo isto projetado na perda na Região de Leiria, Região de Coimbra, Beira Baixa, Beiras e Serra da Estrela, Serra de Montesinho (Trás-os-Montes), Alto Tâmega, Douro e Viseu Dão Lafões. Aumentos na área ocupada por esta classe poderão ocorrer na Região de Aveiro, Área Metropolitana do Porto, Cávado, Cordilheira Central e Serra de Aire e Candeeiros (Oeste).

No caso da classe C<sub>2</sub> - Sub-Húmido Húmido, é patente que se projeta uma diminuição da sua área representada, em 3 462 km<sup>2</sup> (-3,7%), numa comparação entre 1986–2015 e 2041-2070 (cenário RCP8.5 no modelo KNMI). Essa redução projeta-se que se reparta pelo Algarve, Alentejo Litoral, Área da Grande Lisboa, Oeste, Lezíria do Tejo, Médio Tejo, Beira Baixa e Trás-os-Montes, e ainda com o desaparecimento desta classe na Península de Setúbal. Existirão possíveis aumentos desta classe na Região de Leiria, Região de Coimbra, Beiras e Serra da Estrela, Douro e Viseu Dão Lafões, no entanto, não compensando a perda líquida existente.

Quanto à classe C<sub>1</sub> - Muito Húmido, é projetada uma importante perda de área em 6 365 km<sup>2</sup> (-6,8%) numa comparação entre 1986–2015 e o cenário RCP8.5 no modelo KNMI, sendo estas perdas localizadas no Algarve, Baixo Alentejo, Alentejo Litoral, Alentejo Central, Alto Alentejo, Beira Baixa e Beiras e Serra da Estrela. Projeta-se também um incremento de área na Península de Setúbal, Área da Grande Lisboa, Oeste, Lezíria do Tejo, Médio Tejo, Douro, Trás-os-Montes e Viseu Dão Lafões.

A classe D - Semiárido apresenta um importante aumento, em 25 519 km<sup>2</sup> (+27,4%), na comparação entre 1986–2015 e 2041–2070, projetando-se um aumento da área no Baixo Alentejo e Alentejo Central, existindo também o aparecimento desta classe no Algarve, Alentejo Litoral, Alto Alentejo, Lezíria do Tejo, Beiras e Serra da Estrela e Trás-os-Montes. Perdas na área ocupada por esta classe poderão ocorrer no Douro.

Quanto a classe E - Árido, verificamos que não existe nenhum local que corresponde a esta classificação.

#### 4.4.3.3 - Comparação entre os períodos de 1986–2015 e 2041–2070 (SMHI

RCP8.5)

Na Tabela 34 estão representadas as variações entre os dados de 1986–2015 (Figura 28) e os dados para 2041–2070 de acordo com o cenário RCP8.5 do modelo SMHI (Figura 32), utilizando o Índice de Aridez de Thornthwaite. Podemos verificar que a classe relativamente à qual se projeta um maior crescimento é a D - Semiárido, com mais 36 956 km<sup>2</sup> (+39,7%), enquanto a classe que apresentará uma maior perda é a C1 - Sub-Húmido Seco com menos 10 503 km<sup>2</sup> (-11,3%). De sublinhar o facto de haver apenas duas classes que apresentam um crescimento nesta comparação, a D - Semiárido (39,7%) e a E - Árido (0,2%), sendo que as restantes sete classes apresentam uma quebra na área representada.

A classe A - Perhúmido apresentará um decréscimo líquido de 3 508 km<sup>2</sup> (-3,8%), ao compararmos os períodos 1986–2015 e 2041–2070 de acordo com cenário RCP8.5 no modelo SMHI. A área desta classe irá diminuir no Alto Minho, Cávado e Ave, desaparecer na Serra de Montesinho (Trás-os-Montes) e Cordilheira Central, e aumentar no Tâmega e Sousa e Viseu Dão Lafões.

**Tabela 34** - Valores em área, percentagem e variação entre cada classe para os períodos 1986–2015 e 2041–2070 no cenário RCP8.5, modelo SMHI de acordo com o Índice de Aridez de Thornthwaite

Classes	1986-2015		SMHI RCP 8.5 2041-2070		Diferença	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
A – Perhúmido	6 254	6,7	2 746	2,9	-3 508	-3,8
B <sub>4</sub> – Húmido	4 756	5,1	1 863	2,0	-2 893	-3,1
B <sub>3</sub> – Húmido	6 474	7,0	3 606	3,9	-2 868	-3,1
B <sub>2</sub> – Húmido	10 821	11,6	4 440	4,8	-6 381	-6,8
B <sub>1</sub> – Húmido	11 036	11,9	6 954	7,5	-4 082	-4,4
C <sub>2</sub> - Sub-Húmido Húmido	17 220	18,5	10 333	11,1	-6 887	-7,4
C <sub>1</sub> - Sub-Húmido Seco	32 325	34,7	21 822	23,4	-10 503	-11,3
D – Semiárido	4 166	4,5	41 118	44,2	+36 952	+39,7
E – Árido	0	0,0	170	0,2	+170	+0,2

A classe B<sub>4</sub> - Húmido apresenta uma diminuição em 2 893 km<sup>2</sup> (-3,1%), sendo esta visível no Alto Minho, Cávado, Ave, Tâmega e Sousa, e Viseu Dão Lafões, desaparecimento na Serra de Montesinho (Trás-os-Montes) e Cordilheira Central.

Para a classe B<sub>3</sub> - Húmido, verificamos que se projeta uma diminuição de 2 868 km<sup>2</sup> (-3,1%) numa comparação entre 1986–2015 e o cenário RCP4.5 no modelo KNMI. Esta perda verifica-se no

Alto Minho, Cávado, Ave, Tâmega e Sousa, Viseu Dão Lafões e Cordilheira Central, havendo também o desaparecimento desta classe na Serra de Montesinho (Trás-os-Montes).

No caso da classe B<sub>2</sub> - Húmido, temos um decréscimo de 6 381 km<sup>2</sup> (-6,8%) numa comparação entre 1986–2015 e 2041–2070, projetando-se que esta perda aconteça no Alto Minho, Cávado, Ave, Tâmega e Sousa, Viseu Dão Lafões e Cordilheira Central. Está projetado também o desaparecimento desta classe na Serra de Montesinho (Trás-os-Montes).

A classe B<sub>1</sub> - Húmido apresenta uma diminuição de 4 082 km<sup>2</sup> (-4,4 %), sendo esta perda visível na Serra de Aire e Candeeiros, Região de Leiria, Região de Coimbra, Alto Tâmega, Douro e Viseu Dão Lafões, aumento na Região de Aveiro, Área Metropolitana do Porto, Cávado, Alto Minho e Cordilheira Central.

No caso da classe C<sub>2</sub> - Sub-Húmido Húmido, verificamos um decréscimo de 6 887 km<sup>2</sup> (-7,4%) na comparação entre os períodos 1986–2015 e 2041–2070 (cenário RCP8.5 no modelo SMHI). Esta perda deve-se a uma diminuição esperada na Beiras e Serra da Estrela, e Trás-os-Montes e ao desaparecimento no Algarve, Alentejo Litoral, Serra de Monchique, Península de Setúbal Área da Grande Lisboa. Projeta-se também o aparecimento desta classe na Área Metropolitana do Porto.

Como já vimos, na classe C<sub>1</sub> - Sub-Húmido Seco está projetada uma diminuição expressiva em 10 503 km<sup>2</sup> (-11,3%) numa comparação entre 1986–2015 e 2041–2070, sendo esta perda projetada no Algarve (ficando a classe restrita à Serra de Monchique), Alentejo Litoral, Alto Alentejo (circunscrita à Serra de São Mamede), Península de Setúbal, Médio Tejo e Beira Baixa, com o desaparecimento no Baixo Alentejo, Alentejo Central, Lezíria do Tejo. Apesar desta classe apresentar uma diminuição expressiva, temos também aparecimento desta classe na Área da Grande Lisboa, Oeste, Região de Leiria e Região de Coimbra, e o aumento na Beiras e Serra da Estrela, Douro, Trás-os-Montes, Viseu Dão Lafões e Alto Tâmega.

Tal como já foi salientado, a classe D - Semiárido apresentará um aumento muito importante, em 36 952 km<sup>2</sup> (+39,7%) na comparação entre 1986–2015 e 2041-70, no cenário RCP8.5 e no modelo SMHI. De realçar que esta classe era a menos representada nos anos recentes (4,5%), para no futuro ser a que registará maior presença (44,2%). Este aumento está projetado para acontecer no Baixo Alentejo e Alentejo Central, complementado com o aparecimento desta classe no Algarve, Alentejo Litoral, Alto Alentejo, Península de Setúbal, Lezíria do Tejo, Médio Tejo, Beira Baixa, Beiras e Serra da Estrela e Trás-os-Montes.

Quanto a classe E - Árido, verificamos que existe um aumento de 170 km<sup>2</sup> (+0,2%), sendo isto devido ao aparecimento desta classe em Castro Marim (Algarve).

#### 4.5 - Discussão dos resultados

Na Tabela 35, apresenta-se uma síntese dos resultados obtidos com a presente investigação. Para cada categoria considerada nos quatro índices de aridez, indicam-se as variações percentuais de área respetiva entre os períodos analisados (1971-1990 X 1986–2015 e 1986–2015 X 2041–2070), e em função dos modelos (KNMI e SMHI) e cenários adotados (RCP4.5 e RCP8.5). Para facilitar a leitura deste quadro de síntese, realçam-se com **gradação de vermelho as variações que correspondem a um agravamento das condições da aridez**, usando-se uma **gradação de verde para ilustrar as mudanças no sentido do reforço das condições de humidade**.

Relativamente à **evolução entre 1971-1990 e 1986–2015**, verificamos que, exceto em poucos casos, **as percentagens de variação não são muito altas**, sendo, em geral, **inferiores a 5%**. No **Índice de Aridez de De Martonne** e no **Índice de Aridez de Emberger**, as variações percentuais nas áreas das classes **não ultrapassam os 5%**, sendo que **a maior parte dessas variações revelam uma evolução de agravamento das condições de aridez**. O **Índice de Aridez de Bagnouls-Gausson** apresenta também **tendencialmente uma evolução no sentido de aumento das condições de aridez**, sendo de destacar a perda de território da classe Aridez Muito Baixa (-6,4%) e o aumento na categoria Aridez Moderada (+5,7%). Por fim, o **Índice de Aridez de Thornthwaite**, tal como os restantes apresenta uma **evolução que indica o aumento das condições de aridez** em Portugal Continental, mas ao contrário das **anteriores esta evolução não é tão explícita**, pois metade das classes apresenta uma tendência que aponta para um aumento da humidade e a outra metade comporta-se no sentido da acentuação da aridez, com **as variações em duas destas classes a serem superiores a 5%**: a **diminuição do território na classe A- Perhúmido (-6,7%)** e o **aumento na classe C<sub>1</sub>- Sub-Húmido Seco (+5,6%)**. No geral, **apesar deste período recente de 45 anos revelar uma evolução de aumento nas condições de aridez, esta acaba por não ser muito expressiva**, pois algumas classes associadas a condições climáticas de maior humidade apresentam alguns incrementos, ainda que pouco significativos.

No que diz respeito à bibliografia, **alguns autores também se referem a este aumento nas condições de aridez em Portugal** nas últimas décadas, como **Andrade e Corte-Real (2016)**, que estudaram a evolução da aridez, com base no **Índice de Aridez de De Martonne**, durante o século XX na Península Ibérica, subdividindo o centénio em três períodos, dois dos quais (1941–1990 e 1981–2012) têm certa correspondência temporal com os considerados neste trabalho. Os autores **identificaram um aumento da aridez para os períodos em estudo**, sendo as áreas do sul e centro da Península Ibérica as regiões consideradas mais áridas, sendo que nalgumas regiões ainda foi possível verificar um aumento das áreas húmidas. **Paniagua et al., (2019)**

consideraram o período de 1960 a 2017 na sua análise da aridez na Península Ibérica, sendo um dos índices utilizados o **Índice de Aridez de De Martonne**. Verificaram uma tendência de aumento das temperaturas médias anuais e de diminuição da precipitação anual na Península Ibérica, sendo que a **maior parte do território peninsular é caracterizado como sendo de moderada a alta aridez**, enquanto as regiões costeiras setentrionais e ocidentais a norte de Lisboa apresentam uma aridez mais baixa.

Quanto às **projeções para o futuro (1986–2015 e 2041–2070)**, primeiramente temos de referir o facto do **modelo SMHI apresentar variações mais expressivas em comparação com o modelo KNMI**, sendo isto visível, por exemplo, no caso do Índice de Aridez de De Martonne, classe Semiárido no cenário RCP8.5: no modelo KNMI a variação é de cerca de 18%, enquanto no modelo SMHI a variação é de aproximadamente de 40% (no cenário mais gravoso). Até no caso dos cenários, **o modelo SMHI apresenta variações mais expressivas em qualquer dos cenários RCP4.5 e RCP8.5, do que o modelo KNMI. Para todos os índices calculados neste estudo, está projetado um aumento muito expressivo e significativo da aridez em Portugal Continental**, na comparação entre 1986–2015 e 2041–2070, sendo que **os valores mais acentuados desta projeção são os obtidos com o modelo SMHI e cenário RCP8.5**. O **Índice de Aridez de De Martonne apresenta em todos os cenários calculados um aumento das condições de aridez**, sendo que, na sua maioria, as **classes perdem representação para a classe de maior aridez relativa, neste caso a classe Semiárido**, uma vez que a classe Árido não está presente (a categoria de maior aridez de toda a classificação). O **Índice de Aridez de Emberger**, apresenta em todos os cenários um aumento da aridez até meados do século XXI, sendo as variações projetadas, na sua maioria, **superiores a 10%**, uma evolução muito significativa em ter em conta. O **Índice de Aridez de Bagnouls-Gausson**, tal como os dois índices anteriores, apresenta uma tendência para o **aumento significativo nas condições de aridez entre os últimos 30 anos e 2041-70**. Aliás, **este é o índice que denota os maiores aumentos nas variações percentuais das áreas referentes às classes associadas a maior aridez** (sendo a exceção a esta regra o modelo SMHI, cenário RCP4.5). Por fim, em relação ao **Índice de Aridez de Thornthwaite**, tal como nos anteriores indicadores, as simulações Euro-CORDEX exploradas projetam **também um incremento significativo das condições de aridez para Portugal Continental**. Neste sistema de classificação, todas as classes (à exceção da classe E- Árido, ausente) perdem representação, sobretudo em favor da **classe D- Semiárido**, que ao acumular o valor daquelas perdas, **se tornará, já em meados deste século, na categoria de aridez com maior extensão geográfica no território continental português**.

Estes resultados estão em concordância com os obtidos em vários outros estudos recentes. **Gao e Giorgi (2008)**, tomando por base os cenários de emissões de gases de efeito estufa A2 e B2 do IPCC (2000), calcularam a Classificação Climática de Köppen, o Índice de Aridez da UNEP e o Índice de Seca de Budyko, para o período de 2071–2100 para as regiões do Mediterrâneo, e chegaram à conclusão de que **a Península Ibérica irá apresentar um aumento das áreas classificadas como áridas durante o século XXI**. **Andrade et al. (2014)**, no seu estudo das projeções para os extremos climáticos no período 2041–2070, concluíram que **irá ocorrer um aumento das temperaturas médias das estações do ano**, além de um **aumento nos valores extremos diários de temperatura, principalmente durante o verão**, o que acabará por afetar o nível de aridez presente no território. Soares et al. (2017), tentaram investigar as projeções de para a precipitação até ao final do século XXI, utilizando os cenários RCP4.5 e RCP 8.5 (os mesmos cenários utilizados neste trabalho) do EURO-CORDEX, e previsão de que haverá **perdas importantes de precipitação em Portugal na primavera, verão e outono**, variando **entre –10% e –50% em todas as estações**, sendo estas alterações mais severas nas bacias do sul de Portugal. Chegaram também à conclusão de que haverá reduções importantes da contribuição do armazenamento de precipitação baixa a moderada/alta e aumento de dias com chuvas fortes. Santos et al. (2019), utilizaram os dados de precipitação referentes aos períodos de 1950–2013 (período presente) e 2046-2065 (período futuro) para tentar entender quais as tendências de precipitação existentes em Portugal Continental, utilizando o Índice de Suscetibilidade a Precipitações Extremas (EPSI). Estes autores chegaram à conclusão de que os resultados revelam uma tendência significativa **para o aumento da aridez na primavera**, principalmente no Norte e Centro de Portugal, enquanto existe também uma **pequena tendência para o aumento da humidade no outono**. Existe também a representação de uma **diminuição da precipitação extrema na primavera** sobre o centro de Portugal e um ligeiro aumento no outono sobre o norte de Portugal e nas proximidades de Lisboa. As projeções para as alterações climáticas revelaram um **decréscimo da precipitação, principalmente no noroeste de Portugal**, enquanto se prevê um **aumento do contributo da precipitação extrema para a precipitação total, principalmente no sul de Portugal**. O **número máximo de dias secos consecutivos também deverá aumentar em Portugal**. **Andrade e Contente (2020)** avaliaram as projeções climáticas para o mesmo período (2041–2070) e cenários (RCP4.5 e RCP8.5) no que diz respeito às condições de aridez para a Península Ibérica. Chegaram igualmente à conclusão de que vai haver um aumento da aridez, referindo especificamente os casos do Alentejo e Algarve como exemplos de regiões que apresentam um maior agravamento da aridez sazonal, além de também mencionarem a projeção de um recuo das classes mais húmidas nas regiões do Norte. Por fim, **Andrade e Contente (2020)**, noutro artigo, calcularam e projetaram a Classificação Climática de Köppen

para os períodos de 1961–1990, 1991–2010, 2021–2040 e 2041–2070, utilizando um ensemble de modelos regionais do EURO-CORDEX, nos cenários RCP4.5 e RCP8.5. As autoras salientam que, de acordo com os resultados do seu estudo, o clima na península Ibérica se irá tornar progressivamente mais quente e mais seco até 2070, particularmente no cenário RCP8.5, resultando numa expansão das áreas correspondentes aos tipos climáticos BW (climas áridos), BS (climas semiáridos) e Csa (clima mediterrânico com verão seco e quente) na classificação de Köppen.

Numa outra perspetiva, deverão ser feitas algumas considerações em torno dos índices de aridez utilizados nesta investigação. Comparando o modo de cálculo, elaboração e classificação de cada índice, o Índice de Aridez de Thornthwaite afigura-se como sendo o mais completo e o que proporciona uma avaliação mais robusta da aridez climática. O Índice de Aridez de Thornthwaite incorpora uma componente no seu cálculo, a Evapotranspiração Potencial, que não é utilizada por mais nenhum dos restantes índices utilizados neste estudo. Por outro lado, a sua classificação (de Thornthwaite) possui um maior número de classes, o que ajudou a detetar algumas mudanças de âmbito regional que, no caso dos outros índices, não foram tão perceptíveis. Embora seja bastante mais exigente pelos cálculos requeridos, o Índice de Aridez de Thornthwaite deverá continuar a ser explorado em futuros trabalhos. Outro índice cujos resultados obtidos na presente investigação se revelaram muito interessantes foi o Índice de Aridez de Bagnouls-Gausson, que incorpora o cálculo dos dias biologicamente secos, um aspeto muito relevante, por exemplo, de ponto de vista biogeográfico. Este índice também possui um número de classes relativamente equilibrado, sendo um índice muito utilizado em todo o mundo. O Índice de Aridez de De Martonne é também um índice muito utilizado, pois é um índice de fácil e rápido cálculo, tendo também proporcionado resultados interessantes neste estudo, embora tenha como limitação importante, o problema de só poder ser utilizado para as regiões do Mediterrâneo, não sendo sequer adequada, no caso de Portugal, a sua aplicação às Regiões Autónomas da Madeira e dos Açores. Entre os índices explorados, o Índice de Aridez de Emberger terá sido o menos útil e o que apresenta mais fragilidades, nomeadamente o facto de não utilizar indicadores muito diferenciados comparativamente aos outros índices de aridez, além da sua classificação integrar apenas quatro classes, o que dificultou a deteção e perceção visual nos mapas produzidos das mudanças regionais nas condições de aridez no território continental português. Outro problema está ligado ao facto de tal como no caso do Índice de Aridez de De Martonne, este índice, é apenas recomendado para uso na Região do Mediterrâneo.

Tabela 35 - Percentagem de variação nas comparações para cada índice e período em estudo

Índice	Classe	Δ 1971-1990 e 1986-2015	KNMI		SMHI	
			RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
			Δ 1986-2015 e 1941-2070	Δ 1986-2015 e 1941-2070	Δ 1986-2015 e 1941-2070	Δ 1986-2015 e 1941-2070
De Martonne	Extremamente Húmido	-4,9	-0,9	-1,8	-4,8	-6,1
	Muito Húmido	4,4	-10,3	-10,2	-12,2	-15,0
	Húmido	-0,7	2,0	1,2	-2,9	-3,9
	Sub-Húmido	-0,1	-8,8	-8,3	-6,9	-7,8
	Mediterrâneo	3,2	-0,2	0,8	-4,0	-7,5
	Semiárido	-1,9	18,2	18,3	30,8	40,3
	Árido	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Emberger	Húmido	-4,7	-11,7	-14,0	-17,8	-24,5
	Sub-Húmido	2,4	-4,9	-5,5	-10,6	-14,4
	Semiárido	2,3	16,6	19,5	27,2	31,2
	Árido	0,0	0,0	0,0	1,2	7,7
Bagnouls-Gausсен	Aridez Muito Baixa	-6,4	-9,0	-9,7	-0,1	-12,2
	Aridez Baixa	-2,1	-9,1	-6,8	0,5	-10,3
	Aridez Moderada	5,7	-0,3	-2,2	-4,3	-6,0
	Aridez Alta	2,1	-9,2	-11,1	-16,3	-8,8
	Aridez Muito Alta	1,8	-7,2	-2,4	1,0	-6,1
	Aridez Extremamente Elevada	-1,1	34,8	32,2	19,2	43,4
Thornthwaite	A - Perhúmido	-6,7	0,3	-0,5	-2,0	-3,8
	B <sub>4</sub> - Húmido	0,0	-0,9	-0,8	-1,7	-3,1
	B <sub>3</sub> - Húmido	-0,4	-2,7	-2,9	-3,1	-3,1
	B <sub>2</sub> - Húmido	2,4	-4,6	-4,9	-6,4	-6,8
	B <sub>1</sub> - Húmido	2,4	-2,5	-2,6	-3,7	-4,4
	C <sub>2</sub> - Sub-Húmido Húmido	-3,4	-0,2	-0,9	-3,7	-7,4
	C <sub>1</sub> - Sub-Húmido Seco	5,6	-4,2	-3,1	-6,8	-11,3
	D - Semiárido	0,1	14,8	15,7	27,4	39,7
	E - Árido	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2

## 5 - Conclusão

Para avaliar a evolução das condições de aridez em Portugal Continental, foram utilizados dois períodos temporais, o período recente com dados referentes aos anos de 1971-1990 e 1986–2015, e o período futuro com dados de 2041–2070. Para a projeção das condições climáticas no futuro recorreu a simulações do EURO-CORDEX, utilizando dois modelos simplificados aqui referidos por KNMI e SMHI, e dois cenários de emissões de GEE, os chamados patamares de estabilização de forçamento radiativo RCP4.5 (intermédio) e RCP8.5 (elevado). Na avaliação das condições de aridez foram escolhidos quatro índices de aridez, o Índice de Aridez de De Martonne, o Índice de Aridez de Emberger, o Índice de Aridez de Bagnouls-Gaussen e o Índice de Aridez de Thornthwaite.

No caso do período recente, todos os índices revelaram uma tendência de agravamento das condições de aridez. Este aumento, no entanto, não foi muito expressivo, pois apesar de algumas classes dos índices apresentarem uma evolução denotando um alargamento da incidência espacial das condições de secura, noutras essa tendência não foi evidente. Foram os Índices de Aridez de Bagnouls-Gaussen e de Thornthwaite que apresentam variações mais significativas nas suas classes, enquanto nos casos dos Índices de Aridez de De Martonne e de Emberger as mudanças identificadas na extensão espacial das classes não superaram, em nenhuma delas, 5% do território de Portugal Continental, sendo que apesar das baixas percentagens, as alterações já se fazem sentir.

No tocante à avaliação da evolução futura, através da comparação entre os períodos de 1986–2015 e 2041–2070, as mudanças que se projetam são bem mais acentuadas, tendo sido verificadas para todos os índices de aridez utilizados. Os resultados mais preocupantes, pelo seu significado ambiental e socioeconómico no território, foram os obtidos com as condições climáticas simuladas no modelo SMHI e no cenário RCP8.5, segundo os quais as classes dos índices em estudo associadas a uma maior aridez se poderão expandir entre os 39% e os 43%, o que quer dizer que mais de 1/3 do território irá estar sob condições de aridez muito significativas. Nos cenários menos gravosos, verificamos que os aumentos das classes áridas se situam entre os 15% e os 35% (modelo KNMI, cenário RCP4.5), o que quer dizer que de 1/6 a 1/3 do território vai estar sob condições de aridez muito pronunciadas.

O agravamento da aridez sazonal do clima em Portugal Continental constitui um processo já em curso e que, como se mostrou, irá acentuar-se nas próximas décadas, provocando consequências em diferentes domínios. O aumento e alargamento temporal do stress hídrico afetará os ecossistemas, induzirá alterações nas paisagens e colocará pressões

acrescidas em atividades económicas como a agricultura, a silvicultura, a criação animal, o turismo, a indústria, a produção energética, entre outras. A gestão dos recursos hídricos constitui um enorme desafio no contexto da resposta às alterações climáticas em Portugal. Dada a diversidade dos impactos esperados e a complexidade dos efeitos em cadeia suscitados pela maior escassez de água, torna-se necessário implementar e colocar em prática medidas de mitigação e de adaptação que permitam acautelar o futuro, não comprometendo irremediavelmente o ambiente e a sociedade nas próximas gerações.

## Bibliografia

- Alcoforado, M. J., Alegria, M. F., Ramos-Pereira, A., & Sirgado, C. (1982). *Domínios bioclimáticos em Portugal. Definidos por comparação dos índices de Gaussen e de Emberger*. Lisboa. Lisboa: Centro de Estudo Geográficos da Universidade de Lisboa.
- Alcoforado, M. J., Alegria, M. F., Ramos-Pereira, A., & Sirgado, C. (2009). *Domínios bioclimáticos em Portugal. Definidos por comparação dos índices de Gaussen e de Emberger*. Universidade de Lisboa: Centro de Estudos Geográficos .
- Andrade, C., & Contente, J. (2020). Climate change projections for the Worldwide Bioclimatic Classification System in the Iberian Peninsula until 2070. *International Journal of Climatology*, 5863-5886.
- Andrade, C., & Contente, J. (2020). Köppen's climate classification projections for the Iberian Peninsula. *Climate Research*, 81, 71-89.
- Andrade, C., & Corte-Real, J. (2016). Aridity conditions in the Iberian Peninsula during the XX century. *International Journal of Environmental Science*, 1, 52-58.
- Andrade, C., & Corte-Real, J. (2016). Preliminary assessment of aridity conditions in the Iberian Peninsula. In *AIP Conference Proceedings (Vol. 1738, No. 1, p. 060003)*. AIP Publishing LLC.
- Andrade, C., Fraga, H., & Santos, J. A. (2014). Climate change multi-model projections for temperature extremes in Portugal. *Atmospheric Science Letters*, 15(2), 149-156.
- Ångström, A. (1936). A coefficient of humidity of general applicability. *Geografiska Annaler*, 18(3-4), 245-254.
- ArcGis. (SD). *How IDW works*. Obtido de ArcGis: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-idw-works.htm> [último acesso em: 20/11/2020]
- Ashraf, B., Yazdani, R., Mousavi-Baygi, M., & et al. (2014). Investigation of temporal and spatial climate variability and aridity of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 118(1-2), 35-46.
- Aslan, Z., Erdemir, G., Feoli, E., Giorgi, F., & Okcu, D. (2019). Effects of climate change on soil erosion risk assessed by clustering and artificial neural network. *Pure and Applied Geophysics*, 176(2), 937-949.
- Bagnouls, F. (1953). Saison sèche et indice xérothermique. *Bull Soc His nat Toulouse*, 88, 193-239.
- Bagnouls, F., & Gaussen, H. (1957). Les climats biologiques et leur classification. *Annales de géographie Vol. 66, No. 355*, 193-220.
- Baltas, E. (2007). Spatial distribution of climatic indices in northern Greece. *Meteorological Applications: A journal of forecasting, practical applications, training techniques and modelling*, 14(1), 69-78.
- Basso, B., De Simone, L., Cammarano, D., Martin, E. C., Margiotta, S., Grace, P. R., . . . Chou, T. Y. (2012). Analysis of contributing factors to desertification and mitigation measures in Basilicata region. *Italian Journal of Agronomy*, 5(3S), 33-44.

- Berg, A., Sheffield, J., & Milly, P. C. (2017). Divergent surface and total soil moisture projections under global warming. *Geophysical Research Letters*, *44*(1), 236-244.
- Blaney, H. F., & Criddle, W. D. (1950). Determining water needs from climatological data. *USDA Soil Conservation Service. SOS-TP, USA*, *3*, 8-9.
- Cardoso, R. M., Soares, P. M., Lima, D. C., & Miranda, P. M. (2019). Mean and extreme temperatures in a warming climate: EURO CORDEX and WRF regional climate high-resolution projections for Portugal. *Climate Dynamics*, *52*(1-2), 129-157.
- Chowdhury, A. I. (2018). Assessment of intensity and distribution of aridity over Bangladesh using different climate indices with GIS. *Climate Change*, *4*(16), 743-749.
- Costa, A. C., & Soares, A. (2012). Local spatiotemporal dynamics of a simple aridity index in a region susceptible to desertification. *Journal of Arid Environments*, *87*, 8-18.
- Cramer, W., Guiot, J., Fader, M., Garrabou, J., Gattuso, J. P., Iglesias, A., . . . Penuelas, J. (2018). Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change*, *8*(11), 972-980.
- Daget, P. (1-20). "Le Bioclimat Méditerranéen : caractères généraux, modes de caractérisation. *Végétation*, *34* (1), 1977.
- Daget, P. (1977). Le bioclimat méditerranéen: analyse des formes climatiques par le système d'Emberger. *Vegetatio*, *34*(2), 87-103.
- Dai, X. G., Wang, P., & Chou, J. F. (2003). Multiscale characteristics of the rainy season rainfall and interdecadal decaying of summer monsoon in North China. *Chinese Science Bulletin*, *48*(24), 2730-2734.
- de Martonne, E. (1926). Une nouvelle fonction climatologique: L'indice d'aridité. *Meteorologie*, *2*, 449-459.
- Delju, A. H., Ceylan, A., Piguet, E., & Rebetz, M. (2013). Observed climate variability and change in Urmia Lake Basin, Iran. *Theoretical and applied climatology*, *111*(1-2), 285-296.
- Dengiz, O., & Akgül, S. (2005). Soil erosion risk assessment of the Gölbaşı environmental protection area and its vicinity using the CORINE model. *Turkish journal of agriculture and forestry*, *29*(6), 439-448.
- Dengiz, O., & Akgül, S. (439-448). Soil erosion risk assessment of the Gölbaşı environmental protection area and its vicinity using the CORINE model. *Turkish journal of agriculture and forestry*, *29*(6), 2005.
- Diffenbaugh, N. S., Pal, J. S., Giorgi, F., & Gao, X. (2007). Heat stress intensification in the Mediterranean climate change hotspot. *Geophysical Research Letters*, *34*(11), 1-6.
- do Rosário, L. (2004). *Indicadores de desertificação para Portugal Continental. Desertification Indicators for Continental Portugal*. Lisboa: DGRF-Direcção-Geral dos Recursos Florestais.
- Dunn, M. (. (1993). *Exploring Your World: The Adventure of Geography*. Washington D. C.: National Geographic Society.

- Durán, J., Delgado-Baquerizo, M., Dougill, A. J., Guuroh, R. T., Linstädter, A., Thomas, A. D., & Maestre, F. T. (2018). Temperature and aridity regulate spatial variability of soil multifunctionality in drylands across the globe. *Ecology*, *99*(5), 1184-1193.
- Dutta, S., & Chaudhuri, G. (2015). Evaluating environmental sensitivity of arid and semiarid regions in northeastern Rajasthan, India. *Geographical Review*, *105*(4), 441-461.
- Elagib, N. A., & Abdu, A. S. (1997). Climate variability and aridity in Bahrain. *Journal of arid Environments*, *36*(3), 405-419.
- Emberger, L. (1932). Sur une formule climatique et ses applications en botanique. *La Météorologie*, *92*, 1-10.
- Feddema, J. J. (2005). A revised Thornthwaite-type global climate classification. *Physical Geography*, *26*(6), 442-466.
- Ferreira, A., Ferreira, D., Medeiros, C., Moreira, M., Neto, C., & Ramos, C. (2005). Geografia de Portugal-O Ambiente Físico. Em A. Ferreira, & C. Medeiros, *Geografia de Portugal-O Ambiente Físico. Formas de Relevo e Dinâmica Geomorfológica* (pp. 361-370). Lisboa: Círculo de Leitores.
- Fityus, S. G., Walsh, P. F., & Kleeman, P. W. (1998). The influence of climate as expressed by the Thornthwaite index on the design depth of moisture change of clay soils in the Hunter Valley. *Conference on geotechnical engineering and engineering geology in the Hunter Valley* (pp. 251-265). Australia: Conference Publications Springwood.
- Gao, X., & Giorgi, F. (2008). Increased aridity in the Mediterranean region under greenhouse gas forcing estimated from high resolution simulations with a regional climate model. *Global and Planetary Change*, *62*(3-4), 195-209.
- Ghiloufi, W., Quero, J. L., García-Gómez, M., & Chaieb, M. (2016). Potential impacts of aridity on structural and functional status of a southern Mediterranean *Stipa tenacissima* steppe. *South African Journal of Botany*, *103*, 170-180.
- Giorgi, F. (2006). Climate change hot-spots. *Geophysical research letters*, *33*(8), L08707.
- Greve, P., Roderick, M. L., Ukkola, A. M., & Wada, Y. (2019). The aridity index under global warming. *Environmental Research Letters*, *14*(12), 124006.
- Gunawat, A., Dubey, S. K., & Sharma, D. (2016). Development of indices for aridity and temperature changes pattern through GIS mapping for Rajasthan, India. *Climate Change and Environmental Sustainability*, *4*(2), 178-189.
- Gutiérrez, J. M., Herrera, S., Cardoso, R. M., Soares, P. M., Espírito-Santo, F., & Viterbo, P. (31 de Maio de 2019). *beria01: Daily gridded (0.1 ° resolution) dataset of precipitation and temperatures over the Iberian Peninsula*. Obtido de DIGITAL.CSIC: <http://hdl.handle.net/10261/183071> [último acesso em: 20/11/2020]
- Hájková, L., Bartošová, L., & Kožnarová, V. (2018). Evaluation of aridity index in the Czech Republic within 1961–2015. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, *66*(5), 1111-1118.

- Harris, I. P., Jones, P. D., Osborn, T. J., & Lister, D. H. (2014). Updated high-resolution grids of monthly climatic observations—the CRU TS3. 10 Dataset. *International journal of climatology*, *34*(3), 623-642.
- Heinrich, G., & Gobiet, A. (2012). The future of dry and wet spells in Europe: a comprehensive study based on the ENSEMBLES regional climate models. *International Journal of Climatology*, *32*(13), 1951-1970.
- Herrera, S. (2011). Desarrollo, Validación Y Aplicaciones de Spain02: Una Rejilla de Alta Resolución de Observaciones Interpoladas Para Precipitación Y Temperatura en España. *PhD thesis, Universidad de Cantabria, Cantabria, Spain*.
- Herrera, S., Gutierrez, J. M., Ancell, R., Pons, M. R., Frias, M. D., & Fernandez, J. (2012). Development and analysis of a 50-year high-resolution daily gridded precipitation dataset over Spain (Spain02). *Int. J. Climatol.* *32*, 74–85.
- Herrera, S., Fernández, J., & Gutiérrez, J. M. (2015). Update of the Spain02 gridded observational dataset for EURO-CORDEX evaluation: assessing the effect of the interpolation methodology. *International Journal of Climatology*, *36*(2), 900-908.
- Hoerling, M., Eischeid, J., Perlwitz, J., Quan, X., Zhang, T., & Pegion, P. (2012). On the increased frequency of Mediterranean drought. *Journal of climate*, *25*(6), 2146-2161.
- Houghton, J. T., Ding, Y., Giggs, D., Nogués, M., van del Linden, P., Dai, X., . . . (Eds.). (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hrnjak, I., Lukić, T., Gavrilov, M. B., Marković, S. B., Unkašević, M., & Tošić, I. (2014). Aridity in Vojvodina, Serbia. *Theoretical and applied climatology*, *115*(1-2), 323-332.
- Huang, H., Han, Y., Cao, M., Song, J., & Xiao, H. (2016). Spatial-temporal variation of aridity index of China during 1960–2013. *Advances in Meteorology*, *2016*, 1-10.
- Huang, M., Chai, L., Jiang, D., Zhang, M., Zhao, Y., & Huang, Y. (2019). Increasing aridity affects soil archaeal communities by mediating soil niches in semi-arid regions. *Science of the total environment*, *647*, 699-707.
- IPCC. (2013). .Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change- Abstract for decision-makers.
- IPMA. (SD). *Normais Climatológicas*. Obtido de IPMA: <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/> [último acesso em: 20/11/2020]
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O. B., Bouwer, L. M., . . . Georgopoulou, E. (2014). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional environmental change*, *14*(2), 563-578.
- Jones, P. D., Hulme, M., Briffa, K. R., & Jones, C. G. (1996). Summer moisture availability over Europe in the Hadley centre general circulation model based on the Palmer drought severity index. *International Journal of Climatology*, *16*, 155-172.
- Köppen, W. (1931). *Grundriss der Klimakunde*. Berlin: Walter de Gruyter.
- Koutroulis, A. G. (2019). Dryland changes under different levels of global warming. *Science of The Total Environment*, *655*, 482-511.

- Krige, D. G. (1951). A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 52(6), 119-139.
- Ladisa, G., Todorovic, M., & Liuzzi, G. T. (2012). A GIS-based approach for desertification risk assessment in Apulia region, SE Italy. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts a/B/C*, 49, 103-113.
- Landelius, T., Dahlgren, P., Gollvik, S., Jansson, A., & Olsson, E. (2016). A high-resolution regional reanalysis for Europe. Part 2: 2D analysis of surface temperature, precipitation and wind. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 142(698), 2132-2142.
- Lang, R. (1915). Versuch einer exakten Klassifikation der Böden in klimatischer und geologischer Hinsicht. *Internationale Mitteilungen fuer Bodenkunde* 5, 312–346.
- Lang, R. (1920). *Verwitterung und Bodenbildung als Einführung in die Bodenkunde*. Stuttgart: Schweizerbart Science Publishers.
- Lungu, M., Panaitescu, L., & Niță, S. (2011). Aridity, climatic risk phenomenon in Dobrudja. *Present environment and sustainable development*, 5(1), 179-190.
- Maestre, F. T., Quero, J. L., Gotelli, N. J., Escudero, A., Ochoa, V., Delgado-Baquerizo, M., . . . García-Palacios, P. (2012). Plant species richness and ecosystem multifunctionality in global drylands. *Science*, 335(6065), 214-218.
- Maestre, F. T., Salguero-Gomez, R., & Quero, J. L. (2012). It is getting hotter in here: determining and projecting the impacts of global environmental change on drylands. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 366, 3062–3075.
- Matheron, G. (1962). Precision of exploring a stratified formation by boreholes with rigid spacing—application to a bauxite deposit. *Mining Research*, 407-422.
- Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., Van Vuuren, D. P., & Meehl, G. A. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463(7282), 747-756.
- Nastos, P. T., Politi, N., & Kapsomenakis, J. (2013). Spatial and temporal variability of the Aridity Index in Greece. *Atmospheric Research*, 119, 140-152.
- NOAA. (SD). *Did You Know? Drought vs. Aridity*. Obtido de NOAA: <https://www.ncdc.noaa.gov/monitoring-references/dyk/drought-aridity> [último acesso em 20/11/2020]
- Pal, J. S., Giorgi, F., & Bi, X. (2004). Consistency of recent European summer precipitation trends and extremes with future regional climate projections. *Geophysical Research Letters*, 31(13).
- Paltineanu, C., Mihailescu, I. F., Seceleanu, I., Dragota, C., & Vasenciuc, F. (2007). Using aridity indices to describe some climate and soil features in Eastern Europe: a Romanian case study. *Theoretical and applied climatology*, 90(3-4), 263-274.
- Paniagua, L. L., García-Martín, A., Moral, F. J., & Rebollo, J. F. (2019). Aridity in the Iberian Peninsula (1960–2017): distribution, tendencies, and changes. *Theoretical and Applied Climatology*, 138(1-2), 811-830.

- Pellicone, G., Caloiero, T., & Guagliardi, I. (2019). The De Martonne aridity index in Calabria (Southern Italy). *Journal of Maps*, 15(2), 788-796.
- Penman, H. L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceedings of the Royal Society of London. *Mathematical and Physical Sciences*, 193(1032), 120-145.
- Pereira, L. S., Cordery, I., & Iacovides, I. (2009). *Coping with water scarcity: Addressing the challenges*. Paris: Springer Science & Business Media.
- Pereira, L. S., Oweis, T., & Zairi, A. (2002). Irrigation management under water scarcity. *Agricultural water management*, 57(3), 175-206.
- Pereira, L. S., Paulo, A. A., & Rosa, R. D. (2012). Climate trends and behaviour of drought indices based on precipitation and evapotranspiration in Portugal. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, 1481-1491.
- Prescott, J. A. (1946). A climatic index. *Nature*, 157(3991), 555-555.
- Ramos, C. (2005). Hidrosfera e o ciclo hidrológico à escala global - Trabalho Prático. Em C. Ramos, *Programa de hidrogeografia* (pp. 42-46). Lisboa: Centro de Estudos Geográficos.
- Raynal, R. (1974). Réflexions Méthodologiques en vue d'une Typologie des Milieux. *Trav. du Lab. D'Ét. des Rég. Sèches, I, Univ. Louis Pasteur, Centre Géog. Appliq. Strasbourg*, 1-8.
- Reynolds, J. F., Maestre, F. T., Kemp, P. R., Stafford-Smith, D. M., & Lambin, E. (2007). Natural and Human Dimensions of Land Degradation in Drylands: Causes and Consequences. Em J. G. Canadell, D. E. Pataki, L. F. Pitelka, & (eds), *Terrestrial Ecosystems in a Changing World. Global Change — The IGBP Series* (pp. 247-257). Heidelberg: Springer.
- Reynolds, J. F., Smith, D. M., Lambin, E. F., Turner, B. L., Mortimore, M., Batterbury, S. P., . . . Huber-Sannwald, E. (2007). Global desertification: building a science for dryland development. *Science*, 316(5826), 847-851.
- Santos, M., Fonseca, A., Fragoso, M., & Santos, J. A. (2019). Recent and future changes in precipitation extremes in mainland Portugal. *Theoretical and Applied Climatology*, 137, 1305-1319.
- Santos, M., Fonseca, A., Fragoso, M., & Santos, J. A. (2019). Evolução recente e futura de índices de extremos de precipitação em Portugal continental. Em A. Ramos-Pereira, M. Leal, R. Bergonse, J. Trindade, & E. Reis, *Água e Território: um tributo a Catarina Ramos* (pp. 279-294). Lisboa: Centro de Estudos Geográficos, IGOT, Universidade de Lisboa.
- Soares, P. M., Cardoso, R. M., Lima, D. C., & Miranda, P. M. (2017). Future precipitation in Portugal: high-resolution projections using WRF model and EURO-CORDEX multi-model ensembles. *Climate Dynamics*, 49(7), 2503-2530.
- Stephen, J. (2005). Aridity Indexes. Em O. J. (eds), *Encyclopedia of World Climatology. Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Dordrecht: Springer. Obtido de Oliver J.E. (eds) *Encyclopedia of World Climatology. Encyclopedia of Earth Sciences Series*: [https://rd.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F1-4020-3266-8\\_17#howtocite](https://rd.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F1-4020-3266-8_17#howtocite) [último acesso em: 20/11/2020]

- Tabari, H., Talaei, P. H., Nadoushani, S. M., Willems, P., & Marchetto, A. (2014). A survey of temperature and precipitation based aridity indices in Iran. *Quaternary International*, 345, 158-166.
- Thornthwaite, C. W. (1933). The climates of the earth. *Geographical Review*, 23(3), 433-440.
- Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical review*, 38(1), 55-94.
- Thornthwaite, C. W., & Mather, J. R. (1957). Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Publications in Climatology*, X (3), 206-208, 230-240.
- Turc, L. (1955). Le bilan d'eau des sols: relations entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement. *Journées de l'hydraulique*, 3(1), 36-44.
- Vicente-Serrano, S. M., Cuadrat-Prats, J. M., & Romo, A. (2006). Aridity influence on vegetation patterns in the middle Ebro Valley (Spain): Evaluation by means of AVHRR images and climate interpolation techniques. *Journal of Arid Environments*, 66(2), 353-375.
- Vicente-Serrano, S. M., Zouber, A., Lasanta, T., & Pueyo, Y. (2012). Dryness is accelerating degradation of vulnerable shrublands in semiarid Mediterranean environments. *Ecological Monographs*, 82(4), 407-428.
- Wallén, C. C. (1967). Aridity definitions and their applicability. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 49(2-4), 367-384.
- Wendt, C. F., Nunes, A., Verble, R., Santini, G., Boieiro, M., & Branquinho, C. (2020). Using a space-for-time approach to select the best biodiversity-based indicators to assess the effects of aridity on Mediterranean drylands. *Ecological Indicators*, 113, 106250.
- Yang, W., Andréasson, J., Phil Graham, L., Olsson, J., Rosberg, J., Wetterhall, F., & Phil Graham, L., Olsson, J., Rosberg, J., & Wetter. (2010). Phil Graham, L., Olsson, J., Rosberg, J., & Wetterhall, F. (2010). Distribution-based scaling to improve usability of regional climate model projections for hydrological climate change impacts studies. *Hydrology Research*, 41(3-4), 211-229.



## Anexos

### Índice de Aridez de De Martonne

**Tabela 36** - Exemplo do cálculo do Índice de Aridez de De Martonne para o período de 1986–2015 na latitude 39° e longitudes -6,3° a -9,5°

Período	Longitude	Latitude	Precipitação Anual (P) em mm	Temperatura Média Anual (T) em °C	P/(T+10) [Índice de Aridez de De Martonne]
1986–2015	-9,5	39	0	0	0
1986–2015	-9,4	39	765,563	15,6701	29,82314054
1986–2015	-9,3	39	781,114	15,7801	30,29910668
1986–2015	-9,2	39	816,911	15,6606	31,83522599
1986–2015	-9,1	39	810,455	15,7514	31,47226947
1986–2015	-9	39	742,452	16,3017	28,22828943
1986–2015	-8,9	39	694,851	16,5695	26,1522046
1986–2015	-8,8	39	676,698	16,5434	25,49402111
1986–2015	-8,7	39	664,309	16,4362	25,12876283
1986–2015	-8,6	39	658,823	16,2534	25,09476868
1986–2015	-8,5	39	638,355	16,1775	24,38563652
1986–2015	-8,4	39	621,179	16,0929	23,80643777
1986–2015	-8,3	39	609,839	16,0082	23,44795103
1986–2015	-8,2	39	599,426	15,9724	23,07934577
1986–2015	-8,1	39	590,036	16,0271	22,67006313
1986–2015	-8	39	584,206	16,1283	22,35912784
1986–2015	-7,9	39	597,518	16,077	22,91360202
1986–2015	-7,8	39	591,696	16,1808	22,6003789
1986–2015	-7,7	39	588,216	16,2082	22,44396792
1986–2015	-7,6	39	589,291	16,1724	22,51574177
1986–2015	-7,5	39	593,054	16,073	22,74590573
1986–2015	-7,4	39	599,557	15,8872	23,16036497
1986–2015	-7,3	39	596,003	15,7481	23,14745554
1986–2015	-7,2	39	563,269	15,8406	21,79782977
1986–2015	-7,1	39	542,292	15,8751	20,95806393
1986–2015	-7	39	514,745	16,0777	19,73889568
1986–2015	-6,9	39	497,396	16,2403	18,95542353
1986–2015	-6,8	39	492,077	16,325	18,69238367
1986–2015	-6,7	39	492,234	16,3825	18,657595
1986–2015	-6,6	39	501,376	16,3781	19,00728256
1986–2015	-6,5	39	509,652	16,4027	19,30302583
1986–2015	-6,4	39	517,581	16,4052	19,60148001
1986–2015	-6,3	39	537,484	16,259	20,46856316

## Índice de Aridez de Emberger

**Tabela 37** - Exemplo do cálculo do Índice de Aridez de Emberger para o período de 1986–2015 na latitude 39° e longitudes -8° a -9,5°

Período	Longitude	Latitude	Precipitação Anual (P) em mm	Temperatura do Mês Mais Quente (MMQ) em °C	Temperatura do Mês Mais Frio (MMF) em °C	P*100	MMQ+MMF	MMQ-MMF	P*100/ (MMQ+MMF) * (MMQ-MMF) [Índice de Aridez de Emberger]
1985-2015	-9,5	39	0	0	0	0	0	0	0
1985-2015	-9,4	39	765,563	23,9351	9,19859	76556,3	33,13369	14,73651	156,7893241
1985-2015	-9,3	39	781,114	24,9759	8,52629	78111,4	33,50219	16,44961	141,7377775
1985-2015	-9,2	39	816,911	25,8506	7,52174	81691,1	33,37234	18,32886	133,5526871
1985-2015	-9,1	39	810,455	27,0722	6,68024	81045,5	33,75244	20,39196	117,7510427
1985-2015	-9	39	742,452	28,9834	6,23325	74245,2	35,21665	22,75015	92,66934127
1985-2015	-8,9	39	694,851	30,3157	5,73455	69485,1	36,05025	24,58115	78,41176129
1985-2015	-8,8	39	676,698	30,978	5,23055	67669,8	36,20855	25,74745	72,58544371
1985-2015	-8,7	39	664,309	31,3787	4,81053	66430,9	36,18923	26,56817	69,09222077
1985-2015	-8,6	39	658,823	31,5732	4,43612	65882,3	36,00932	27,13708	67,42030566
1985-2015	-8,5	39	638,355	31,8631	4,21304	63835,5	36,07614	27,65006	63,99501169
1985-2015	-8,4	39	621,179	32,0336	4,06998	62117,9	36,10358	27,96362	61,52804346
1985-2015	-8,3	39	609,839	32,0777	4,01668	60983,9	36,09438	28,06102	60,2104891
1985-2015	-8,2	39	599,426	32,115	4,07807	59942,6	36,19307	28,03693	59,07173087
1985-2015	-8,1	39	590,036	32,2233	4,25995	59003,6	36,48325	27,96335	57,83567285
1985-2015	-8	39	584,206	32,3399	4,53222	58420,6	36,87212	27,80768	56,9774682

## Índice de Aridez de Bagnouls-Gaussen

**Tabela 38** - Exemplo do cálculo dos Dias Secos e sua percentagem para o mês de Fevereiro no período de 1986–2015 na latitude 42,1° e longitude -6,9°

Período	Longitude	Latitude	Temperatura Média Diária (T) em °C	Precipitação Média Diária (P) em mm	2T-P>0	Dias Secos
01/02/1986–2015	-6,9	42,1	1,11361	5,20832	-2,9811	0
02/02/1986–2015	-6,9	42,1	1,28292	4,42086	-1,85502	0
03/02/1986–2015	-6,9	42,1	1,40438	4,12604	-1,31728	0
04/02/1986–2015	-6,9	42,1	1,0951	4,0112	-1,821	0
05/02/1986–2015	-6,9	42,1	1,42655	5,38137	-2,52827	0
06/02/1986–2015	-6,9	42,1	1,69658	5,1897	-1,79654	0
07/02/1986–2015	-6,9	42,1	1,84037	5,03853	-1,35779	0
08/02/1986–2015	-6,9	42,1	2,07984	2,98568	<b>1,174</b>	<b>1</b>
09/02/1986–2015	-6,9	42,1	1,73424	4,39138	-0,9229	0
10/02/1986–2015	-6,9	42,1	1,53971	2,74346	<b>0,33596</b>	<b>1</b>
11/02/1986–2015	-6,9	42,1	1,87954	3,83115	-0,07207	0
12/02/1986–2015	-6,9	42,1	1,83457	2,88008	<b>0,78906</b>	<b>1</b>
13/02/1986–2015	-6,9	42,1	2,02991	4,2247	-0,16488	0
14/02/1986–2015	-6,9	42,1	2,48102	2,5562	<b>2,40584</b>	<b>1</b>
15/02/1986–2015	-6,9	42,1	2,49376	2,29252	<b>2,695</b>	<b>1</b>
16/02/1986–2015	-6,9	42,1	1,8609	5,00113	-1,27933	0
17/02/1986–2015	-6,9	42,1	1,85039	4,65103	-0,95025	0
18/02/1986–2015	-6,9	42,1	1,6183	3,17371	<b>0,06289</b>	<b>1</b>
19/02/1986–2015	-6,9	42,1	1,59204	1,97524	<b>1,20884</b>	<b>1</b>
20/02/1986–2015	-6,9	42,1	1,88866	3,62181	<b>0,15551</b>	<b>1</b>
21/02/1986–2015	-6,9	42,1	2,19029	3,46316	<b>0,91742</b>	<b>1</b>
22/02/1986–2015	-6,9	42,1	2,33369	5,17282	-0,50544	0
23/02/1986–2015	-6,9	42,1	2,59902	5,57814	-0,3801	0
24/02/1986–2015	-6,9	42,1	2,45623	7,05369	-2,14123	0
25/02/1986–2015	-6,9	42,1	2,86429	4,55736	<b>1,17122</b>	<b>1</b>
26/02/1986–2015	-6,9	42,1	2,59138	5,07969	<b>0,10307</b>	<b>1</b>
27/02/1986–2015	-6,9	42,1	2,67046	4,12528	<b>1,21564</b>	<b>1</b>
28/02/1986–2015	-6,9	42,1	2,77965	5,27393	<b>0,28537</b>	<b>1</b>
%						0,464285714 %

Tabela 39 - Exemplo do cálculo do Índice de Aridez de Bagnouls-Gaussen para o mês de Fevereiro no período de 1986–2015 na latitude 42,1° e longitudes -6,3° a -9,5°

Período (Fevereiro)	Longitude	Latitude	Temperatura Média Mensal (T) em °C	Precipitação Média Mensal (P) em mm	% de Dias Secos	2*T-P	(2*T-P) * % de Dias Secos [BGI]
1985-2015	-9,5	42,1	0	0	0	0	0
1985-2015	-9,4	42,1	0	0	0	0	0
1985-2015	-9,3	42,1	0	0	0	0	0
1985-2015	-9,2	42,1	0	0	0	0	0
1985-2015	-9,1	42,1	0	0	0	0	0
1985-2015	-9	42,1	0	0	0	0	0
1985-2015	-8,9	42,1	9,51766	146,336	1	-127,301	-127,30068
1985-2015	-8,8	42,1	9,75595	144,089	1	-124,577	-124,5771
1985-2015	-8,7	42,1	9,50622	145,725	1	-126,713	-126,71256
1985-2015	-8,6	42,1	10,2045	135,909	1	-115,5	-115,5
1985-2015	-8,5	42,1	10,2213	131,746	1	-111,303	-111,3034
1985-2015	-8,4	42,1	9,49254	133,053	1	-114,068	-114,06792
1985-2015	-8,3	42,1	9,02239	127,868	1	-109,823	-109,82322
1985-2015	-8,2	42,1	7,30377	132,243	1	-117,635	-117,63546
1985-2015	-8,1	42,1	6,24805	128,382	1	-115,886	-115,8859
1985-2015	-8	42,1	6,01326	114,496	1	-102,469	-102,46948
1985-2015	-7,9	42,1	5,9938	99,1855	1	-87,1979	-87,1979
1985-2015	-7,8	42,1	5,97991	86,6386	1	-74,6788	-74,67878
1985-2015	-7,7	42,1	5,89051	80,0737	1	-68,2927	-68,29268
1985-2015	-7,6	42,1	5,29521	84,4316	1	-73,8412	-73,84118
1985-2015	-7,5	42,1	5,14275	88,2134	1	-77,9279	-77,9279
1985-2015	-7,4	42,1	3,94998	103,695	1	-95,795	-95,79504
1985-2015	-7,3	42,1	3,94557	107,138	1	-99,2469	-99,24686
1985-2015	-7,2	42,1	4,40834	103,442	1	-94,6253	-94,62532
1985-2015	-7,1	42,1	4,05653	105,542	1	-97,4289	-97,42894
1985-2015	-7	42,1	2,96463	113,117	0,928571429	-107,188	-99,53147286
1985-2015	-6,9	42,1	1,98013	118,049	0,464285714	-114,089	-52,96977214
1985-2015	-6,8	42,1	1,79354	113,141	0,357142857	-109,554	-39,1264
1985-2015	-6,7	42,1	3,45964	88,1839	1	-81,2646	-81,26462
1985-2015	-6,6	42,1	3,34402	80,1042	1	-73,4162	-73,41616
1985-2015	-6,5	42,1	3,42824	72,2134	1	-65,3569	-65,35692
1985-2015	-6,4	42,1	3,61616	64,685	1	-57,4527	-57,45268
1986–2015	-6,3	42,1	4,09738	54,7964	1	-46,6016	-46,60164

**Tabela 40** - Exemplo do cálculo do Índice de Aridez de Bagnouls-Gaussen para o período de 1986–2015 na latitude 42,1° e longitudes -8° a -9,5° (os valores negativos passam a valer 0)

Período	Longitude	Latitude	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Resultado [Índice de Aridez de Bagnouls- Gaussen]
1985-2015	-9,5	42,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1985-2015	-9,4	42,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1985-2015	-9,3	42,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1985-2015	-9,2	42,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1985-2015	-9,1	42,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1985-2015	-9	42,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1985-2015	-8,9	42,1	0	0	0	0	0	0	0,0789	0	0	0	0	0	0,0789
1985-2015	-8,8	42,1	0	0	0	0	0	0	2,4148	0	0	0	0	0	2,4148
1985-2015	-8,7	42,1	0	0	0	0	0	0	3,7371	0	0	0	0	0	3,7371
1985-2015	-8,6	42,1	0	0	0	0	0	0	9,9508	3,7384	0	0	0	0	13,6892
1985-2015	-8,5	42,1	0	0	0	0	0	0	13,7735	7,5164	0	0	0	0	21,2899
1985-2015	-8,4	42,1	0	0	0	0	0	0	14,1829	8,0501	0	0	0	0	22,233
1985-2015	-8,3	42,1	0	0	0	0	0	0	15,4491	9,4818	0	0	0	0	24,9309
1985-2015	-8,2	42,1	0	0	0	0	0	0	11,6036	6,1369	0	0	0	0	17,7405
1985-2015	-8,1	42,1	0	0	0	0	0	0	10,492	5,6034	0	0	0	0	16,0954
1985-2015	-8	42,1	0	0	0	0	0	0	12,8552	8,7155	0	0	0	0	21,5707

## Índice de Aridez de Thornthwaite

**Tabela 41** - Exemplo do cálculo do Índice de Humidade ( $I_h$ ) para o período de 1986–2015 na latitude 39° e longitudes -6,3° a -9,5°

Período	Longitude	Latitude	Evapotranspiração Potencial (ETP) em mm	Superavit (S) em mm	(100*S) / ETP [ $I_h$ ]
1986–2015	-9,5	39	0	0	0
1986–2015	-9,4	39	776,318	228,837	29,47723
1986–2015	-9,3	39	782,9227	250,8602	32,04151
1986–2015	-9,2	39	779,9037	294,0763	37,70675
1986–2015	-9,1	39	786,2276	297,381	37,82378
1986–2015	-9	39	814,64	241,4022	29,633
1986–2015	-8,9	39	830,1756	203,0459	24,45818
1986–2015	-8,8	39	830,0489	190,6955	22,974
1986–2015	-8,7	39	826,002	182,7477	22,12436
1986–2015	-8,6	39	819,1897	180,1959	21,99684
1986–2015	-8,5	39	818,9636	164,5337	20,09047
1986–2015	-8,4	39	818,6447	153,0997	18,7016
1986–2015	-8,3	39	817,9444	146,0992	17,86175
1986–2015	-8,2	39	818,7657	139,9085	17,08773
1986–2015	-8,1	39	822,9003	133,8744	16,2686
1986–2015	-8	39	828,6316	130,2376	15,71719
1986–2015	-7,9	39	826,9391	142,2658	17,2039
1986–2015	-7,8	39	836,2365	137,7762	16,47575
1986–2015	-7,7	39	843,8815	134,5956	15,94959
1986–2015	-7,6	39	848,8804	135,2038	15,92731
1986–2015	-7,5	39	849,8759	139,024	16,35815
1986–2015	-7,4	39	844,6753	147,8221	17,50047
1986–2015	-7,3	39	840,5314	148,2321	17,63552
1986–2015	-7,2	39	847,9397	124,2684	14,65534
1986–2015	-7,1	39	850,8023	109,3458	12,85208
1986–2015	-7	39	862,7258	87,34469	10,12427
1986–2015	-6,9	39	872,1478	73,1828	8,391101
1986–2015	-6,8	39	877,1616	68,8297	7,846866
1986–2015	-6,7	39	881,2835	68,1234	7,730021
1986–2015	-6,6	39	882,211	73,16528	8,2934
1986–2015	-6,5	39	885,7715	77,57858	8,758306
1986–2015	-6,4	39	888,6542	83,51765	9,398217
1986–2015	-6,3	39	882,2045	99,92119	11,32631

**Tabela 42** - Exemplo do cálculo do Índice de Aridez ( $I_a$ ) para o período de 1986–2015 na latitude 39° e longitudes - 6,3° a -9,5°

Período	Longitude	Latitude	Evapotranspiração Potencial (ETP) em mm	Défice (D) em mm	(100*D) / ETP [ $I_a$ ]
1986–2015	-9,5	39	0	0	0
1986–2015	-9,4	39	776,318	239,5918	30,86258
1986–2015	-9,3	39	782,9227	252,6684	32,27246
1986–2015	-9,2	39	779,9037	257,0697	32,96172
1986–2015	-9,1	39	786,2276	273,1531	34,74225
1986–2015	-9	39	814,64	313,5897	38,49426
1986–2015	-8,9	39	830,1756	338,3704	40,7589
1986–2015	-8,8	39	830,0489	344,0459	41,44887
1986–2015	-8,7	39	826,002	344,4398	41,69964
1986–2015	-8,6	39	819,1897	340,5633	41,57319
1986–2015	-8,5	39	818,9636	345,1423	42,14379
1986–2015	-8,4	39	818,6447	350,5654	42,82266
1986–2015	-8,3	39	817,9444	354,2051	43,3043
1986–2015	-8,2	39	818,7657	359,2481	43,87679
1986–2015	-8,1	39	822,9003	366,7392	44,56666
1986–2015	-8	39	828,6316	374,663	45,21467
1986–2015	-7,9	39	826,9391	371,6864	44,94726
1986–2015	-7,8	39	836,2365	382,3168	45,71874
1986–2015	-7,7	39	843,8815	390,2605	46,24589
1986–2015	-7,6	39	848,8804	394,7934	46,50754
1986–2015	-7,5	39	849,8759	395,8459	46,5769
1986–2015	-7,4	39	844,6753	392,9399	46,51964
1986–2015	-7,3	39	840,5314	392,7607	46,72766
1986–2015	-7,2	39	847,9397	408,9396	48,22743
1986–2015	-7,1	39	850,8023	417,8557	49,11313
1986–2015	-7	39	862,7258	435,325	50,45925
1986–2015	-6,9	39	872,1478	447,9352	51,36001
1986–2015	-6,8	39	877,1616	453,9143	51,74808
1986–2015	-6,7	39	881,2835	457,1729	51,8758
1986–2015	-6,6	39	882,211	454,0005	51,46166
1986–2015	-6,5	39	885,7715	453,6984	51,2207
1986–2015	-6,4	39	888,6542	454,5913	51,15503
1986–2015	-6,3	39	882,2045	444,6412	50,40115

**Tabela 43** - Exemplo do cálculo do Índice de Aridez de Thornthwaite (Índice Geral de Humidade) para o período de 1986–2015 na latitude 39° e longitudes -6,3° a -9,5°

Período	Longitude	Latitude	$I_h$	$I_a$	$I_h - (I_a * 0,6)$ [Índice Geral de Humidade]
1986–2015	-9,5	39	0	0	0
1986–2015	-9,4	39	29,47723	30,86258	10,95967746
1986–2015	-9,3	39	32,04151	32,27246	12,67802703
1986–2015	-9,2	39	37,70675	32,96172	17,92971618
1986–2015	-9,1	39	37,82378	34,74225	16,97843445
1986–2015	-9	39	29,633	38,49426	6,536438041
1986–2015	-8,9	39	24,45818	40,7589	0,002843237
1986–2015	-8,8	39	22,974	41,44887	-1,895315882
1986–2015	-8,7	39	22,12436	41,69964	-2,895418887
1986–2015	-8,6	39	21,99684	41,57319	-2,947072032
1986–2015	-8,5	39	20,09047	42,14379	-5,195801706
1986–2015	-8,4	39	18,7016	42,82266	-6,991990947
1986–2015	-8,3	39	17,86175	43,3043	-8,120827286
1986–2015	-8,2	39	17,08773	43,87679	-9,238340159
1986–2015	-8,1	39	16,2686	44,56666	-10,47139685
1986–2015	-8	39	15,71719	45,21467	-11,41160789
1986–2015	-7,9	39	17,2039	44,94726	-9,764451463
1986–2015	-7,8	39	16,47575	45,71874	-10,95549715
1986–2015	-7,7	39	15,94959	46,24589	-11,79795002
1986–2015	-7,6	39	15,92731	46,50754	-11,97721642
1986–2015	-7,5	39	16,35815	46,5769	-11,587989
1986–2015	-7,4	39	17,50047	46,51964	-10,41131584
1986–2015	-7,3	39	17,63552	46,72766	-10,4010768
1986–2015	-7,2	39	14,65534	48,22743	-14,28112132
1986–2015	-7,1	39	12,85208	49,11313	-16,61579694
1986–2015	-7	39	10,12427	50,45925	-20,15128008
1986–2015	-6,9	39	8,391101	51,36001	-22,42490428
1986–2015	-6,8	39	7,846866	51,74808	-23,20198312
1986–2015	-6,7	39	7,730021	51,8758	-23,39545734
1986–2015	-6,6	39	8,2934	51,46166	-22,58359921
1986–2015	-6,5	39	8,758306	51,2207	-21,97411385
1986–2015	-6,4	39	9,398217	51,15503	-21,29480248
1986–2015	-6,3	39	11,32631	50,40115	-18,91438364