



ESTUDO DE VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA A AGRICULTURA NO VALE DO TEJO E OESTE

ANEXO 1 – Análise dos dados de Precipitação e ET0

Valorização dos Recursos Hídricos para a
Agricultura no Vale do Tejo e Oeste

Revisão 0

Lisboa, 31 de outubro de 2024



PROGRAMA DE
DESENVOLVIMENTO
RURAL 2014-2020



ANEXO 1 – Análise dos dados de Precipitação e ET0

Valorização dos Recursos Hídricos para a Agricultura no Vale do Tejo e Oeste

ESTUDO DE VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA A AGRICULTURA NO VALE DO TEJO E OESTE

Folha em branco

ANEXO 1 – Análise dos dados de Precipitação e ET0

Valorização dos Recursos Hídricos para a Agricultura no Vale do Tejo e Oeste

ESTUDO DE VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA A AGRICULTURA NO VALE DO TEJO E OESTE

REVISÃO	DATA	DESCRIÇÃO
0	31/10/2024	Emissão inicial

ANEXO 1 – Análise dos dados de Precipitação e ET0

Valorização dos Recursos Hídricos para a Agricultura no Vale do Tejo e Oeste

ESTUDO DE VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA A AGRICULTURA NO VALE DO TEJO E OESTE

Folha em branco



VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA A AGRICULTURA NO VALE DO TEJO E OESTE

ESTUDO DE VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA A AGRICULTURA NO VALE DO TEJO E OESTE

ANEXO 1 – ANÁLISE DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO E ET0

ÍNDICE GERAL

1	INTRODUÇÃO	1
2	METODOLOGIA	1
2.1	FONTES DE DADOS	1
2.1.1	IPMA 2000-2020	1
2.1.2	IBERIA01 1970-2015	1
2.2	INTERPOLAÇÃO IPMA 2002-2020	2
2.3	CÁLCULO DA ET0	5
2.3.1	MOHID LAND	5
2.3.2	ET0 CALCULATOR DA FAO	5
2.4	NUT III	6
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	7
3.1	PRECIPITAÇÃO	7
3.1.1	PADRÃO (IBERIA01, 2002-2015)	7
3.1.2	PADRÃO (IBERIA01, 2002-2015) VS IBERIA01 1971-2015	10
3.1.3	PADRÃO (IBERIA01, 2002-2015) VS INTERPOLAÇÃO PCP 2000-2020	13
3.2	VENTO, HUMIDADE RELATIVA, RADIAÇÃO SOLAR E TEMPERATURA	17
3.2.1	PADRÃO (2002-2020)	17
3.2.2	PADRÃO VS MENOS UMA ESTAÇÃO POR NUT III	29
3.2.3	PADRÃO VS TEMPERATURA DO IBERIA01	30
3.3	ET0	31
3.3.1	PADRÃO (2002-2020)	31
3.3.2	PADRÃO VS MENOS UMA ESTAÇÃO POR NUT II	32
3.3.3	ET0 2002-2011 VS ET0 2011-2020	34
4	CONCLUSÕES	37
5	BIBLIOGRAFIA	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Extensão e localização espacial das estações meteorológicas IPMA disponibilizadas.....	4
Figura 2 - Evolução temporal do número de postos udométricos considerados na construção da base de dados Iberia01 na área das bacias de estudo em Portugal.	2
Figura 3 - Evolução temporal do número de postos udométricos considerados na construção da base de dados Iberia01 na área das bacias de estudo em Portugal.	2
Figura 4 - Representação da área de estudo (a rosa), as estações meteorológicas IPMA (a verde) e a extensão da malha de cálculo do ET0 (a azul claro).	3
Figura 5 - Temperatura do ar produzida pelo “FillMatrix” (°C) para 1 de Janeiro de 2003 (à esquerda) e para 1 de Julho de 2003 (à direita), triangulada a partir das estações meteorológicas do IPMA representadas como pontos roxos. Enquadramento com área de estudo (perímetro vermelho).	4
Figura 6 - Séries temporais de ET0, linha laranja corresponde ao resultado obtido pela ferramenta “ET0 Calculator” da FAO e linha azul representa o ET0 calculado pelo MOHID Land para a estação 1210690 - Aldeia do Souto.....	6
Figura 7 – Área de estudo (a cinzento) e a distribuição das unidades territoriais de nível 3 (NUT III) em Portugal Continental.....	7
Figura 8 - Variação das precipitações médias mensais da base de dados Iberia01 no período de 2003 a 2015 para as NUTS III na área de estudo.....	9
Figura 9 - Variação das precipitações médias anuais da base de dados Iberia01 no período de 2002 a 2015 para as NUTS III na área de estudo.....	10
Figura 10 - Comparação entre os valores de precipitação média mensal da base de dados Iberia01 agregada em NUTS III para o período completo (1971-2015) e para o período 2002-2015.....	11
Figura 11 - Precipitação anual média por região para a precipitação Iberia01 para o período completo (1971-2015) e padrão (2002 e 2015).	12
Figura 12 - Comparação entre os valores de precipitação média mensal da base de dados Iberia01 e dados observados pelo IPMA agregados em NUTS III para o período de 2002 a 2015.....	13
Figura 13 - Precipitação anual média por região para a precipitação Iberia01 para o período padrão (2002 e 2015) e interpolação das precipitações observadas pelo IPMA no mesmo período.....	15

Figura 14 - Comparação entre valores mensais de precipitação para a série padrão e a série preenchida do IPMA para o período de 2002 a 2015 nas regiões demarcadas pelas NUT III.	16
Figura 15 - Comparação entre valores mensais de precipitação para a série padrão e a série preenchida do IPMA para o período de 2002 a 2015 nas estações IPMA	16
Figura 16 - Gráfico de valores de temperatura média mensal (°C) nas regiões demarcadas pelas NUT III, agregados a partir das leituras das estações meteorológicas do IPMA.....	18
Figura 17 - Gráfico de valores de radiação solar média mensal (W/m ²) nas regiões demarcadas pelas NUT III, agregados a partir das leituras das estações meteorológicas do IPMA.....	19
Figura 18 - Gráfico de valores de humidade relativa média mensal (-) nas regiões demarcadas pelas NUT III, agregados a partir das leituras das estações meteorológicas do IPMA.....	20
Figura 19 - Gráfico de valores de velocidade do vento média mensal a 2 metros de altura (m/s) nas regiões demarcadas pelas NUT III, agregados a partir das leituras das estações meteorológicas do IPMA.....	21
Figura 20 - Representação gradual de cores para a média anual de temperatura do ar (°C) de 2003 a 2020 para as NUTS III que intercetam a área de estudo.	22
Figura 21 - Representação gradual de cores para a média anual de radiação solar (W/m ²) de 2003 a 2020 para as NUTS III que intercetam a área de estudo.....	22
Figura 22 - Representação gradual de cores para a média anual de humidade relativa (-) de 2003 a 2020 para as NUTS III que intercetam a área de estudo.....	23
Figura 23 - Representação gradual de cores para a média anual de velocidade do vento a 2 metros de altura (m/s) de 2003 a 2020 para as NUTS III que intercetam a área de estudo.	23
Figura 24 - Gráficos de dispersão das propriedades meteorológicas usadas para o cálculo do ET0, comparadas com o disponibilizado pelo modelo GFS na estação 1210690 - Aldeia do Souto.....	25
Figura 25 - Gráficos de dispersão das propriedades meteorológicas usadas para o cálculo do ET0, comparadas com o disponibilizado pelo modelo GFS na estação 1210716 – Ansião.....	26
Figura 26 - Gráficos de dispersão das propriedades meteorológicas usadas para o cálculo do ET0, comparadas com o disponibilizado pelo modelo GFS na estação 1210724 - Tomar.....	27

Figura 27 - Gráficos de dispersão das propriedades meteorológicas usadas para o cálculo do ET0, comparadas com o disponibilizado pelo modelo GFS na estação 1210767 - Pegões.28

Figura 28 - Gráficos de dispersão das propriedades meteorológicas usadas para o cálculo do ET0, comparadas com o disponibilizado pelo modelo GFS na estação 1210773 - Almada.29

Figura 29 - Gráficos de dispersão das leituras meteorológicas usadas para o cálculo do ET0 na célula da estação 1210724 – Tomar - comparadas com os resultados interpolados para as mesmas propriedades na mesma célula num cenário de inexistência da mesma estação.30

Figura 30 - Gráfico de valores de evapotranspiração de referência média mensal (mm/mês) nas regiões demarcadas pelas NUT III, agregados a partir das leituras das estações meteorológicas do IPMA. Cálculo feito a partir das leituras dos parâmetros meteorológicos do IPMA.31

Figura 31 - Representação gradual de cores para a média anual de evapotranspiração de referência (mm/ano) de 2002 a 2020 para as NUTS III que intercetam a área de estudo.32

Figura 32 - Gráfico de dispersão para a correlação da evapotranspiração calculada pelas propriedades lidas pela estação 1210724 - Tomar - com a evapotranspiração calculada por triangulação na mesma célula.33

Figura 33 - Séries temporais de ET0 calculado na célula da localização da estação 1210724, para o produto final que inclui as propriedades lidas pela estação meteorológica (azul), comparando um cenário em que a evapotranspiração de referência foi calculada para a mesma célula por triangulação das estações vizinhas (laranja).34

Figura 34 - Evolução media da evapotranspiração de referência acumulada mensal para as NUT III que intercetam a área e estudo. Comparação (linha completa e linha tracejada) entre o período de Setembro de 2002 a Agosto de 2011 e Setembro de 2011 a Dezembro de 2020.35

Figura 35 – Evapotranspiração de referência anual média por região agregada pelas estações meteorológicas do IPMA para o período de Setembro de 2002 a Agosto de 2011 (à esquerda) e para o período de Setembro de 2011 a Dezembro de 2020 (à direita). ..37

Figura 36 - Gráfico de barras da evapotranspiração acumulada anual média para o período de Setembro de 2002 a Agosto de 2011 (barras azuis) e para o período de Setembro de 2011 a Dezembro de 2020 (a laranja).37

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição dos parâmetros meteorológicos disponibilizados pelo IPMA.	2
Tabela 2 - Estações meteorológicas IPMA e as suas coordenadas para os quais dados meteorológicos foram disponibilizados.....	3
Tabela 3 - Dias com dados em falta em percentagem (%) do total disponibilizado pelo IPMA como série temporal.	5
Tabela 4 - Principais características da base de dados Iberia01.....	1
Tabela 5 – Precipitações médias mensais da base de dados Iberia01 no período de 2003 a 2015 para as NUTS III na área de estudo	9
Tabela 6 – Precipitações médias mensais da base de dados Iberia01 no período de 1971 a 2015 para as NUTS III na área de estudo	11
Tabela 7 – Precipitações médias observadas pelo IPMA agregadas em NUTS III para o período de 2002 a 2015.....	14
Tabela 8 – Tabela de temperaturas médias mensais (°C) nas regiões demarcadas pelas NUT III, agregadas a partir das leituras das estações meteorológicas do IPMA, assim como a média aritmética espacial entre regiões NUT III para a mesma propriedade.	18
Tabela 9 - Tabela de radiação solar média mensal (W/m ²) nas regiões demarcadas pelas NUT III, agregada a partir das leituras das estações meteorológicas do IPMA, assim como a média aritmética espacial entre regiões NUT III para a mesma propriedade.	19
Tabela 10 - Tabela de humidade relativa média mensal (-) nas regiões demarcadas pelas NUT III, agregada a partir das leituras das estações meteorológicas do IPMA, assim como a média aritmética espacial entre regiões NUT III para a mesma propriedade.	20
Tabela 11 - Tabela de velocidade do vento média mensal a 2 metros de altura (m/s) nas regiões demarcadas pelas NUT III, agregadas a partir das leituras das estações meteorológicas do IPMA, assim como a média aritmética espacial entre regiões NUT III para a mesma propriedade.....	21
Tabela 12 - Média Anual (2003-2020) das propriedades usadas no cálculo da evapotranspiração de referência, temperatura do ar, humidade relativa, velocidade do vento e radiação solar, para todas as NUT III que intercetam a área de estudo.....	24
Tabela 13 - Tabela de evapotranspiração de referência acumulada mensal (mm/mês) nas regiões demarcadas pelas NUT III, agregadas a partir das leituras das estações meteorológicas do IPMA, assim como a média aritmética espacial entre regiões NUT III para a mesma propriedade.....	31

ANEXO 1 – Análise dos dados de Precipitação e ET0

Valorização dos Recursos Hídricos para a Agricultura no Vale do Tejo e Oeste

ESTUDO DE VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA A AGRICULTURA NO VALE DO TEJO E OESTE

Tabela 14 - Valores de evapotranspiração de referência acumulada mensal para as NUT III que intercetam a área de estudo para todos os meses médios do ano durante do período de Setembro de 2002 a Agosto de 2011.35

Tabela 15 - Valores de evapotranspiração de referência acumulada mensal para as NUT III que intercetam a área de estudo para todos os meses médios do ano durante do período de Setembro de 2011 a Dezembro de 2020.....35



VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA A AGRICULTURA NO VALE DO TEJO E OESTE

ANEXO 1 – ANÁLISE DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO E ETO

1 INTRODUÇÃO

A precipitação e a evapotranspiração de referência são parâmetros de base que vão determinar as necessidades de água das culturas. A falta de continuidade espacial e temporal nos dados disponíveis obriga a diferentes agregações espaciais e temporais, para obter conjuntos de dados coerentes e contínuos no espaço e no tempo. Por outro lado, verifica-se que em função da agregação destes dados, podem obter-se diferentes tendências quer na precipitação quer na evapotranspiração. Este documento pretende quantificar o impacto que cada uma das agregações, origina nos valores médios destes parâmetros.

Este documento apresenta conjuntos de dados denominados por padrão (na lógica de poderem ser um padrão para os cálculos de necessidades de água) caracterizados por: i) agregação temporal e ii) fonte de dados. Estes conjuntos de dados padrão foram comparados com outros conjuntos de dados de modo a avaliar o impacto das agregações escolhidas no resultado final.

2 METODOLOGIA

2.1 FONTES DE DADOS

2.1.1 IPMA 2000-2020

Para efeito do cálculo da evapotranspiração de referência, o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) disponibilizou os parâmetros climáticos descritos na Tabela 1 para as 24 estações meteorológicas listadas na Tabela 2 e ilustradas na Figura 1. A altura da medição do vento não é indicada e, como tal, foi assumida a 10 metros.

ANEXO 1 – Análise dos dados de Precipitação e ETO

Valorização dos Recursos Hídricos para a Agricultura no Vale do Tejo e Oeste

ESTUDO DE VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA A AGRICULTURA NO VALE DO TEJO E OESTE

Tabela 1 - Descrição dos parâmetros meteorológicos disponibilizados pelo IPMA.

<i>Nome</i>	<i>Unidade</i>	<i>Descrição</i>
T_MED	°C	Temperatura média do ar a 1,5m
TAR_MAX	°C	Temperatura máxima do ar a 1,5m
TAR_MIN	°C	Temperatura mínima do ar a 1,5m
HR_MED	%	Humidade relativa média
DD_MED	°	Rumo médio do vento
DD_FF_MAX	°	Rumo do vento máximo
DD_PRE	-	Direção do vento
FF_MED	m/s	Intensidade média do vento
FF_MAX	m/s	Intensidade máxima instantânea do vento
PR_QTD	mm	Quantidade de precipitação
RG_TOT	KJ/m2	Radiação global total

De referir que as séries temporais climáticas disponibilizadas apresentam falhas de leitura nalguns períodos específicos. A Tabela 3 apresenta, em percentagem, essa taxa de insuficiência de dados, onde se pode observar que algumas estações apresentam falhas de leitura mais notáveis que outras. Por exemplo a estação 1210826, para todas as propriedades, não apresenta mais do que 67% dos dados em relação ao período completo. Outras estações, pelo contrário, como a 1210766, apresentam uma série temporal para todas as propriedades bastante completa, se bem que com algumas falhas pontuais.

Esta informação complementa a escolha da metodologia apresentada neste documento, uma vez que foi criada também para lidar com leituras incompletas e/ou anómalas.

ANEXO 1 – Análise dos dados de Precipitação e ETO

Valorização dos Recursos Hídricos para a Agricultura no Vale do Tejo e Oeste

ESTUDO DE VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA A AGRICULTURA NO VALE DO TEJO E OESTE

Tabela 2 - Estações meteorológicas IPMA e as suas coordenadas para os quais dados meteorológicos foram disponibilizados.

<i>Nº da Estação</i>	<i>Estações</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>
1200535	<i>Lisboa Geofísico</i>	<i>38.719078</i>	<i>-9.149722</i>
1200568	<i>Penhas Douradas</i>	<i>40.411367</i>	<i>-7.558653</i>
1200570	<i>Castelo Branco</i>	<i>39.839500</i>	<i>-7.478669</i>
1200571	<i>Portalegre</i>	<i>39.294183</i>	<i>-7.421317</i>
1200579	<i>Lisboa - Gago Coutinho</i>	<i>38.766174</i>	<i>-9.127502</i>
1210687	<i>Covilhã</i>	<i>40.264347</i>	<i>-7.482208</i>
1210690	<i>Aldeia do Souto</i>	<i>40.354258</i>	<i>-7.389311</i>
1210698	<i>Fundão</i>	<i>40.140636</i>	<i>-7.503628</i>
1210716	<i>Ansião</i>	<i>39.897560</i>	<i>-8.409968</i>
1210724	<i>Tomar</i>	<i>39.592112</i>	<i>-8.373948</i>
1210729	<i>Rio Maior</i>	<i>39.313938</i>	<i>-8.923602</i>
1210734	<i>Santarém - Fonte Boa</i>	<i>39.201304</i>	<i>-8.736811</i>
1210744	<i>Coruche</i>	<i>38.941635</i>	<i>-8.513120</i>
1210762	<i>Lisboa Tapada d'Ajuda</i>	<i>38.709656</i>	<i>-9.182759</i>
1210766	<i>Barreiro Lavradio</i>	<i>38.674505</i>	<i>-9.047624</i>
1210767	<i>Pegões</i>	<i>38.650794</i>	<i>-8.635025</i>
1210770	<i>Setúbal</i>	<i>38.548460</i>	<i>-8.890771</i>
1210773	<i>Almada</i>	<i>38.616984</i>	<i>-9.212867</i>
1210803	<i>Zebreira</i>	<i>39.866667</i>	<i>-7.016667</i>
1210806	<i>Proença-a-Nova</i>	<i>39.733410</i>	<i>-7.875460</i>
1210812	<i>Alvega</i>	<i>39.461072</i>	<i>-8.026980</i>
1210824	<i>Avis Benavila</i>	<i>39.106836</i>	<i>-7.877512</i>
1210826	<i>Mora</i>	<i>38.940683</i>	<i>-8.164058</i>
1210837	<i>Estremoz</i>	<i>38.862133</i>	<i>-7.512756</i>

ANEXO 1 – Análise dos dados de Precipitação e ETO

Valorização dos Recursos Hídricos para a Agricultura no Vale do Tejo e Oeste

ESTUDO DE VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA A AGRICULTURA NO VALE DO TEJO E OESTE

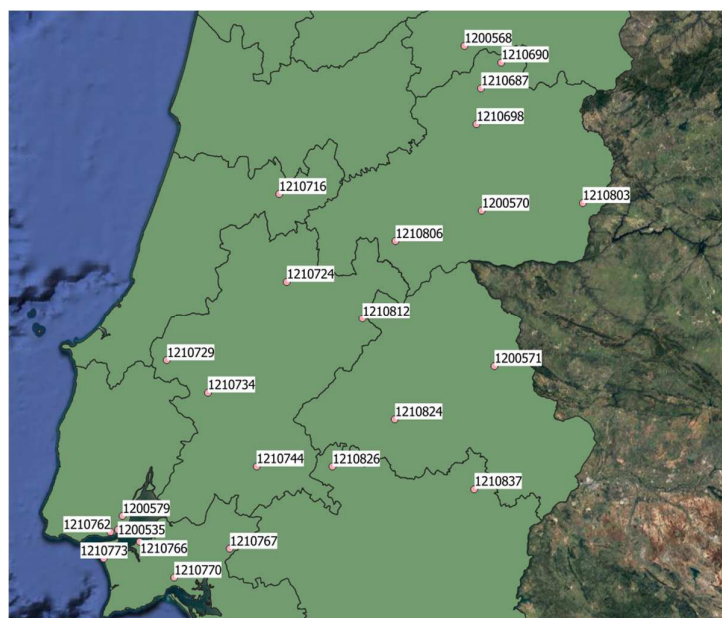


Figura 1 - Extensão e localização espacial das estações meteorológicas IPMA disponibilizadas.

ANEXO 1 – Análise dos dados de Precipitação e ETO

Valorização dos Recursos Hídricos para a Agricultura no Vale do Tejo e Oeste

ESTUDO DE VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA A AGRICULTURA NO VALE DO TEJO E OESTE

Tabela 3 - Dias com dados em falta em percentagem (%) do total disponibilizado pelo IPMA como série temporal.

<i>Estação</i>	<i>T_MED</i>	<i>TAR_MAX</i>	<i>TAR_MIN</i>	<i>HR_MED</i>	<i>DD_MED</i>	<i>DD_PRE</i>	<i>FF_MED</i>	<i>FF_MAX</i>	<i>DD_FF_MAX</i>	<i>PR_QTD</i>	<i>RG_TOT</i>
1200535	4.5	4.4	4.4	8.4	100.0	37.4	37.3	34.8	34.8	6.2	37.2
1200568	13.3	12.3	12.7	10.5	73.1	17.4	17.4	18.0	18.2	13.1	26.4
1200570	0.8	1.3	1.2	0.9	98.6	1.3	1.3	1.3	1.3	7.1	44.3
1200571	4.1	4.1	4.0	1.6	79.8	15.2	2.8	2.8	13.5	4.9	14.7
1200579	1.4	1.6	1.1	1.3	67.3	2.1	2.1	2.1	2.1	5.5	14.9
1210687	17.4	17.1	16.7	17.4	98.3	17.5	17.5	18.9	18.9	31.9	32.0
1210690	56.2	52.4	56.2	56.2	56.8	56.8	56.8	56.8	56.8	61.5	56.2
1210698	49.0	48.8	48.9	49.0	51.8	49.6	49.6	49.6	49.6	51.1	97.6
1210716	19.7	15.1	19.4	27.8	98.3	20.6	20.3	20.4	20.7	25.7	28.1
1210724	17.1	14.9	17.5	10.6	69.2	12.1	12.1	12.2	12.2	23.5	25.0
1210729	14.1	14.0	13.9	14.1	61.4	14.2	14.2	14.5	14.4	25.1	27.3
1210734	2.7	2.0	2.7	20.2	96.5	4.5	4.4	4.4	4.5	10.0	15.6
1210744	7.8	7.3	7.4	23.8	77.8	15.3	14.9	15.0	15.4	15.9	20.8
1210762	56.1	56.0	56.1	55.5	58.8	58.5	58.5	58.5	58.8	53.1	52.9
1210766	7.0	7.0	6.3	12.2	98.4	7.3	7.1	7.1	7.4	19.3	25.0
1210767	62.7	62.6	62.7	62.7	86.1	62.7	62.7	62.7	63.0	64.2	63.0
1210770	8.1	7.4	7.8	19.8	70.7	6.6	6.6	6.6	6.6	16.2	24.2
1210773	13.1	12.9	13.0	41.2	98.4	13.0	12.8	13.4	13.6	16.7	17.4
1210803	12.0	10.6	12.0	33.2	98.7	24.4	24.3	24.3	24.5	16.9	24.5
1210806	14.1	10.3	14.2	35.3	98.5	16.5	16.4	16.5	16.5	21.3	30.4
1210812	12.6	9.9	13.1	23.5	69.4	8.7	8.6	8.8	8.8	15.1	27.3
1210824	9.1	5.4	9.3	14.1	100.0	20.7	20.7	20.7	20.7	17.3	20.8
1210826	67.2	67.2	67.2	67.2	70.2	70.1	70.1	70.2	70.2	76.7	67.4
1210837	12.7	6.4	13.2	30.8	98.9	12.7	12.6	12.6	12.9	21.0	22.9

2.1.2 IBERIA01 1970-2015

Uma das fontes de dados de precipitação adotada pela equipa do projeto foi a base de dados espacializada Iberia01 (Gutiérrez, et al., 2019). Esta base de dados abrange toda a Península ibérica com uma resolução de 0.1° (cerca de 10km) e uma escala temporal diária. A mesma foi construída com base em dados observados nas redes de monitorização da Agência Espanhola de Meteorologia (AEMET), da Agência Portuguesa do Ambiente (APA) e do Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA). O período abrangido vai de 1971 a 2015 e as estações de medida incluídas na análise têm pelo menos 15 anos de dados e não mais que 10% de falhas (Herrera, 2019). Além de precipitações, a base de dados Iberia01 inclui também dados de temperaturas na mesma escala espacial e compreensão temporal. Uma das vantagens desta base de dados é o facto de ter sido feita para toda a Península ibérica, o que permite que os dados de Portugal e Espanha sejam aproveitados e que as inconsistências que poderiam existir nas fronteiras sejam evitadas. A Tabela 4 resume algumas das principais características da base de dados Iberia01.

Tabela 4 - Principais características da base de dados Iberia01.

<i>Característica</i>	<i>Iberia01</i>
Variáveis observadas	<i>Precipitação e temperatura</i>
Período	<i>1971-2015</i>
Resolução espacial	<i>0.10° (~10km)</i>
Escala temporal	<i>Diária</i>
Abrangência	<i>Portugal continental e Espanha</i>
Fontes de dados em Portugal	<i>IPMA e APA</i>

Em Portugal, a quantidade de postos udométricos adotados nas bacias hidrográficas englobadas pela área de estudo variou no tempo conforme mostram as Figuras Figura 2 e Figura 3. A Figura 2 mostra um aumento substancial dos postos na década de 80 e um patamar desta época até a década de 90, com uma posterior queda nos anos 2000. A Figura 3 mostra a distribuição espacial dos postos em três momentos: em 1971, no início da série de dados, em 1986, quando o número de estações consideradas atingiu o pico e em 2015, no fim da série e quando o número de postos atingiu o valor mínimo. Esta variação implica que a base de dados não seja adequada para estudos de tendências.

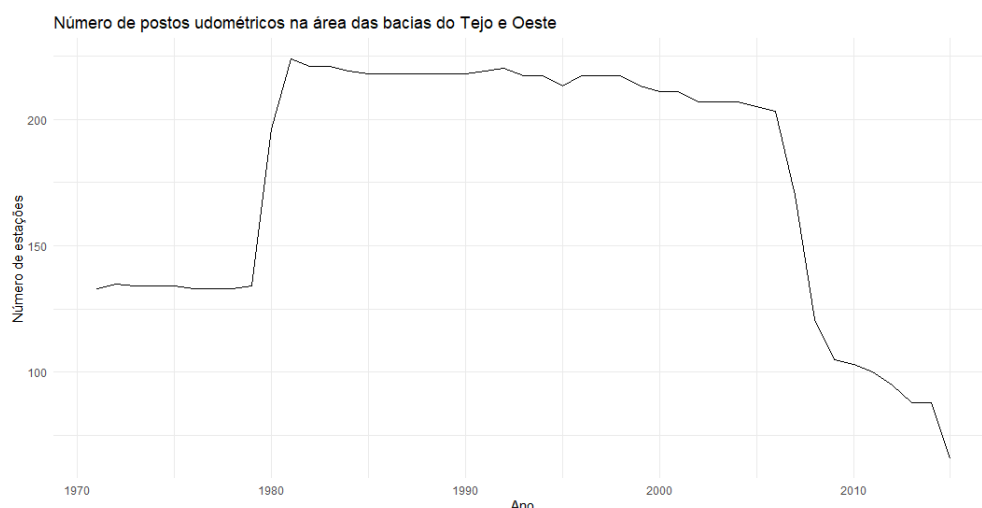


Figura 2 - Evolução temporal do número de postos udométricos considerados na construção da base de dados Iberia01 na área das bacias de estudo em Portugal.

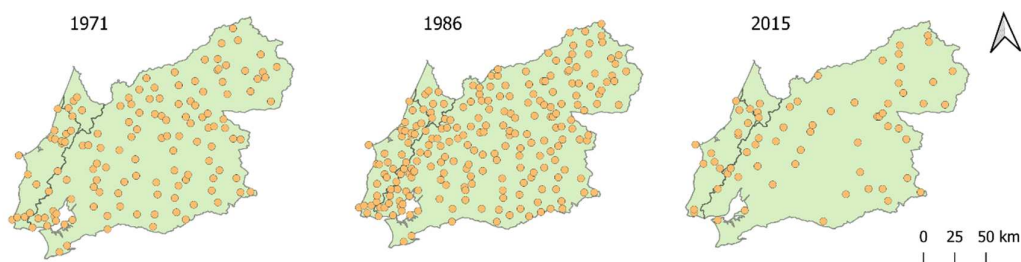


Figura 3 - Evolução temporal do número de postos udométricos considerados na construção da base de dados Iberia01 na área das bacias de estudo em Portugal.

2.2 INTERPOLAÇÃO IPMA 2002-2020

O produto final descrito pelo presente documento é distribuído espacialmente e temporalmente. Para o efeito, uma malha foi criada com o objetivo de forçar a distribuição espacial da evapotranspiração de referência. Com o intuito de fornecer homogeneidade e execução de comparação de parâmetros climáticos como processo de validação, a malha criada é um corte espacial da malha Iberia01, descrita no capítulo 2.1.2 “Iberia01 1970-2015”. A malha escolhida e ilustrada pela Figura 4 tem origem (canto inferior esquerdo) na latitude 38.15 e longitude -9.45 com extensão até à latitude 40.05 e à longitude -7.35. A malha (com extensão ilustrada a azul claro transparente na Figura 4) tem uma resolução de 10 km (ou 0.1°) e cobre por completo a área do estudo “Valorização dos Recursos Hídricos para a Agricultura no Vale do Tejo e Oeste” e 19 das 24 estações disponibilizadas pelo IPMA.

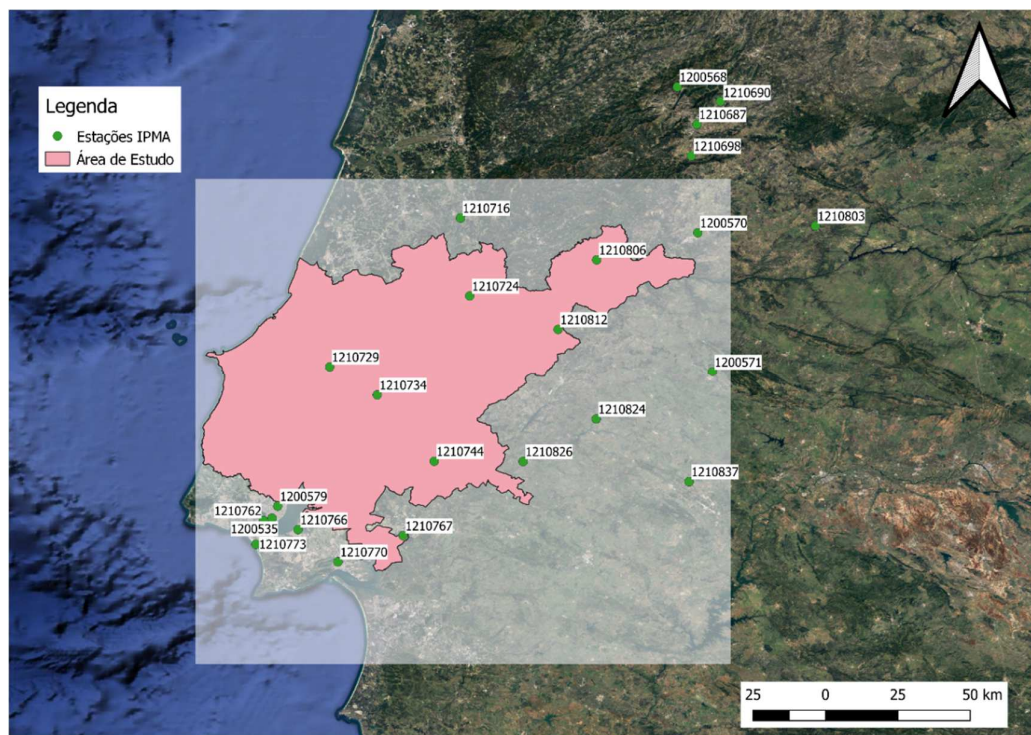


Figura 4 - Representação da área de estudo (a rosa), as estações meteorológicas IPMA (a verde) e a extensão da malha de cálculo do ET0 (a azul claro).

O ficheiro folha de cálculo que contém informação das séries temporais para cada estação e para cada propriedade é convertido para um ficheiro em formato ASCII que traduz cada propriedade numa série temporal para cada estação. O procedimento aqui descrito obriga a esta conversão porque o *software* de interpolação usado exige um formato de série temporal específico e não permite o uso direto de folha de cálculo como *input*.

Quando uma estação meteorológica não contém leituras de uma certa propriedade para um instante, a célula indica o valor -990 como indicador da falta de dados (ver Tabela 3). O processo de conversão da série temporal omite este indicador, não introduzindo esse instante no ficheiro final de série temporal.

Para efeito do cálculo final de evapotranspiração, algumas transformações tiveram de ser executadas aos dados originais. A ferramenta descrita mais a diante obriga a humidade relativa a ser convertida à unidade de fração, em vez de percentagem. Pelo mesmo motivo a radiação solar terá de ser convertida do original nas unidades quilojoule por metro quadrado por dia às unidades de Watts por metro quadrado.

Assumindo que os valores de velocidade do vento em metro por segundo foram lidos a uma altura de 10 metros de altitude, uma conversão para o *standard* de 2 metros de altitude terá de ser executada. A velocidade do vento assume um perfil logarítmico segundo a FAO (Raes, 2012), tal que:

$$u_{2m} = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8z - 5.42)}$$

Substituindo z por 10 metros, conclui-se que para efeitos de cálculo final de evapotranspiração a velocidade do vento utilizada no cálculo para cada instante é 74.8% da velocidade do vento original.

Para cada propriedade todas as séries temporais convertidas são indicadas como *input* no *software open-source* “FillMatrix”, que recebe séries temporais e uma malha à escolha do utilizador no formato descrito nos pontos anteriores. O *software* irá realizar uma interpolação espacial por método de triangulação de Delaunay para cada célula (assumindo que em cada instante há pelo menos três estações com leituras meteorológicas) e fornece como *output* essa interpolação para cada célula da malha num formato HDF5 (*Hierarchical Data Format*). Ficheiros HDF5 são standards de armazenamento de dados com tamanho significativo. A Figura 5 apresenta o exemplo da temperatura do ar produzida pela metodologia descrita, contextualizada para duas datas, no verão e no inverno.

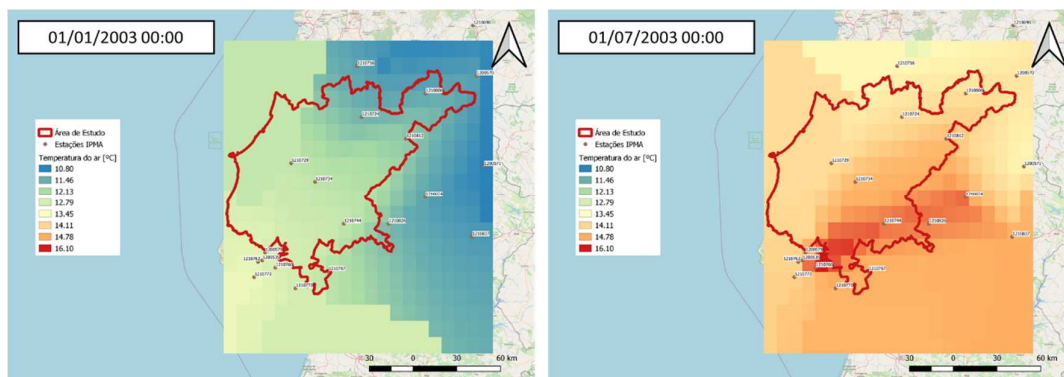


Figura 5 - Temperatura do ar produzida pelo “FillMatrix” (°C) para 1 de Janeiro de 2003 (à esquerda) e para 1 de Julho de 2003 (à direita), triangulada a partir das estações meteorológicas do IPMA representadas como pontos roxos. Enquadramento com área de estudo (perímetro vermelho).

Este processo é executado para cada propriedade utilizada para o cálculo da evapotranspiração de referência, nomeadamente a radiação solar, a temperatura do ar, a velocidade do vento e a humidade relativa. É de referir ainda que, apesar de 5 das 24 estações disponibilizadas pelo IPMA, não estarem compreendidas pela malha seleccionada, as mesmas puderam ser utilizadas como pontos de triangulação na interpolação das células na sua vizinhança.

A triangulação de Delaunay foi seleccionada como método de interpolação em relação a outros métodos como a melhor alternativa para o efeito de cálculo. Outras metodologias de interpolação incluem os polígonos de Thiessen ou o Inverso da Potência das Distâncias. Ambos estes métodos têm aplicações práticas importantes. Contudo, o método de triangulação foi de aplicação fácil e resultou em valores interpolados com uma confiança elevada no que diz respeito à qualidade do cálculo.

2.3 CÁLCULO DA ETO

A ETO pode assim ser calculada para cada célula de uma malha através de uma ferramenta que resolve a equação de Penman-Monteith, *standard* do cálculo, aplicada a um HDF5 de *input* e disponibilizando um *output* HDF5 com a mesma resolução e com a mesma compreensão temporal com informação relativa à evapotranspiração de referência calculada.

A formulação de Penman-Monteith é indicada como um método relativamente exato e consistente e é dado por Allen R., 1998 da seguinte forma:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_{2m}(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_{2m})}$$

Onde, Δ é a inclinação da curva de pressão do vapor, R_n é a radiação solar líquida à superfície da cultura, G é a densidade do fluxo de calor no solo (assumido como 0 MJ.m⁻².dia⁻¹), γ é a constante psicométrica, T é a temperatura do ar, u_{2m} é a velocidade do vento a 2 metros de altura e $e_s - e_a$ é o défice de pressão do vapor saturado.

2.3.1 MOHID LAND

O modelo MOHID Land, parte do Sistema de Modelação MOHID (<http://www.mohid.com>, Neves, 2013), é um modelo físico, distribuído espacialmente, contínuo e com variabilidade do passo de tempo para a estimação de ciclos de água e das suas propriedades em bacias hidrográficas. Uma das capacidades do MOHID Land é a do cálculo da evapotranspiração de referência para uma malha 2D.

Sendo a atmosfera uma das parcelas de entrada do modelo MOHID Land, nomeadamente as condições meteorológicas disponibilizadas pelo IPMA, foi possível aplicar, para a malha de cálculo descrita no âmbito da evapotranspiração de referência, o modelo e resolver a equação de Penman-Monteith para cada célula da malha.

2.3.2 ETO CALCULATOR DA FAO

A Food and Agriculture Organization (FAO) desenvolveu um produto, a “ETO Calculator” (<https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/eto-calculator/>, Raes, 2012), que executa o cálculo da evapotranspiração de referência para um ponto sujeito a séries temporais de parâmetros climáticos. A ferramenta foi utilizada para validação da execução do MOHID Land, comparando a série temporal de ETO produzida pela ferramenta da FAO com a extração na célula da malha de evapotranspiração de referência resultante da execução do MOHID Land.

A Figura 6 apresenta a evapotranspiração de referência calculada por duas ferramentas que aplicam a mesma regra de cálculo, o MOHID Land e o “ETO Calculator” da FAO, para a estação 1210690. O elevado nível de concordância entre as duas curvas sugere uma validação teórica do método utilizado para o cálculo de evapotranspiração de referência pelo MOHID Land.

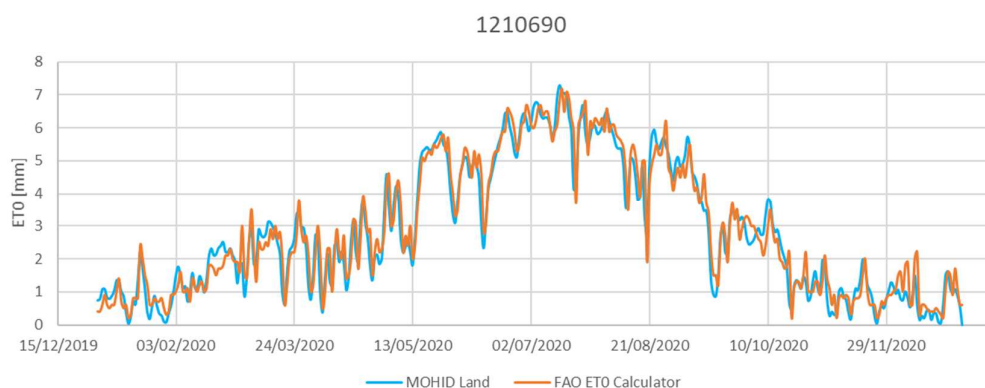


Figura 6 - Séries temporais de ET0, linha laranja corresponde ao resultado obtido pela ferramenta “ETO Calculator” da FAO e linha azul representa o ET0 calculado pelo MOHID Land para a estação 1210690 - Aldeia do Souto.

2.4 NUT III

A Figura 7 representa a localização da área do estudo “Valorização dos Recursos Hídricos para a Agricultura no Vale do Tejo e Oeste” no contexto geográfico das áreas NUT III (Unidades Territoriais de terceiro nível).

De salientar que o perímetro da área de estudo engloba por completo as áreas Oeste e Lezíria do Tejo, mas abrange parcialmente a região de Leiria, o Médio Tejo, a Área Metropolitana de Lisboa e a Beira Baixa. Todos os resultados no presente documento são apresentados para as NUT III enumeradas, incluindo para as regiões parcialmente abrangidas pela área de estudo.



Figura 7 – Área de estudo (a cinzento) e a distribuição das unidades territoriais de nível 3 (NUT III) em Portugal Continental.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 PRECIPITAÇÃO

3.1.1 PADRÃO (IBERIA01, 2002-2015)

A precipitação é o principal elemento gerador de caudais a área de estudo e, desta forma, descrevê-la é fundamental para a compreensão dos regimes de caudais que estarão disponíveis para os diversos usos pretendidos.

No estudo “Valorização dos Recursos Hídricos para a Agricultura no Vale do Tejo e Oeste” a precipitação obtida da base de dados Iberia01 para o período entre 2002 e 2015 foi tomada como referência. Este período foi selecionado por ser aquele que abrange tanto a base de dados Iberia01 (1971-2015), quanto as observações necessárias ao cálculo da evapotranspiração de referência fornecidas pelo IPMA (2002-2020). Estes dados serão explorados com maior aprofundamento nas secções seguintes. Conforme descrito na secção 2.4, os dados foram agregados segundo o terceiro nível do sistema de divisão de território “Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos” (NUT III) na sua versão de 2013, que tem a vantagem de ser adotado como padrão para outros estudos estatísticos no território de Portugal ((UE), 2014). O cálculo da média espacial foi feito sem ponderações, considerando todos os pontos da

ESTUDO DE VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA A AGRICULTURA NO VALE DO TEJO E OESTE

malha de precipitação dentro da região. Esta simplificação foi possível devido ao facto do tamanho das regiões ser suficiente superior à resolução da malha.

A Figura 8 mostra como as precipitações “padrão” médias mensais de em cada unidade NUT III que faz parte total ou parcialmente da área de estudo se distribuem ao longo do ano. A escala mensal foi escolhida por ser a escala temporal adotada no estudo. É possível observar que o padrão da distribuição é semelhante para todas as unidades territoriais com pequenas diferenças nas quantidades. Este padrão inclui verões secos e invernos chuvosos, com mínimos no mês de junho e máximos em outubro. Estas diferenças, em quantidade, ficam mais claras na

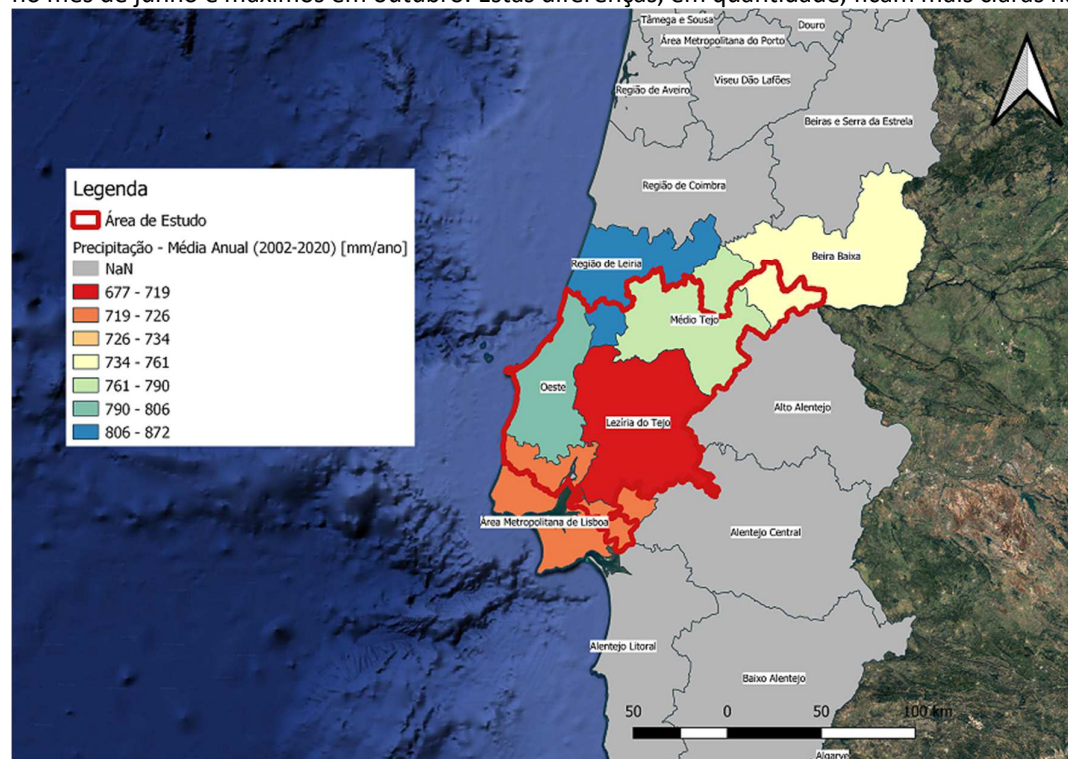


Figura 9, que mostra os totais anuais nas unidades territoriais. Os totais anuais de precipitação variam entre 677 mm/ano em Lezíria do Tejo e 871 mm/ano na Região de Leiria.

ESTUDO DE VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA A AGRICULTURA NO VALE DO TEJO E OESTE

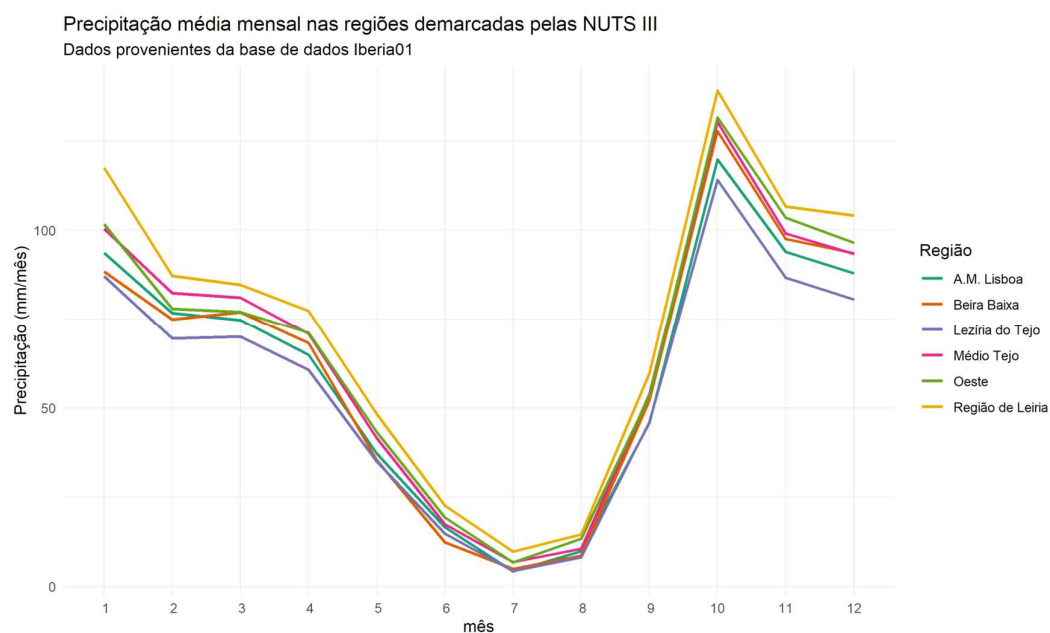


Figura 8 - Variação das precipitações médias mensais da base de dados Iberia01 no período de 2003 a 2015 para as NUTS III na área de estudo.

Tabela 5 – Precipitações médias mensais da base de dados Iberia01 no período de 2003 a 2015 para as NUTS III na área de estudo

Mês	AML	Lezíria do Tejo	Oeste	Região de Leiria	Beira Baixa	Médio Tejo
Jan	94	87	102	118	88	100
Feb	77	70	78	87	75	82
Mar	75	70	77	85	77	81
Apr	65	61	71	77	68	71
May	37	35	43	48	35	42
Jun	17	15	19	23	12	17
Jul	4	4	7	10	5	7
Aug	10	8	13	15	9	11
Sep	46	46	53	60	52	54
Oct	120	114	132	139	128	130
Nov	94	87	104	107	98	99
Dec	88	81	97	104	94	93
Anual	726	677	796	872	741	788

ESTUDO DE VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA A AGRICULTURA NO VALE DO TEJO E OESTE

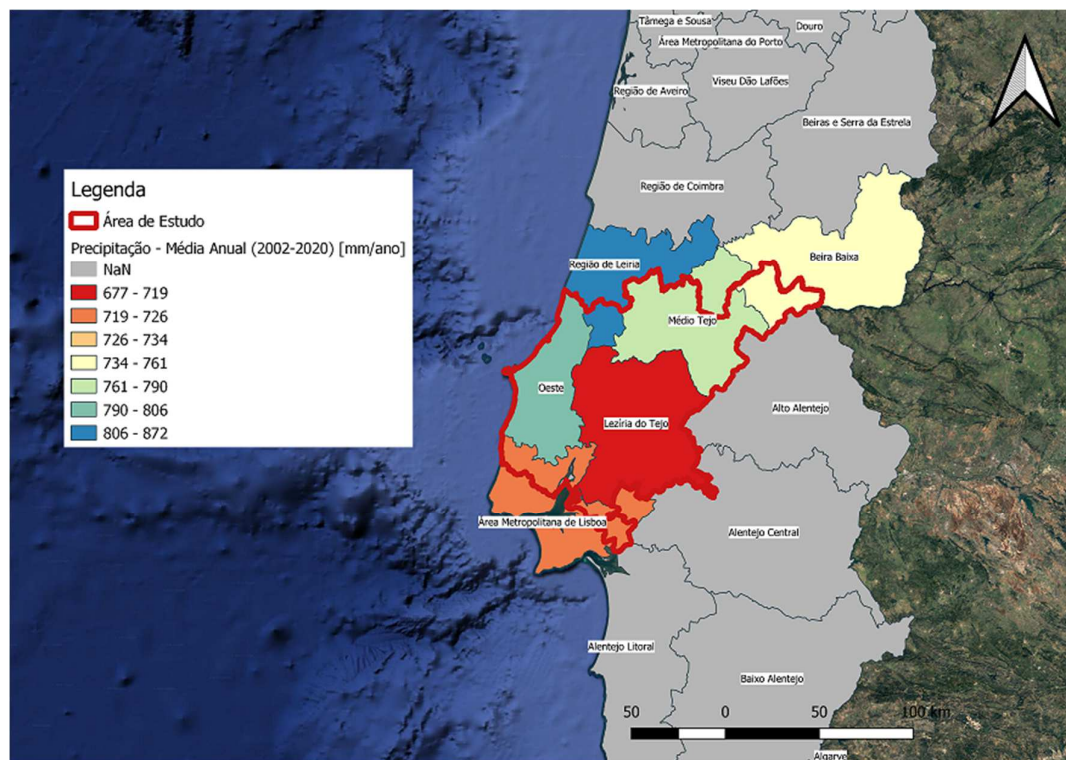


Figura 9 - Variação das precipitações médias anuais da base de dados Iberia01 no período de 2002 a 2015 para as NUTS III na área de estudo

3.1.2 PADRÃO (IBERIA01, 2002-2015) VS IBERIA01 1971-2015

Apesar dos valores tomados como referência para a precipitação serem obtidos a partir da base de dados Iberia01 para o período entre 2002 e 2015, a Iberia01 disponibiliza valores a partir de 1971 e é de relevo a comparação entre os valores da série completa e os da série “padrão”.

A Figura 10 mostra essa comparação, onde é possível observar que o padrão de distribuição anual se altera ligeiramente e valores máximos de precipitação média mensal acontecem em dezembro ao invés de outubro. O padrão no verão mantém-se.

ESTUDO DE VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA A AGRICULTURA NO VALE DO TEJO E OESTE

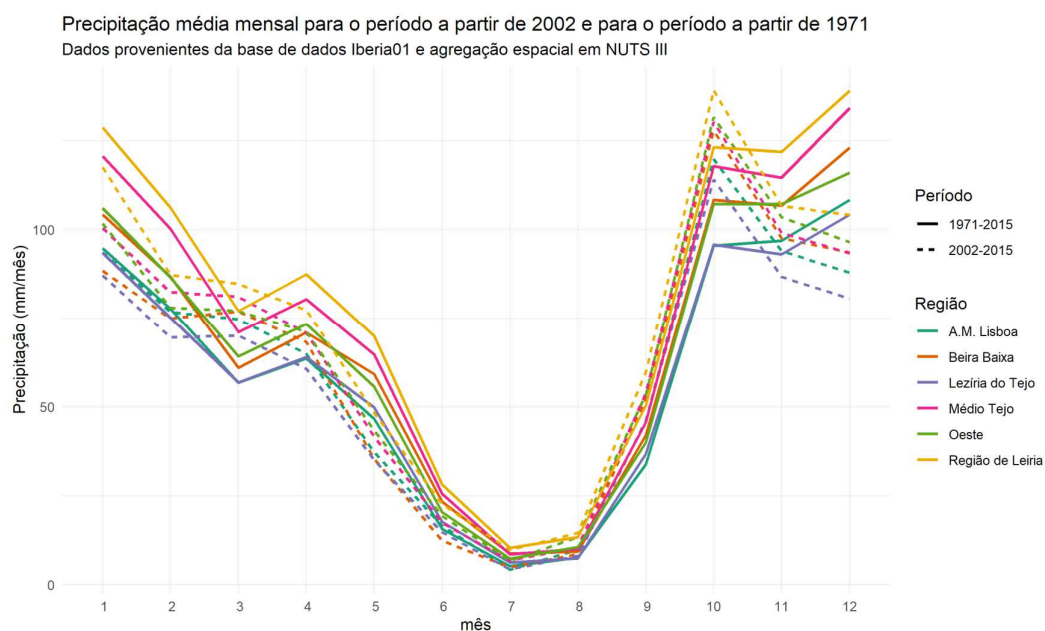


Figura 10 - Comparação entre os valores de precipitação média mensal da base de dados Iberia01 agregada em NUTS III para o período completo (1971-2015) e para o período 2002-2015

Tabela 6 – Precipitações médias mensais da base de dados Iberia01 no período de 1971 a 2015 para as NUTS III na área de estudo

Mês	AML	Lezíria do Tejo	Oeste	Região de Leiria	Beira Baixa	Médio Tejo
Jan	95	93	106	129	104	121
Feb	78	75	87	106	87	100
Mar	57	57	64	77	61	71
Apr	64	64	73	87	71	80
May	47	50	56	70	59	65
Jun	16	18	20	28	23	26
Jul	5	6	7	10	9	9
Aug	8	7	11	13	9	10
Sep	34	37	40	50	42	46
Oct	95	96	107	123	108	118
Nov	97	93	107	122	107	115
Dec	108	104	116	139	123	134
Anual	702	701	795	956	804	894

A Figura 11 mostra uma comparação dos valores de precipitação anual média por região para a precipitação Iberia01 para o período completo (1971-2015) e a precipitação padrão (Iberia01 entre 2002 e 2015). É possível notar que, com a exceção da Área Metropolitana de Lisboa e

ESTUDO DE VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA A AGRICULTURA NO VALE DO TEJO E OESTE

região do Oeste, as precipitações são menores em todas as regiões no período de 2002 e 2015, quando comparado com o período de 1971-2015.

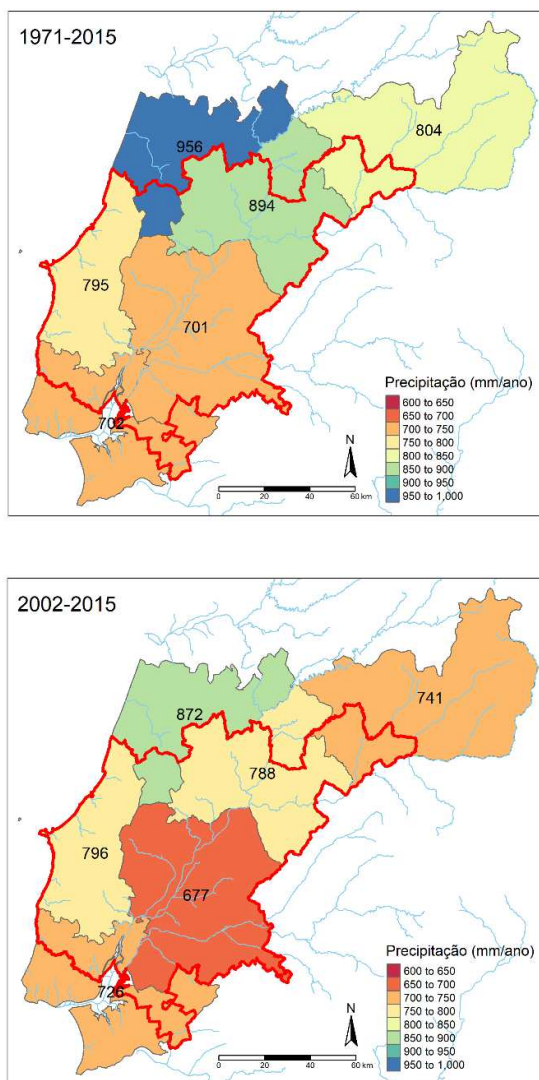


Figura 11 - Precipitação anual média por região para a precipitação Iberia01 para o período completo (1971-2015) e padrão (2002 e 2015).

Cabe ressaltar que, conforme descrito na seção 2.1.2, os postos udométricos usados para o cálculo das precipitações espaciais variaram e as mudanças observadas podem ser uma consequência desta mudança e não de uma mudança no regime de precipitações. A variação nas estações udométricas é apresentada na Figura 2 e Figura 3, onde se verifica que as estações de 2007 para 2015 passaram de cerca de 200 estações para cerca de 70 estações.

3.1.3 PADRÃO (IBERIA01, 2002-2015) VS INTERPOLAÇÃO PCP 2000-2020

Adicionalmente, a precipitação foi comparada a dados de observações em estações meteorológicas operadas pelo IPMA dentro ou perto da área de estudo. A Figura 4 mostra a localização das estações em relação à área de estudo. Como os dados observados continham falhas, estas falhas foram preenchidas conforme a metodologia descrita na seção 2.2.

Numa primeira análise, as precipitações em cada região foram comparadas à escala mensal. A Figura 12 mostra esta comparação. É possível observar padrões de distribuição temporal semelhantes entre as duas séries.

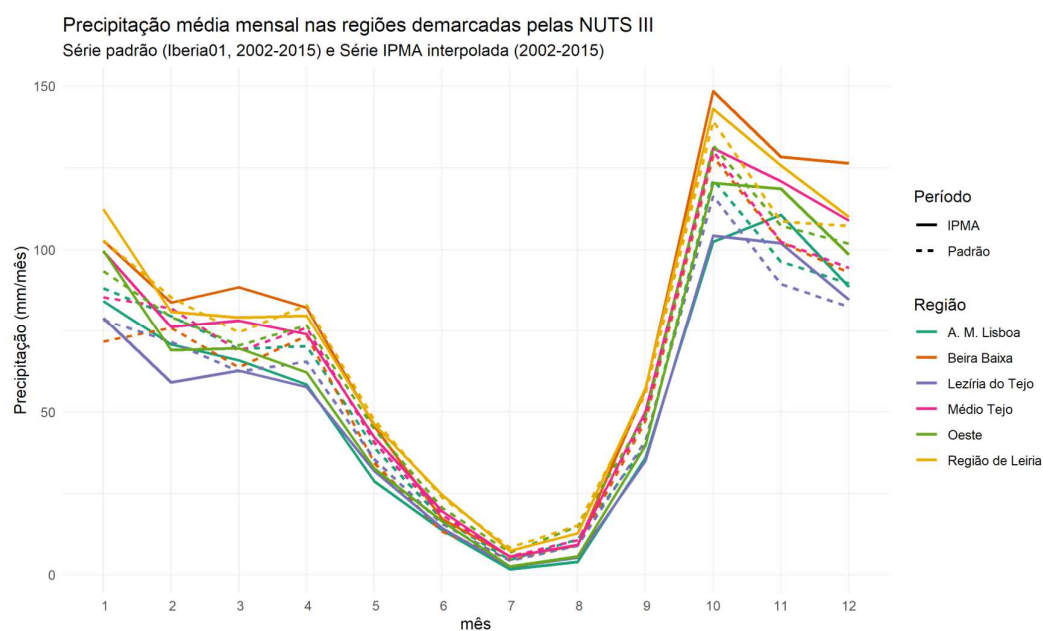


Figura 12 - Comparação entre os valores de precipitação média mensal da base de dados Iberia01 e dados observados pelo IPMA agregados em NUTS III para o período de 2002 a 2015

Tabela 7 – Precipitações médias observadas pelo IPMA agregadas em NUTS III para o período de 2002 a 2015

<i>Mês</i>	<i>AML</i>	<i>Lezíria do Tejo</i>	<i>Oeste</i>	<i>Região de Leiria</i>	<i>Beira Baixa</i>	<i>Médio Tejo</i>
Jan	84	79	100	112	103	99
Feb	71	59	69	81	84	76
Mar	66	63	70	79	88	78
Apr	58	58	62	80	82	74
May	29	32	33	46	46	42
Jun	14	14	16	25	17	20
Jul	2	2	3	7	6	5
Aug	4	5	6	13	9	9
Sep	36	35	40	57	57	50
Oct	102	104	120	143	148	131
Nov	111	102	119	126	128	121
Dec	89	85	99	110	126	109
Anual	665	638	735	879	895	815

À escala anual, é possível observar na Figura 13 que as precipitações observadas pelo IPMA nas regiões mais a norte tendem a ser maiores do que as “padrão” e as mais a sul tendem a ser menores. Estas diferenças podem estar associadas às diferenças de valores de precipitação das estações usadas na criação da malha. Como a precipitação de referência se baseia em mais estações, as que indicam medidas mais extremas (tanto as mais secas quanto as mais húmidas) tendem a enviesar mais os resultados.

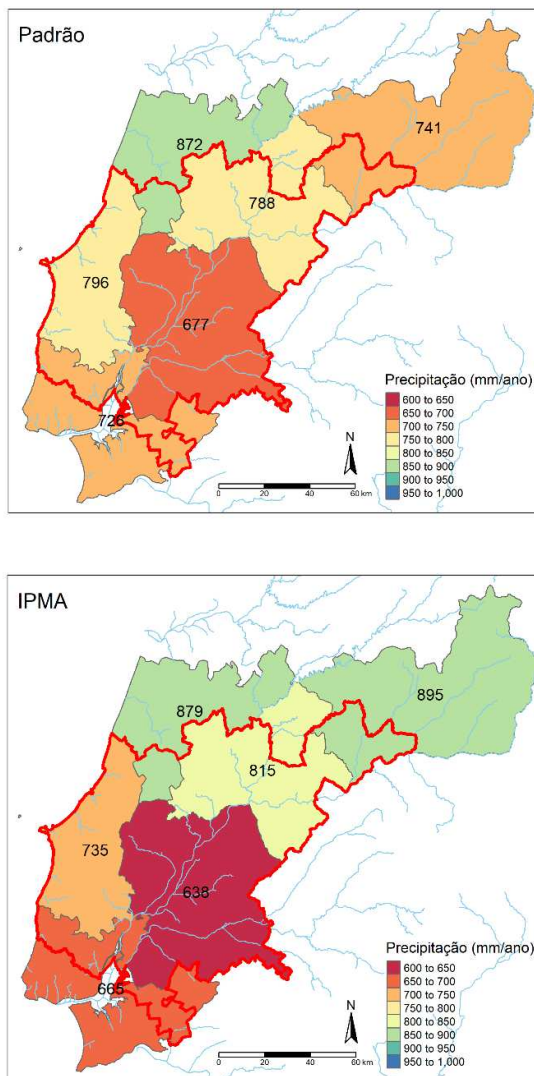


Figura 13 - Precipitação anual média por região para a precipitação Iberia01 para o período padrão (2002 e 2015) e interpolação das precipitações observadas pelo IPMA no mesmo período.

Quanto aos totais anuais, é possível observar na Figura 13 que os valores mínimos são mais extremos, chegando a uma média de 611 mm/ano, assim como os máximos, que chegam a 900 mm/ano, embora as variações sejam relativamente pequenas.

Adicionalmente, foi feita uma análise à correlação das séries observadas pelo IPMA com as séries da base Iberia01. Este estudo foi feito à escala mensal, para corresponder à escala temporal adotada no projeto. A Figura 14 mostra esta comparação para as séries de precipitação nas regiões demarcadas pelas NUT III, apresentando uma forte correlação entre as séries ($R=0,92$).

ESTUDO DE VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA A AGRICULTURA NO VALE DO TEJO E OESTE

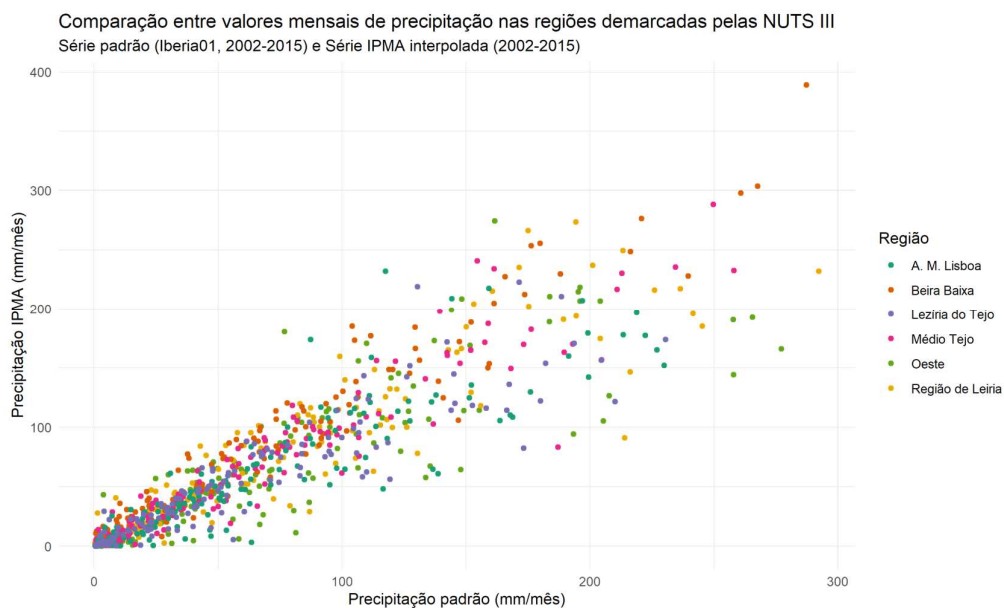


Figura 14 - Comparação entre valores mensais de precipitação para a série padrão e a série preenchida do IPMA para o período de 2002 a 2015 nas regiões demarcadas pelas NUT III.

Outra forma de comparar as precipitações “padrão” com as observações fornecidas pelo IPMA é comparando as séries observadas (e preenchidas) e as séries extraídas no mesmo ponto na base de dados Iberia01. A Figura 15 mostra esta comparação em nível mensal para cada posto udométrico do IPMA. É possível observar uma correlação forte entre os dados, de $R=0.90$, o que sugere que a série padrão pode ser considerada representativa dos dados observados.

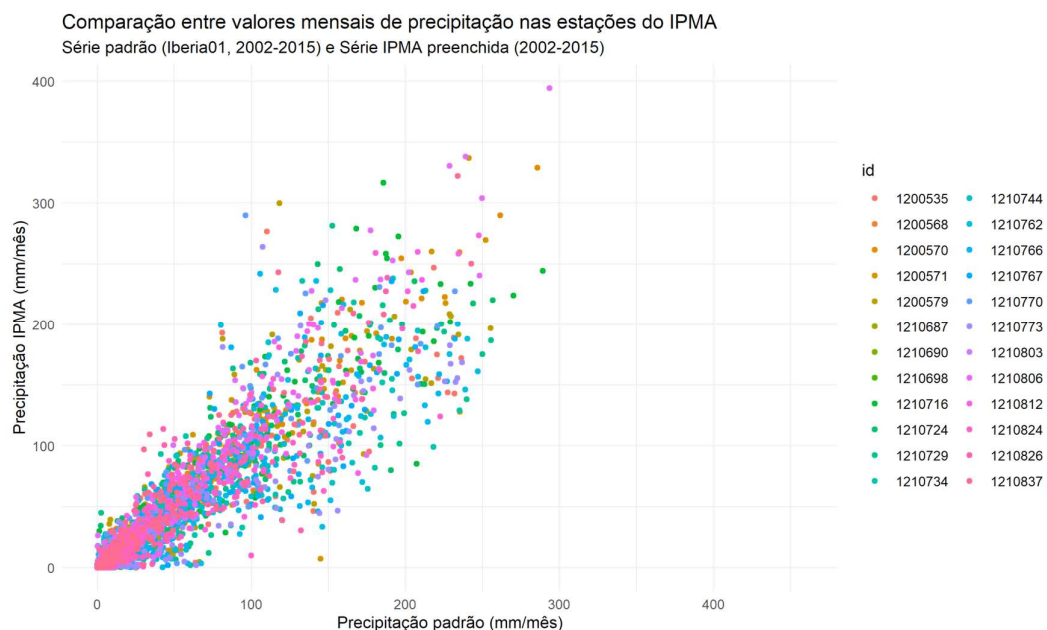


Figura 15 - Comparação entre valores mensais de precipitação para a série padrão e a série preenchida do IPMA para o período de 2002 a 2015 nas estações IPMA

3.2 VENTO, HUMIDADE RELATIVA, RADIAÇÃO SOLAR E TEMPERATURA

3.2.1 PADRÃO (2002-2020)

Para produzir resultados de evapotranspiração numa malha de cálculo, as variáveis climáticas necessárias para o cálculo foram interpoladas para a malha a partir das séries temporais das estações do IPMA. As Figura 16, Figura 17, Figura 18 e Figura 19 (acompanhadas das respetivas tabelas - Tabela 8, Tabela 9, Tabela 10 e Tabela 11) ilustram o comportamento médio mensal das variáveis velocidade do vento, humidade relativa, radiação solar e temperatura do ar à escala das NUT III. Já as Figura 20, Figura 21, Figura 22 e Figura 23 representam a média total anual (de 2003 a 2020) das mesmas variáveis, pontificando a variabilidade geográfica à escala dos polígonos NUT III que intercetam a área de estudo. A Tabela 12 acompanha a figura mencionada. Os resultados anuais são para o período com início em 2003, pois apenas estão disponíveis dados a partir de Setembro de 2002.

Pela Figura 16 é possível verificar que, tal como seria de esperar, a temperatura média mensal tem um comportamento parabólico, atingindo o pico máximo de temperatura no mês de Agosto e mínimo no mês de Janeiro. A região da Beira Baixa revelou ser a que atinge o valor mais elevado de temperatura do ar mensal média, sendo também, porém a região que atinge o valor mais baixo, apresentando uma variabilidade temporal mais evidente. A Figura 20 acentua esta dinâmica, colocando a Beira Baixa na categoria intermédia da variável em análise e salientando a Região de Leiria e Área Metropolitana de Lisboa como áreas com menor e maior temperatura anual média, respetivamente. De notar que a radiação solar (Figura 17 e Figura 21) apresentam um comportamento bastante semelhante ao consolidado pela temperatura do ar.

A humidade relativa mensal média está representada pela Figura 18 e a humidade relativa média anual pela Figura 22 e demonstram que as regiões mais interiores, como a Beira Baixa apresentam valores mais baixos de humidade relativa, enquanto que regiões mais no litoral, como a Região de Leiria e Oeste, apresentam o inverso.

ESTUDO DE VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA A AGRICULTURA NO VALE DO TEJO E OESTE

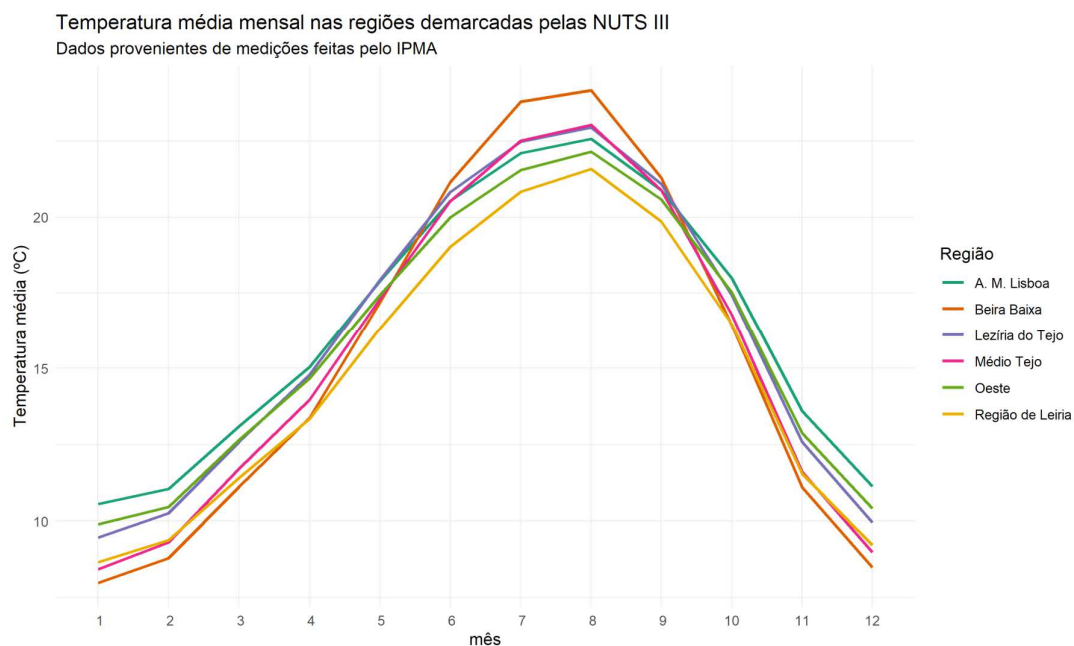


Figura 16 - Gráfico de valores de temperatura média mensal (°C) nas regiões demarcadas pelas NUT III, agregados a partir das leituras das estações meteorológicas do IPMA.

Tabela 8 – Tabela de temperaturas médias mensais (°C) nas regiões demarcadas pelas NUT III, agregadas a partir das leituras das estações meteorológicas do IPMA, assim como a média aritmética espacial entre regiões NUT III para a mesma propriedade.

Mês	Oeste	Região de Leiria	Beira Baixa	Médio Tejo	A. M. Lisboa	Lezíria do Tejo	Média NUT III
1	9.89	8.66	7.99	8.43	10.56	9.47	9.17
2	10.47	9.39	8.78	9.30	11.06	10.26	9.88
3	12.66	11.42	11.12	11.72	13.11	12.60	12.11
4	14.67	13.35	13.38	13.97	15.05	14.80	14.20
5	17.43	16.32	17.18	17.29	17.89	17.92	17.34
6	19.99	19.02	21.14	20.51	20.53	20.82	20.34
7	21.54	20.83	23.78	22.51	22.10	22.47	22.21
8	22.14	21.58	24.16	23.03	22.57	22.94	22.74
9	20.57	19.86	21.29	20.88	20.87	21.08	20.76
10	17.52	16.48	16.44	16.79	17.99	17.43	17.11
11	12.87	11.55	11.11	11.61	13.61	12.60	12.22
12	10.42	9.21	8.49	8.98	11.14	9.95	9.70

ESTUDO DE VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA A AGRICULTURA NO VALE DO TEJO E OESTE

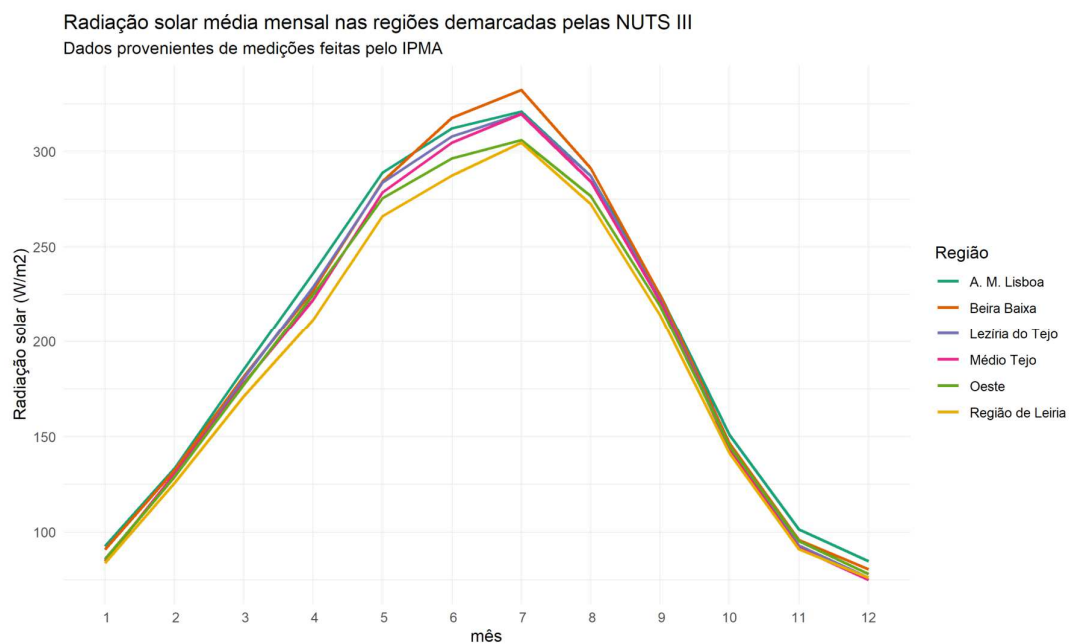


Figura 17 - Gráfico de valores de radiação solar média mensal (W/m^2) nas regiões demarcadas pelas NUT III, agregados a partir das leituras das estações meteorológicas do IPMA.

Tabela 9 - Tabela de radiação solar média mensal (W/m^2) nas regiões demarcadas pelas NUT III, agregada a partir das leituras das estações meteorológicas do IPMA, assim como a média aritmética espacial entre regiões NUT III para a mesma propriedade.

Mês	Oeste	Região de Leiria	Beira Baixa	Médio Tejo	A. M. Lisboa	Lezíria do Tejo	Média NUT III
1	85.76	83.81	90.91	84.70	92.54	85.83	87.26
2	128.94	125.55	132.40	130.37	133.35	128.80	129.90
3	177.22	171.11	181.53	177.94	185.24	180.47	178.92
4	224.75	211.58	227.17	222.06	236.13	228.95	225.11
5	275.59	266.10	284.31	278.51	288.88	283.74	279.52
6	296.42	287.35	317.72	304.62	312.13	307.98	304.37
7	306.11	304.76	332.32	319.60	320.96	319.88	317.27
8	276.66	272.51	291.19	284.44	287.17	287.15	283.19
9	218.88	214.07	224.71	221.47	224.85	222.15	221.02
10	145.16	141.25	146.55	143.77	151.00	144.82	145.43
11	95.19	91.04	95.80	91.54	101.33	92.99	94.65
12	77.99	76.07	80.41	74.99	84.68	76.14	78.38

ESTUDO DE VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA A AGRICULTURA NO VALE DO TEJO E OESTE

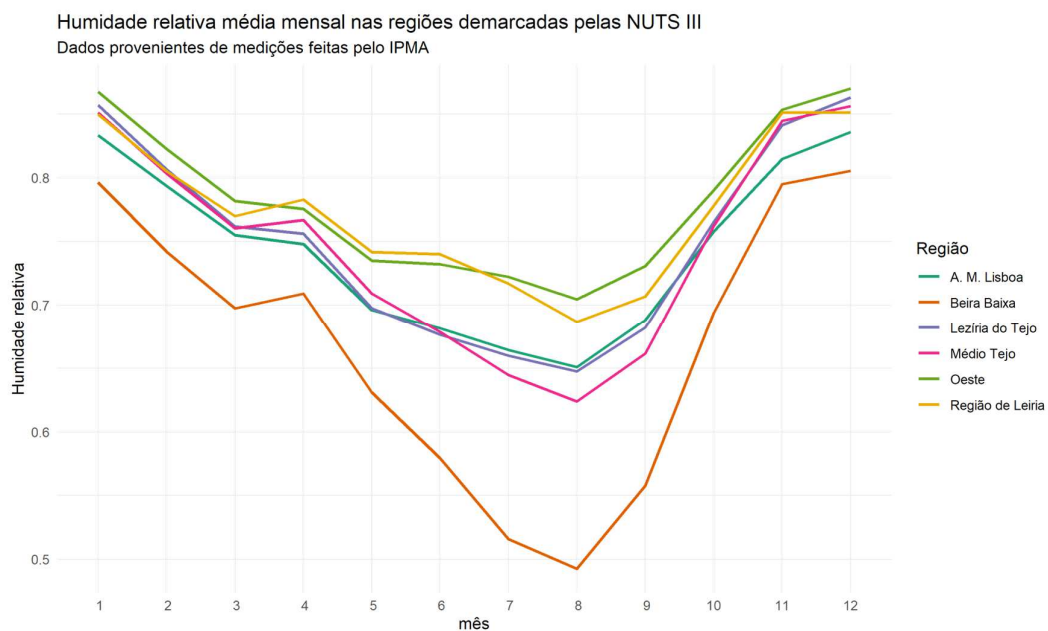


Figura 18 - Gráfico de valores de humidade relativa média mensal (-) nas regiões demarcadas pelas NUT III, agregados a partir das leituras das estações meteorológicas do IPMA.

Tabela 10 - Tabela de humidade relativa média mensal (-) nas regiões demarcadas pelas NUT III, agregada a partir das leituras das estações meteorológicas do IPMA, assim como a média aritmética espacial entre regiões NUT III para a mesma propriedade.

Mês	Oeste	Região de Leiria	Beira Baixa	Médio Tejo	A. M. Lisboa	Lezíria do Tejo	Média NUT III
1	0.87	0.85	0.80	0.85	0.83	0.86	0.84
2	0.82	0.81	0.74	0.80	0.79	0.81	0.80
3	0.78	0.77	0.70	0.76	0.75	0.76	0.75
4	0.78	0.78	0.71	0.77	0.75	0.76	0.76
5	0.73	0.74	0.63	0.71	0.70	0.70	0.70
6	0.73	0.74	0.58	0.68	0.68	0.68	0.68
7	0.72	0.72	0.52	0.64	0.66	0.66	0.65
8	0.70	0.69	0.49	0.62	0.65	0.65	0.63
9	0.73	0.71	0.56	0.66	0.69	0.68	0.67
10	0.79	0.78	0.69	0.76	0.76	0.77	0.76
11	0.85	0.85	0.80	0.84	0.81	0.84	0.83
12	0.87	0.85	0.81	0.86	0.84	0.86	0.85

ESTUDO DE VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA A AGRICULTURA NO VALE DO TEJO E OESTE

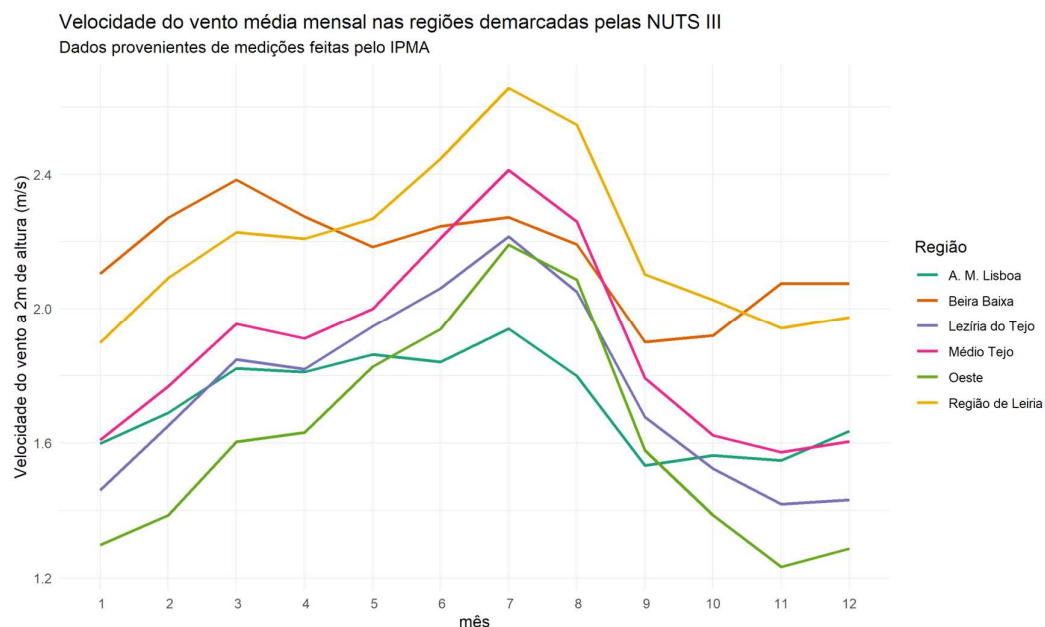


Figura 19 - Gráfico de valores de velocidade do vento média mensal a 2 metros de altura (m/s) nas regiões demarcadas pelas NUT III, agregados a partir das leituras das estações meteorológicas do IPMA.

Tabela 11 - Tabela de velocidade do vento média mensal a 2 metros de altura (m/s) nas regiões demarcadas pelas NUT III, agregadas a partir das leituras das estações meteorológicas do IPMA, assim como a média aritmética espacial entre regiões NUT III para a mesma propriedade.

Mês	Oeste	Região de Leiria	Beira Baixa	Médio Tejo	A. M. Lisboa	Lezíria do Tejo	Média NUT III
1	1.30	1.90	2.10	1.61	1.60	1.46	1.66
2	1.39	2.09	2.27	1.77	1.69	1.65	1.81
3	1.60	2.23	2.38	1.95	1.82	1.85	1.97
4	1.63	2.21	2.27	1.91	1.81	1.82	1.94
5	1.83	2.27	2.18	2.00	1.86	1.95	2.01
6	1.94	2.45	2.25	2.21	1.84	2.06	2.12
7	2.19	2.66	2.27	2.41	1.94	2.22	2.28
8	2.09	2.55	2.19	2.26	1.80	2.05	2.16
9	1.58	2.10	1.90	1.79	1.53	1.68	1.76
10	1.39	2.03	1.92	1.62	1.56	1.52	1.67
11	1.23	1.94	2.08	1.57	1.55	1.42	1.63
12	1.29	1.97	2.08	1.60	1.63	1.43	1.67

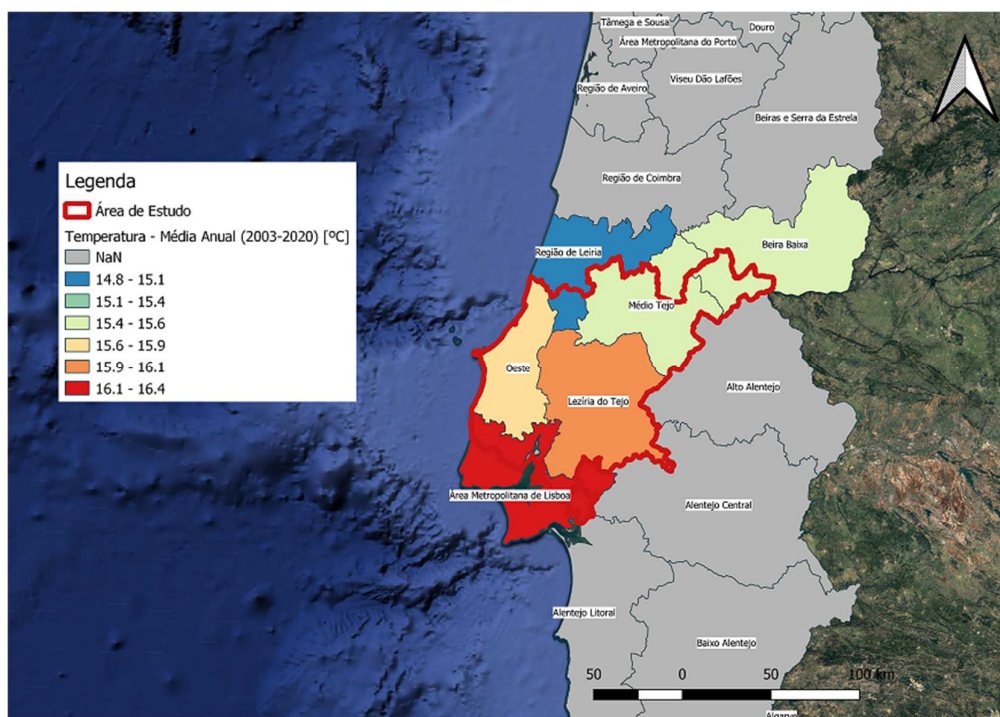


Figura 20 - Representação gradual de cores para a média anual de temperatura do ar (°C) de 2003 a 2020 para as NUTS III que intercetam a área de estudo.

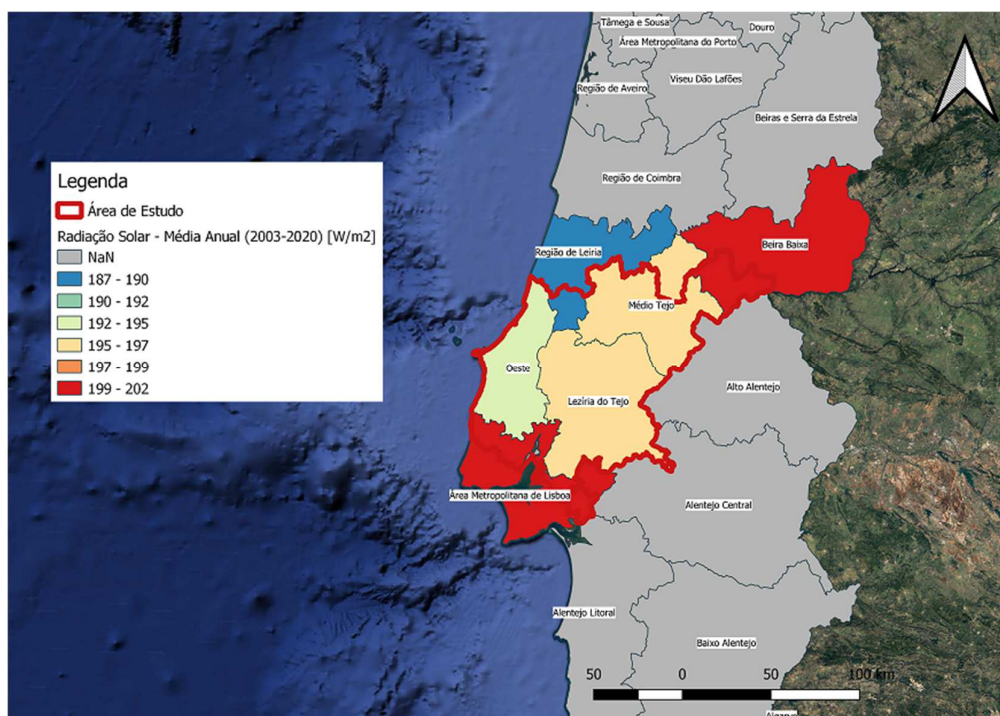


Figura 21 - Representação gradual de cores para a média anual de radiação solar (W/m²) de 2003 a 2020 para as NUTS III que intercetam a área de estudo.

Tabela 12 - Média Anual (2003-2020) das propriedades usadas no cálculo da evapotranspiração de referência, temperatura do ar, humidade relativa, velocidade do vento e radiação solar, para todas as NUT III que intercetam a área de estudo.

<i>Propriedade</i>	<i>Oeste</i>	<i>Região de Leiria</i>	<i>Beira Baixa</i>	<i>Médio Tejo</i>	<i>A. M. Lisboa</i>	<i>Lezíria do Tejo</i>
Temperatura do ar (°C)	15.87	14.83	15.44	15.45	16.40	16.06
Humidade Relativa (-)	0.78	0.77	0.67	0.75	0.74	0.75
Velocidade do Vento (m/s)	1.62	2.20	2.16	1.89	1.72	1.76
Radiação Solar (W/m²)	192.67	187.39	200.74	194.79	201.83	196.89

Os parâmetros meteorológicos do modelo GFS (*Global Forecast System*) foram sujeitos ao cálculo da evapotranspiração de referência com o intuito de analisar a validação do modelo para o efeito. Uma boa representação climática por parte do GFS pode representar uma mais-valia no produto final, nomeadamente, no combate às lacunas pontuais de dados ou até para completar regiões da malha onde existem menos estações para serem usadas na triangulação.

O modelo GFS é um sistema de previsão meteorológica de 25 km de resolução que fornece informação relativa às principais variáveis climáticas, que inclui a humidade relativa, a velocidade do vento (a 10 metros de altura), a radiação solar e a temperatura do ar, entre outras, com um passo temporal de três horas.

A metodologia deste processo de validação passou pela seleção estratégica de estações do IPMA e comparação com o modelo GFS nas células de 25 km de resolução onde as estações estão inseridas. Como tal, do conjunto de 24 estações, foram selecionadas 5 que cumpriam critérios de existência suficiente de leituras. A comparação foi efetuada para o ano de 2020. As figuras abaixo (Figura 24, Figura 25, Figura 26, Figura 27 e Figura 28) ilustram a correlação das quatro propriedades de interesse comparadas entre o modelo de previsão GFS e os dados disponibilizados pelo IPMA.

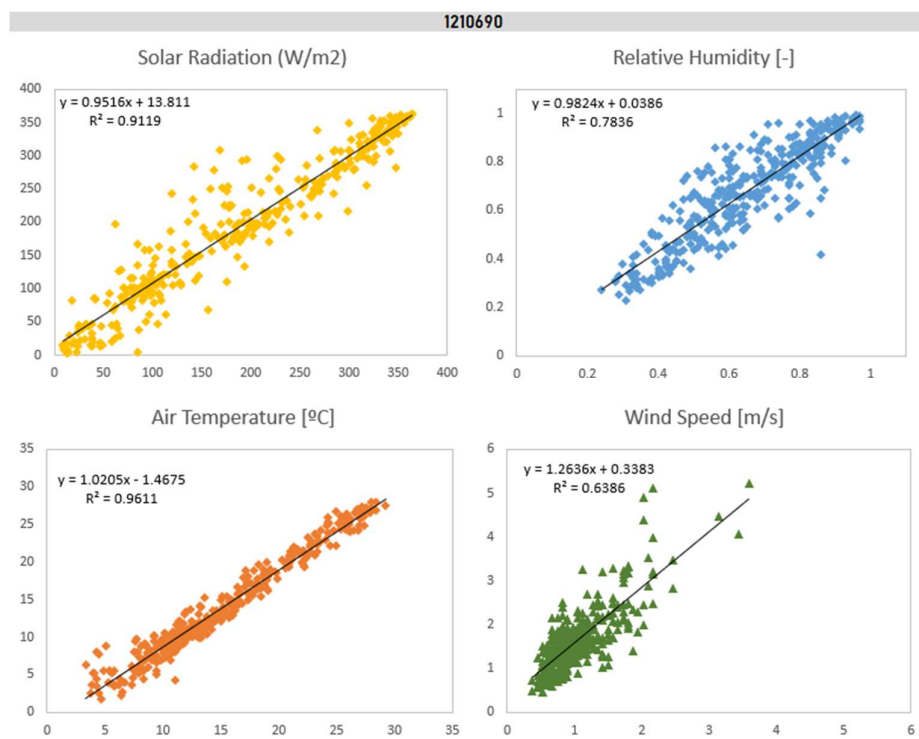


Figura 24 - Gráficos de dispersão das propriedades meteorológicas usadas para o cálculo do ET0, comparadas com o disponibilizado pelo modelo GFS na estação 1210690 - Aldeia do Souto.

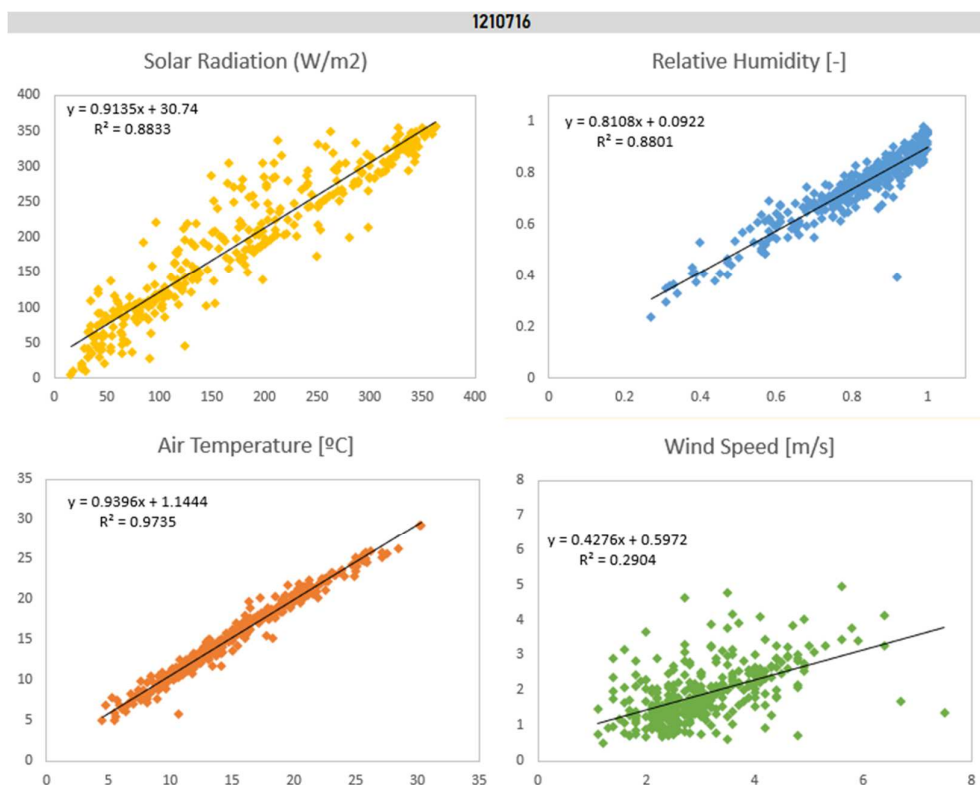


Figura 25 - Gráficos de dispersão das propriedades meteorológicas usadas para o cálculo do ET₀, comparadas com o disponibilizado pelo modelo GFS na estação 1210716 – Ansião.

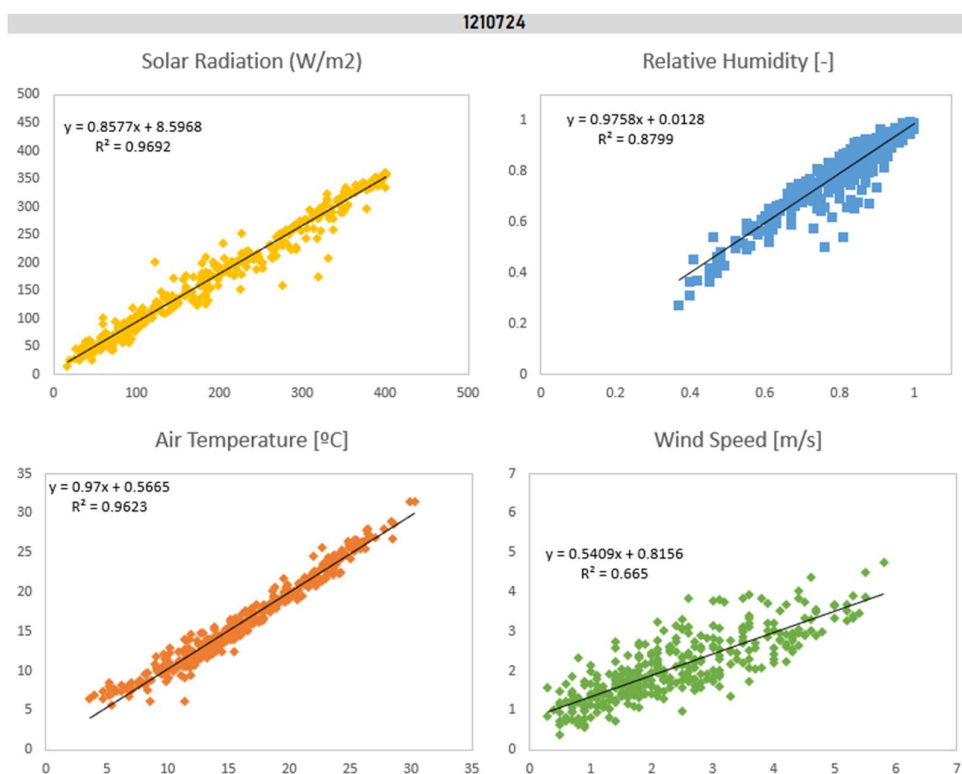


Figura 26 - Gráficos de dispersão das propriedades meteorológicas usadas para o cálculo do ET0, comparadas com o disponibilizado pelo modelo GFS na estação 1210724 - Tomar.

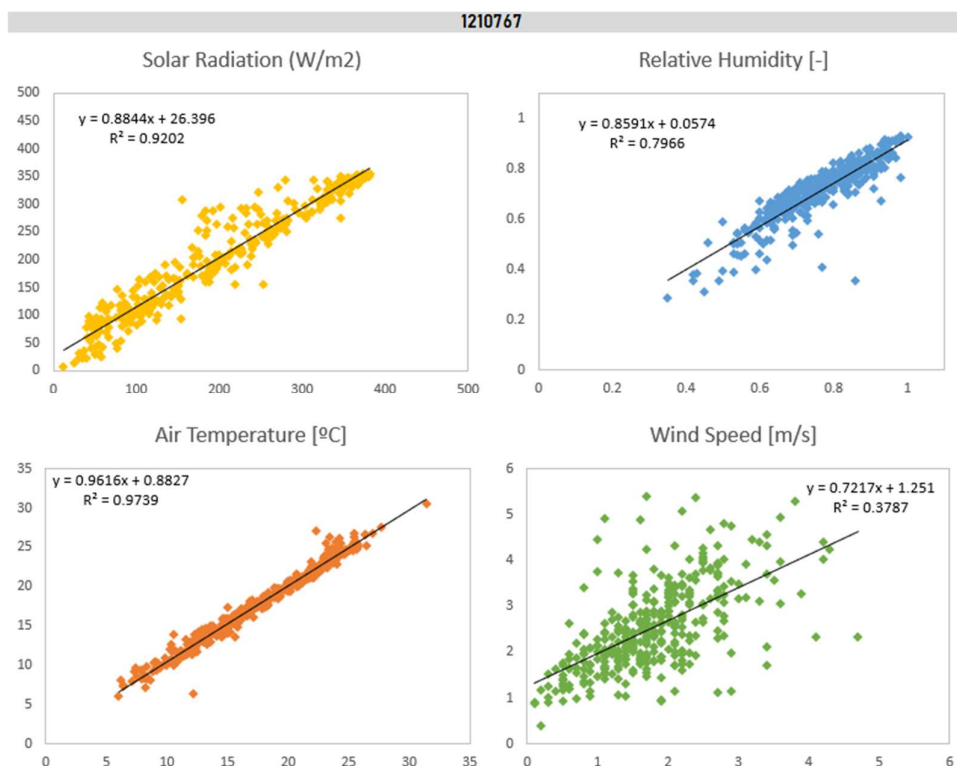


Figura 27 - Gráficos de dispersão das propriedades meteorológicas usadas para o cálculo do ET0, comparadas com o disponibilizado pelo modelo GFS na estação 1210767 - Pegões.

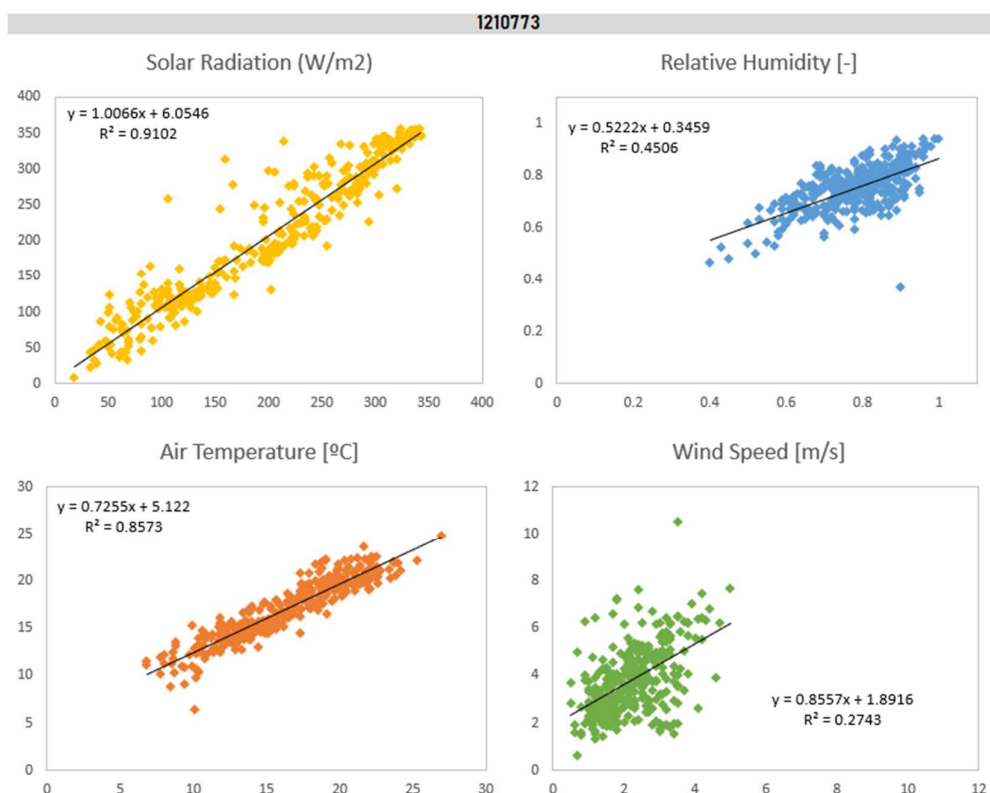


Figura 28 - Gráficos de dispersão das propriedades meteorológicas usadas para o cálculo do ETO, comparadas com o disponibilizado pelo modelo GFS na estação 1210773 - Almada.

Observando as figuras acima, pode-se concluir que existe uma variabilidade na correlação das propriedades de estação para estação, especialmente no que diz respeito à velocidade do vento. Por exemplo, enquanto que na estação 1210724 o coeficiente R^2 é de 0.665, para a estação 1210773, o R^2 é de 0.2743, significativamente mais baixo, oferecendo resultados modelados de velocidade do vento para esta estação de mais baixa qualidade do que para a estação 1210724. Já a temperatura do ar apresentou correlações bastante aceitáveis para todas as estações, assim como a radiação solar.

No que diz respeito a este tipo recursos para complementar lacunas de dados pontuais ou constantes, é sugerido o seu uso, mas recomenda-se uma análise de validação nessas situações, já que a propriedade da velocidade do vento, e em menor dimensão a humidade relativa, podem apresentar resultados modelados que criarão um impacto negativo na qualidade da evapotranspiração de referência calculada.

3.2.2 PADRÃO VS MENOS UMA ESTAÇÃO POR NUT III

Para analisar a qualidade da interpolação, foi realizado um teste que passou pela remoção de uma das estações, neste caso a estação 1210724, pertencente à NUT III Médio Tejo, e repetindo o processo de triangulação descrito em detalhe no capítulo 2.2 Interpolação IPMA 2002-2020.

ESTUDO DE VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA A AGRICULTURA NO VALE DO TEJO E OESTE

A Figura 29 mostra a correlação entre as propriedades observadas na estação para o cálculo de Penman-Monteith com as interpoladas por triangulação na célula da localização da mesma. Observando os gráficos de dispersão, conclui-se que a radiação solar lida pela estação 1210724 apresenta valores significativamente maiores do que os interpolados na malha no cenário da sua inexistência. Assume-se que esses pontos correspondem a leituras anómalas que ocorreram entre os dias 1 de fevereiro de 2014 a 3 de fevereiro de 2014, que apresentaram valores observados de 834, 690 e 852 W/m², sequencialmente, bastante irregulares para a altura do ano em causa.

De notar que o teste exemplificado acima não foi, ainda, realizado para a escala das NUT III. Contudo, é de prever que, uma vez que se trata de uma análise a uma média espacial de um conjunto de várias células, a presença de leituras anómalas seria porventura suavizada por agregação espacial.

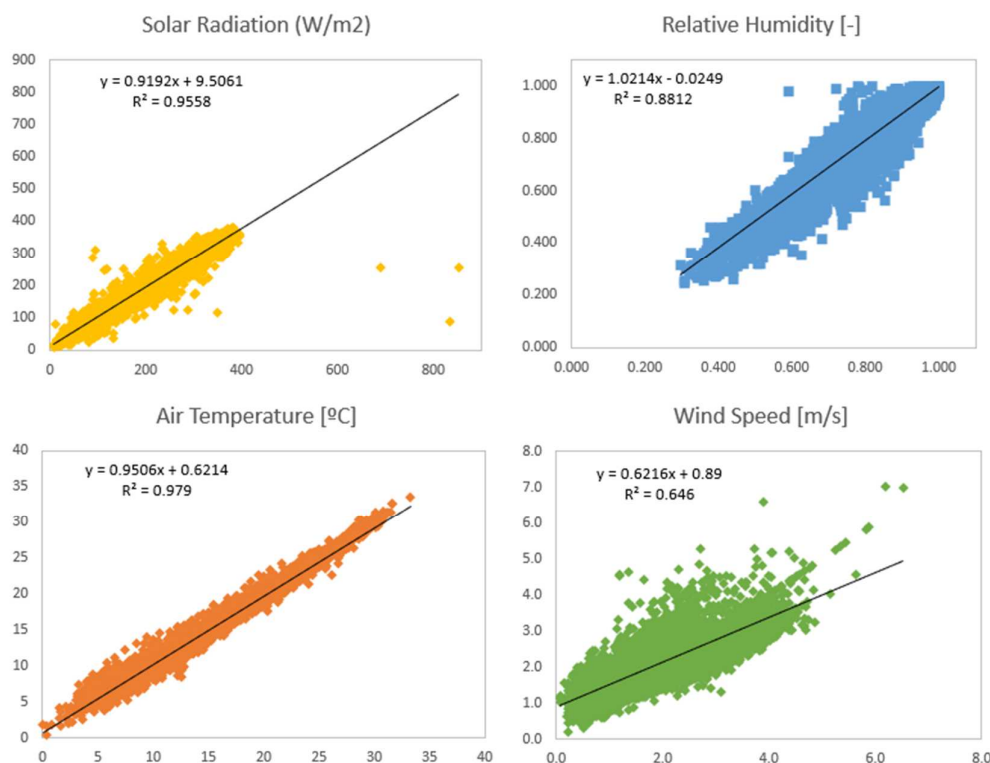


Figura 29 - Gráficos de dispersão das leituras meteorológicas usadas para o cálculo do ET0 na célula da estação 1210724 – Tomar - comparadas com os resultados interpolados para as mesmas propriedades na mesma célula num cenário de inexistência da mesma estação.

3.2.3 PADRÃO VS TEMPERATURA DO IBERIA01

A Figura 29 mostra que a temperatura é a variável que apresenta melhores resultados quando se realizou a interpolação. Deste modo não se considerou necessário analisar os dados de temperatura do iberia01.

3.3 ET0

3.3.1 PADRÃO (2002-2020)

A Figura 30 e Figura 31 representam a evapotranspiração de referência (ET0) mensal média em milímetros por mês e média anual, respetivamente, em milímetros por ano. Refletindo o ciclo anual da temperatura do ar e da radiação solar, como seria de espera, a curva anual da evapotranspiração de referência média mensal atinge o pico alto em Julho e mínimo entre Janeiro e Dezembro. A região da Beira Baixa, com velocidades do vento médias maiores, radiações solares médias maiores e humidades relativas médias menores que as observadas nas restantes demarcações, apresenta também, para a propriedade de evapotranspiração de referência, valores mais elevados.

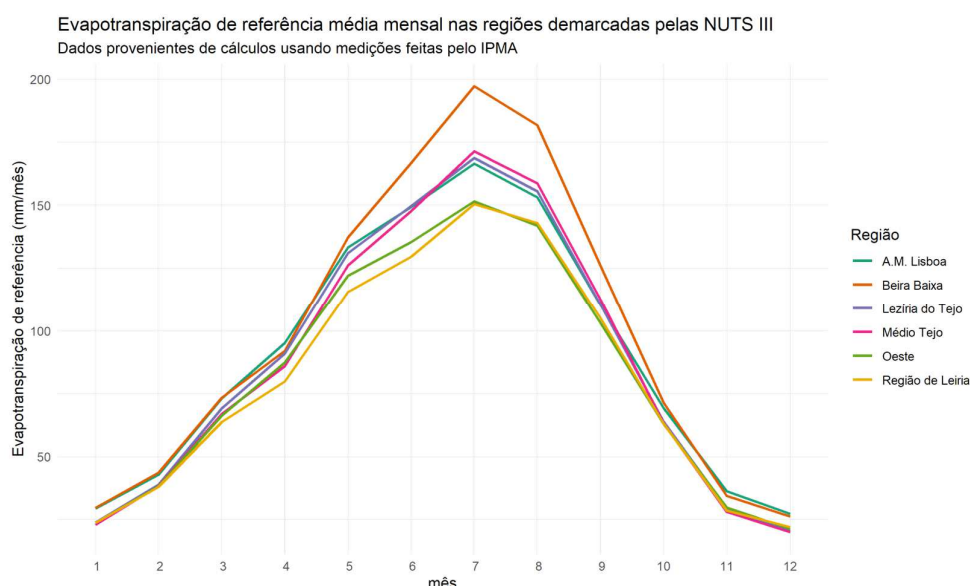


Figura 30 - Gráfico de valores de evapotranspiração de referência média mensal (mm/mês) nas regiões demarcadas pelas NUT III, agregados a partir das leituras das estações meteorológicas do IPMA. Cálculo feito a partir das leituras dos parâmetros meteorológicos do IPMA.

Tabela 13 - Tabela de evapotranspiração de referência acumulada mensal (mm/mês) nas regiões demarcadas pelas NUT III, agregadas a partir das leituras das estações meteorológicas do IPMA, assim como a média aritmética espacial entre regiões NUT III para a mesma propriedade.

Mês	Oeste	Região de Leiria	Beira Baixa	Médio Tejo	A. M. Lisboa	Lezíria do Tejo	Média NUT III
1	23.66	23.72	29.60	22.93	29.37	23.84	25.52
2	38.24	37.97	43.64	38.38	42.92	38.96	40.02
3	66.19	63.79	73.42	66.87	73.12	69.21	68.77
4	87.37	79.91	92.07	85.89	95.18	90.90	88.55
5	122.18	115.67	137.40	126.29	133.44	131.18	127.69
6	135.52	129.62	166.75	147.74	149.33	149.76	146.45

ESTUDO DE VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA A AGRICULTURA NO VALE DO TEJO E OESTE

7	151.56	150.50	197.20	171.43	166.49	168.79	167.66
8	142.01	143.05	181.76	158.74	153.14	155.64	155.72
9	103.06	105.06	126.13	112.63	110.42	110.49	111.30
10	62.94	63.05	71.38	63.24	69.32	63.84	65.63
11	29.84	28.57	34.44	28.07	36.31	29.44	31.11
12	21.36	21.96	26.23	20.05	27.26	20.50	22.89

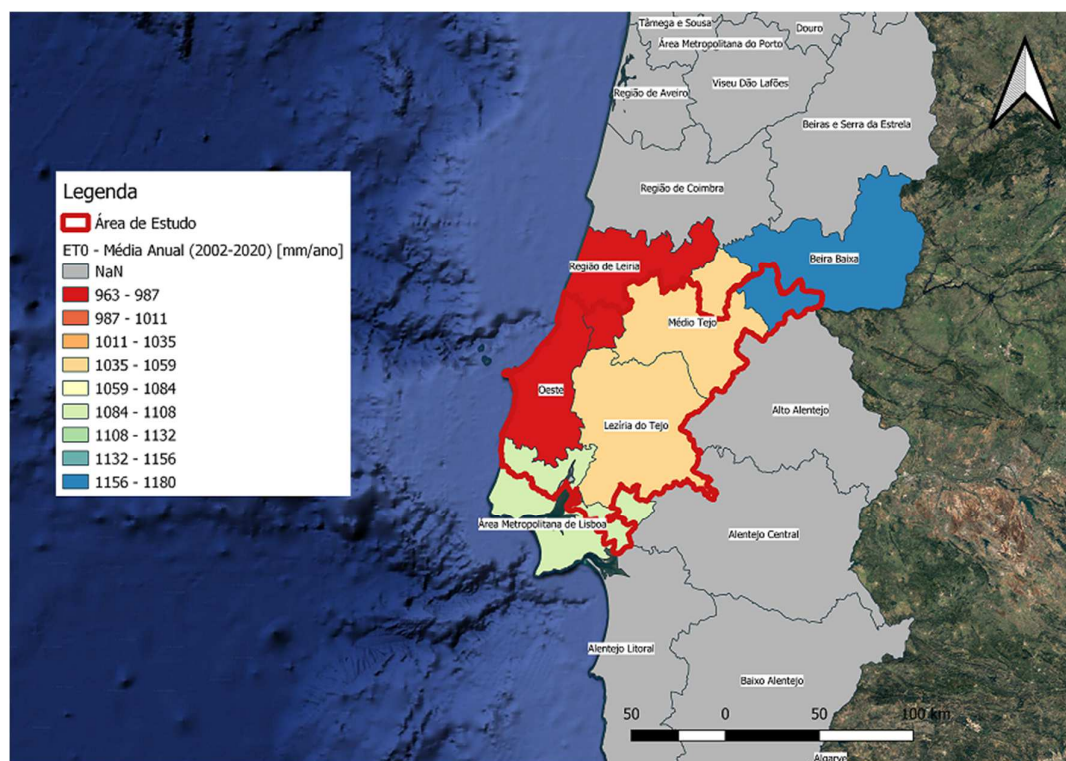


Figura 31 - Representação gradual de cores para a média anual de evapotranspiração de referência (mm/ano) de 2002 a 2020 para as NUTS III que interceam a área de estudo.

3.3.2 PADRÃO VS MENOS UMA ESTAÇÃO POR NUT II

Um outro aspeto a analisar é a validação do método de interpolação por triangulação. De modo a perceber se a abordagem de cálculo escolhida consegue apresentar dados interpolados de evapotranspiração de referência por triangulação entre três estações, foram aproveitados os resultados obtidos no capítulo 3.2.2 Padrão vs menos uma estação por nut iii onde é repetido o processo descrito no capítulo 2.2 Interpolação IPMA 2002-2020, com uma das estações em falta para todas as propriedades. A evapotranspiração de referência na célula da estação em falta do resultante HDF5 foi comparada com a equivalente do output completo que inclui a série temporal da mesma estação.

Para o efeito, foi escolhida a estação 1210724, um ponto relativamente central na malha, como estação a ser removida do processo de cálculo para o teste descrito. A Figura 32 apresenta um gráfico de dispersão da evapotranspiração de referência na célula que inclui a estação 1210724,

indicativo da correlação entre a evapotranspiração calculada pelas propriedades lidas pela estação e a interpolação efetuada na mesma célula considerando que essa estação não existe.

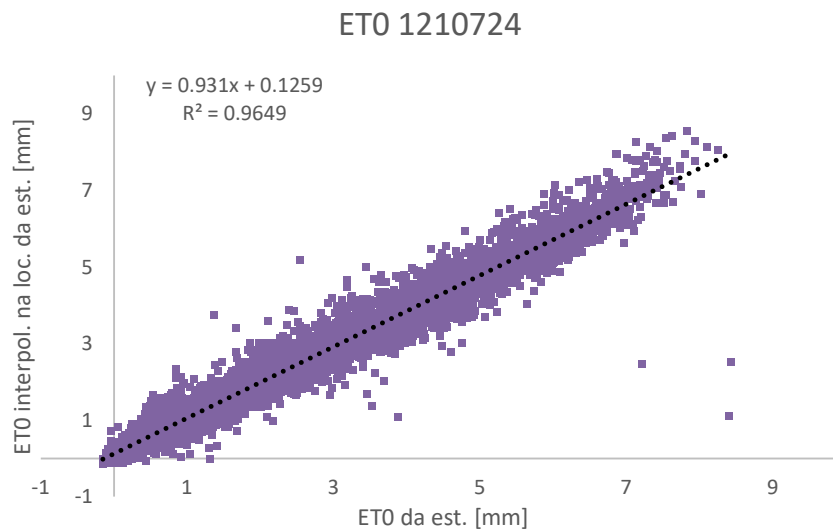


Figura 32 - Gráfico de dispersão para a correlação da evapotranspiração calculada pelas propriedades lidas pela estação 1210724 - Tomar - com a evapotranspiração calculada por triangulação na mesma célula.

Como se pode verificar, a interpolação efetuada pelo método de triangulação apresenta valores de evapotranspiração de referência muito bem correlacionados com os calculados a partir dos valores lidos pela estação meteorológica 1210724. Existem, contudo, alguns pontos em que a evapotranspiração de referência observada na estação apresenta valores significativamente maiores que os valores gerados pela ferramenta de cálculo de ET0.

Observando os gráficos de dispersão da Figura 29, conclui-se que é a radiação solar a propriedade responsável pelos pontos mais anómalos da Figura 32. A Figura 33 contribui para a conclusão tirada.

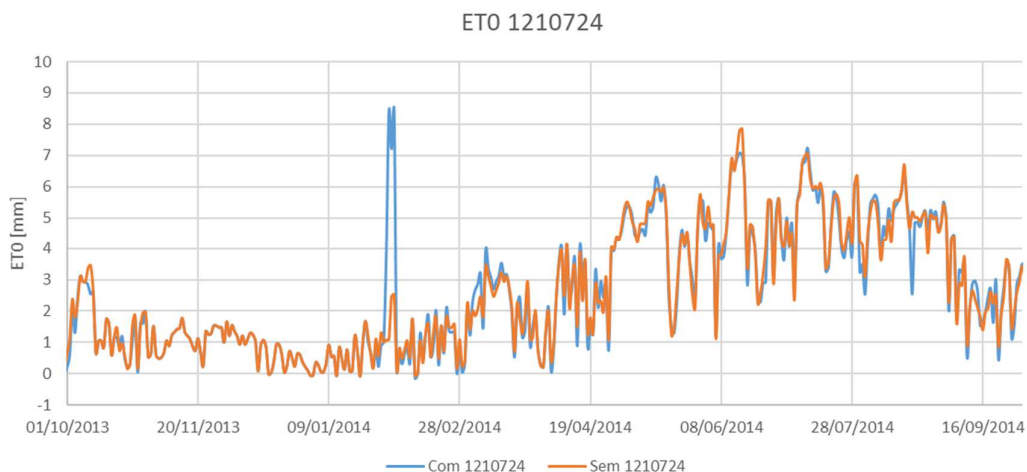


Figura 33 - Séries temporais de ETO calculado na célula da localização da estação 1210724, para o produto final que inclui as propriedades lidas pela estação meteorológica (azul), comparando um cenário em que a evapotranspiração de referência foi calculada para a mesma célula por triangulação das estações vizinhas (laranja).

Poderá ser útil repetir o mesmo processo para outras células na malha com outras estações em falta de modo a concluir sobre a homogeneidade da conclusão tirada para o teste realizado com a estação 1210724, assim como da existência de restantes leituras anómalas noutras estações usadas para o cálculo interpolado por triangulação.

3.3.3 ETO 2002-2011 vs ETO 2011-2020

De modo a compreender tendências anuais, foi feita uma análise temporal e espacial de evapotranspiração de referência, dividindo o período de resultados em dois grupos, de Setembro de 2002 a Agosto de 2011 e de Setembro de 2011 a Dezembro de 2020. Este tipo de estudo permite concluir sobre tendências mensais e anuais da evapotranspiração de referência produzida pela metodologia apresentada.

A Figura 34, Tabela 14 e Tabela 15 representa a evapotranspiração mensal acumulada média para todas as unidades territoriais que intercetam a área de estudo. Pode-se concluir que a tendência mensal para cada região é bastante semelhante entre a primeira e a segunda metade do período de estudo. É possível, desta forma, concluir que o comportamento mensal acumulado médio da evapotranspiração de referência é uma boa aproximação da curva de ETO mensal acumulada para um determinado ano.

ESTUDO DE VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA A AGRICULTURA NO VALE DO TEJO E OESTE

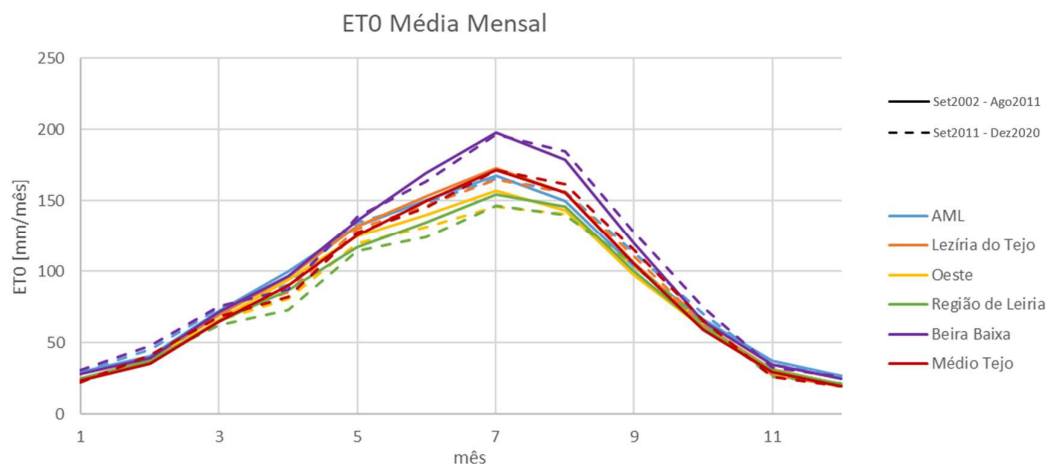


Figura 34 - Evolução média da evapotranspiração de referência acumulada mensal para as NUT III que intercetam a área e estudo. Comparação (linha completa e linha tracejada) entre o período de Setembro de 2002 a Agosto de 2011 e Setembro de 2011 a Dezembro de 2020.

Tabela 14 - Valores de evapotranspiração de referência acumulada mensal para as NUT III que intercetam a área de estudo para todos os meses médios do ano durante do período de Setembro de 2002 a Agosto de 2011.

Mês	AML	Lezíria do Tejo	Oeste	Região de Leiria	Beira Baixa	Médio Tejo
Jan	29	25	24	25	28	24
Feb	41	38	36	37	39	36
Mar	72	70	67	65	71	65
Apr	100	96	94	87	97	90
May	132	132	125	117	136	125
Jun	150	153	140	135	170	150
Jul	167	173	157	155	198	171
Aug	150	156	144	146	179	156
Sep	103	106	97	100	119	105
Oct	67	63	60	60	65	59
Nov	37	31	31	30	35	29
Dec	27	21	21	21	25	20
Total Anual	1075	1064	996	978	1162	1030

Tabela 15 - Valores de evapotranspiração de referência acumulada mensal para as NUT III que intercetam a área de estudo para todos os meses médios do ano durante do período de Setembro de 2011 a Dezembro de 2020.

ESTUDO DE VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA A AGRICULTURA NO VALE DO TEJO E OESTE

<i>Mês</i>	<i>AML</i>	<i>Lezíria do Tejo</i>	<i>Oeste</i>	<i>Região de Leiria</i>	<i>Beira Baixa</i>	<i>Médio Tejo</i>
Jan	29	23	23	23	31	22
Feb	45	40	40	39	48	41
Mar	74	69	66	62	76	68
Apr	91	86	81	73	88	82
May	135	130	120	114	139	127
Jun	148	146	131	124	164	146
Jul	166	165	146	146	197	171
Aug	156	156	140	140	185	162
Sep	113	111	104	105	127	115
Oct	70	64	63	64	75	65
Nov	35	27	28	26	33	26
Dec	27	19	21	22	26	20
Total Anual	1089	1036	963	938	1189	1045

A Figura 35 e o gráfico de barras da Figura 36 permitem analisar a variabilidade geográfica e numérica de ET0 das unidades territoriais em causa para a primeira e segunda metade do período de resultados apresentados. A partir das observações conclui-se que existe uma variabilidade de 977 (Leiria) a 1161 (Beira Baixa) mm por ano de ET0 para o período de setembro de 2002 a agosto de 2011 entre as NUT III. Já no período de setembro de 2011 a dezembro de 2020 a diferença maior de ET0 acontece entre as mesmas regiões, desta vez de 938 (Leiria) a 1187 (Beira Baixa) mm por ano entre ambas, uma diferença de 65 mm entre os períodos de análise. Mais ainda, a diferença entre ET0 anual médio entre a primeira e segunda metade do período de estudo foi em média para todas as NUT III de 26 mm por ano, sendo mínima para a Área Metropolitana de Lisboa (14 mm por ano) e máxima para a Região de Leiria (39 mm por ano).

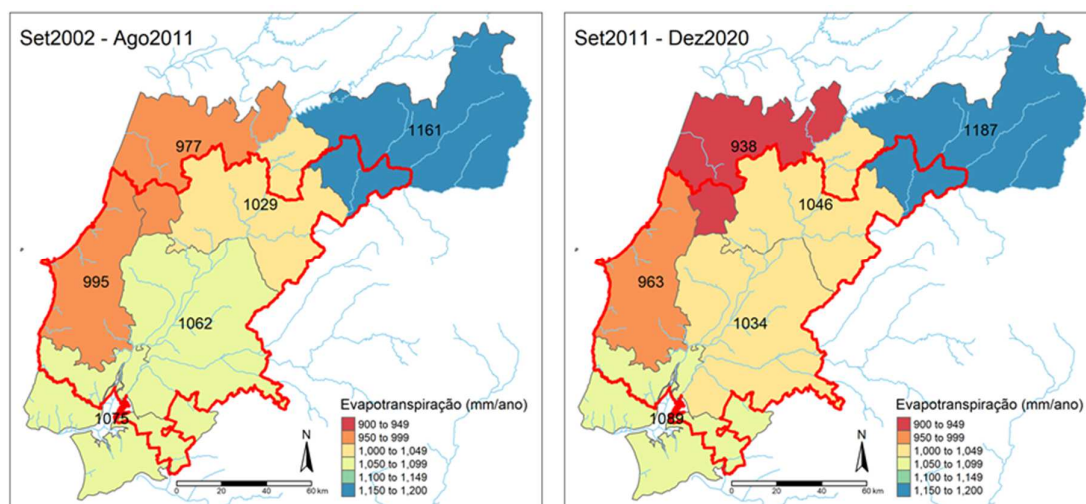


Figura 35 – Evapotranspiração de referência anual média por região agregada pelas estações meteorológicas do IPMA para o período de Setembro de 2002 a Agosto de 2011 (à esquerda) e para o período de Setembro de 2011 a Dezembro de 2020 (à direita).

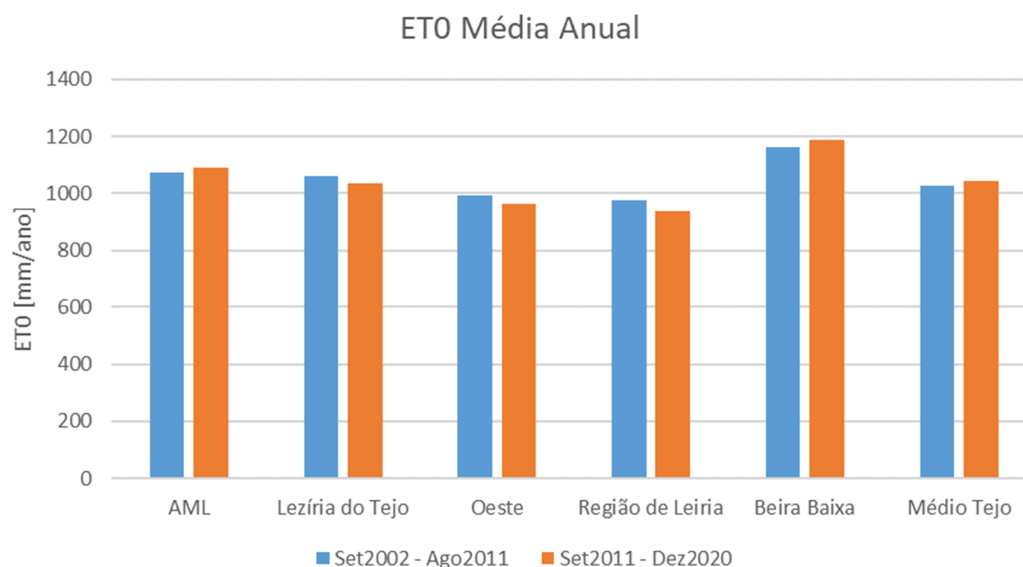


Figura 36 - Gráfico de barras da evapotranspiração acumulada anual média para o período de Setembro de 2002 a Agosto de 2011 (barras azuis) e para o período de Setembro de 2011 a Dezembro de 2020 (a laranja).

4 CONCLUSÕES

A ET0 e a precipitação são duas variáveis essenciais para estimar as necessidades presentes e futuras das culturas na zona de estudo. Duas fontes de dados principais foram usadas para obter séries representativas destas duas variáveis. Primeiro, um conjunto de dados 24 estações meteorológicas com diversos parâmetros meteorológicos, disponibilizado pelo IPMA. Segundo,

ESTUDO DE VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA A AGRICULTURA NO VALE DO TEJO E OESTE

um conjunto de dados numa malha regular construída com base em dados observados de precipitação e temperatura de várias fontes. A ET₀ foi calculada com base no primeiro conjunto de dados.

Uma malha foi criada com o objetivo de distribuir espacialmente a evapotranspiração de referência e a precipitação. A malha criada é um corte espacial da malha Iberia01, facilitando assim a comparação entre os dados interpolados e os dados do Iberia01.

Foram usadas duas ferramentas que recorrem à equação de Penman-Monteith para o cálculo da Evapotranspiração: Mohid Land e ET₀ calculator da FAO. Ambas deram resultados semelhantes.

Os dados de precipitação padrão usados para 2002-2015 (Iberia01) variam entre 677mm/ano na “Lezíria do Tejo” e 871mm/ano na “Região de Leiria”. Por outro lado a precipitação Iberia01 calculada para o período completo (1971-2015) é menor em todas as regiões NUT III na precipitação padrão para o período de 2002 e 2015, exceto pela “Área Metropolitana de Lisboa” e “Região do Oeste”. Os valores anuais variam 701 mm/ano na “Lezíria do Tejo” e 956 mm/ano na “Região de Leiria”. A variabilidade de alguns conjuntos de dados, em relação ao padrão, pode ser significativo (superior a 80 mm) para algumas NUT enquanto outras como a “Região do Oeste” a variabilidade é muito inferior.

A diferença entre ET₀ anual médio entre o período 2002-2011 e o período 2011-2020 foi em média para todas as NUT III de 26 mm por ano, sendo mínima para a Área Metropolitana de Lisboa (14 mm por ano) e máxima para a Região de Leiria (39 mm por ano). Isto significa que existe pouca variabilidade na ET₀ média dentro do conjunto de dados padrão da ET₀, o que indica que este conjunto de dados é representativo.

5 BIBLIOGRAFIA

- (UE), R. (2014). REGULAMENTO (UE) N.º 868/2014 DA COMISSÃO que altera os anexos do Regulamento (CE) n.º 1059/2003 do Parlamento Europeu e do Conselho relativo à instituição de uma Nomenclatura Comum das Unidades Territoriais Estatísticas (NUTS).
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration guidelines for computing Crop Water Requirements - FAO Irrigation and Drainage Paper 56*. Rome: Food and Agriculture Organization.
- Gutiérrez, J. M., Herrera, S., Cardoso, R. M., Matos Soares, P., Espírito-Santo, F., & Viterbo, P. (2019). Iberia01: Daily gridded (0.1° resolution) dataset of precipitation and temperatures over the Iberian Peninsula. *Iberia01 dataset*.
- Herrera, S. C.-S. (2019). Iberia01: a new gridded dataset of daily precipitation and temperatures over Iberia. *Earth Syst. Sci. Data*, 11.
- Neves, R. (2013). *The MOHID Concept - Ocean modelling for coastal management - Case studies with MOHID*. Lisbon: IST Press.

Valorização dos Recursos Hídricos para a Agricultura no Vale do Tejo e Oeste

ANEXO 1 – Análise dos dados de Precipitação e ETO

ESTUDO DE VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA A AGRICULTURA NO VALE DO TEJO E OESTE

Raes, D. (2012). *The ETO Calculator Reference Manual, version 3.2*. Rome: Food and Agriculture Organization.