

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA ANIMAL



Impactos das Alterações Climáticas nos Recursos Hídricos do Algarve

Inês Alexandra Roquete Morais

Mestrado em Ecologia e Gestão Ambiental

Dissertação orientada por:
João Pedro Nunes
Luís Dias

2018

Dedicatória e Agradecimentos

Ao Doutor João Pedro Nunes, pela sua orientação e apoio, pela disponibilidade e dedicação no meu processo de aprendizagem e pela partilha de conhecimentos referentes ao tema.

Ao Doutor Luís Dias, pelos votos de confiança e pelas oportunidades que me foram oferecidas.

Aos meus pais, por me terem incentivado a atingir e a concluir este grau académico.

ABSTRACT

Mediterranean regions are highly vulnerable to climate change, which is expected to lead to lower precipitation and higher temperatures, with consequences for evapotranspiration demands and for the available water to meet them through irrigation. Adapting to climate changes therefore requires changes to how water resources are used, and on the type of crops selected for irrigation, in order to conserve water and maintain a sustainable agriculture. This work presents a study for the Algarve region in southern Portugal. The main objective is to understand how water resources' supply and demand will (have to) change in a drier future. Therefore, the work focuses on the region's most important reservoirs and the corresponding irrigation networks, comprising 3 distinct irrigation systems; irrigated cultures are dominated by citrus orchards, corn, green vegetables and rice. Monthly water balance was calculated using the Thornthwaite Mather sequential approach, which takes into account precipitation, potential evapotranspiration, soil water retention and runoff generation properties, and vegetation water use properties. The model was calibrated for one of the reservoirs and its corresponding irrigation network, and validated for a second reservoir-irrigation system. After the model application to present climatic conditions (1970-2005 climatic normal), future scenarios were simulated in three different periods: 2006-2040, 2041-2070, and 2071-2100. Emission scenarios RCP 4.5 (mid-level) and 8.5 (severe) were taken into account, as simulated by nine regional climate models using EUROCORDEX results, which will take into account both scenario and model uncertainty. The results were used to assess changes to water stress using the Water Exploitation Index, i.e. the rate of water demand over water supply, and to identify the most pressing adaptation needs for water conservation.

Key-words: Thornthwaite Mather, Mediterranean Climate, Irrigated Agriculture, 4.5 and 8.5 RCP Scenarios, Basins

RESUMO

As regiões mediterrânicas são bastante vulneráveis às alterações climáticas, o que se espera que resulte em temperaturas mais elevadas e diminuição da precipitação, com consequências para a evapotranspiração e, conseqüentemente, para a pressão sobre a água disponível para irrigação. A adaptação às alterações climáticas exige, portanto, mudanças na forma como os recursos hídricos são utilizados e no tipo de culturas que são irrigadas, a fim de conservar a água e manter uma agricultura sustentável. Este trabalho apresenta um estudo para a região do Algarve, no sul de Portugal. O principal objetivo é compreender como a oferta e o consumo de Recursos Hídricos irá (ou terá de) mudar num cenário mais árido. A análise centra-se nas bacias hidrográficas mais importantes da região e nas redes de irrigação correspondentes, composto por 3 sistemas de irrigação distintos; as culturas irrigadas são dominadas por pomares cítricos, milho, hortícolas e arroz. O balanço hídrico mensal foi calculado utilizando o modelo hídrico Thornthwaite Mather, que utiliza a precipitação, a evapotranspiração potencial, a retenção de água do solo e propriedades de geração de escoamento, a vegetação e as propriedades de utilização de água. Após a aplicação do modelo para a situação de referência (normal climatológica 1970-2005), os cenários futuros gerados foram divididos em três diferentes períodos: 2006-2040, 2041-2070, e 2071-2100. Foram considerados os cenários de emissões do RCP 4.5 (nível médio) e 8.5 (grave), conforme simulados por nove modelos climáticos regionais que utilizam resultados EUROCORDEX. Os resultados foram depois utilizados para compreender o stress hídrico através do Índice de Exploração de Água e identificar potenciais medidas de adaptação.

Palavras-Chave: Thornthwaite Mather, Clima Mediterrâneo, Agricultura Irrigada, Cenários RCP 4.5 e RCP 8.5, Bacias Hidrográficas

Índice

Abstract	iii
Resumo.....	iv
1. Introdução.....	1
1.1. O clima mediterrânico e necessidades de irrigação.....	1
1.2. Evolução histórica da irrigação no Algarve	1
1.3. A situação atual de escassez de água.....	2
1.4. Cálculo do balanço hídrico e necessidades de irrigação	3
1.5. Desafios postos pelas alterações climáticas	3
1.6. Objetivos a serem resolvidos neste trabalho (Questões)	4
2. Áreas de Estudo.....	5
2.1. Descrição Geral	5
2.2. Unidades de Resposta Hidrológica.....	7
2.2.1. Carta de Ocupação de Solos	8
2.2.2. Carta de Solos FAO.....	8
3. Metodologia.....	9
3.1. Dados Climáticos e Hidrométricos.....	9
3.1.1. Metodologia e Harmonização de Dados Climáticos	9
3.1.2. Evapotranspiração Potencial	10
3.1.3. Caudal e Consumo Agrícola.....	10
3.2. Modelo de Balanço Hídrico Thornthwaite Mather	11
3.2.1. Descrição do modelo	11
3.2.2. Parametrização	11
3.2.3. Calibração e Validação.....	12
3.3. Cenários de Alterações Climáticas	25
4. Resultados.....	27
4.1. Situação de Referência	27
4.2. Cenários de Alterações Climáticas	29
4.3. Índice de Exploração da Água.....	32
5. Discussão	38
6. Conclusões.....	40
7. Bibliografia.....	41

Lista de Figuras

Figura 2.1 Bacias Hidrográficas e Aproveitamentos Hidroagrícolas em Exploração Fonte: Própria, com base nos dados do Atlas Ambiente e da DGT	5
Figura 3.1 Estações Meteorológicas utilizadas para recolher dados de precipitação e temperatura Fonte: Própria, com base nos dados do Atlas Ambiente da Agência Portuguesa do Ambiente e da DGT.....	9
Figura 3.2 Estações Hidrométricas utilizadas para recolher dados de caudal e consumos agrícola e municipal Fonte: Própria, com base nos dados do Atlas Ambiente e da DGT	10
Figura 3.3. Fluxograma do funcionamento do modelo Thornthwaite Mather.	11
Figura 3.4 Simulação de caudal na bacia hidrográfica de Bravura	15
Figura 3.5 Simulação de caudal na bacia hidrográfica do Arade.....	15
Figura 3.6 Simulação de caudal na bacia hidrográfica de Odelouca	16
Figura 3.7 Simulação de caudal na bacia hidrográfica de Odeleite	16
Figura 3.8 Simulação de caudal na bacia hidrográfica de Beliche.....	17
Figura 3.9 Simulação de necessidades de rega na área de irrigação de Lagos	18
Figura 3.10 Simulação de necessidades de rega na área de irrigação de Portimão.....	18
Figura 3.11 Simulação de necessidades de rega na área de irrigação de Tavira.....	19
Figura 4.1 Médias de escoamento por ano hidrológico e média de consumos em Bravura. 1970-2005.....	27
Figura 4.2 Médias de escoamento por ano hidrológico e média de consumos em Arade. 1970-2005	28
Figura 4.3 Médias de escoamento por ano hidrológico e média de consumos em Odelouca. 1970-2005.....	28
Figura 4.4 Médias de escoamento por ano hidrológico e média de consumos em Odeleite-Beliche. 1970-2005	29
Figura 4.5 Medianas de Escoamento Superficial e necessidade de Irrigação de 1970 a 2100 para o sistema de Bravura-Lagos	30
Figura 4.6 Medianas de Escoamento Superficial e necessidade de Irrigação de 1970 a 2100 para o sistema de Arade-Portimão	30
Figura 4.7 Medianas de Escoamento Superficial e necessidade de Irrigação de 1970 a 2100 para o sistema de Odelouca.....	31
Figura 4.8 Medianas de Escoamento Superficial e Consumo Doméstico de 1970 a 2100 para o sistema de Odeleite e Beliche-Tavira.....	31
Figura 4.9 Índice de Exploração de Água em cada um dos sistemas.....	32
Figura 4.10 Índice de Exploração da Água de 1970 a 2100 no sistema Bravura-Lagos	33

Figura 4.11 Índice de Exploração da Água de 1970 a 2100 no sistema Arade-Portimão.....	33
Figura 4.12 Índice de Exploração da Água de 1970 a 2100 no sistema Odelouca	34
Figura 4.13 Índice de Exploração da Água de 1970 a 2100 no sistema Odeleite e Beliche - Tavira	34
Figura 4.14 Índice de Exploração da Água no cenário de RCP 4.5 para o período de 2006- 2040.....	35
Figura 4.15 Índice de Exploração da Água no cenário de RCP 4.5 para o período de 2041- 2070.....	35
Figura 4.16 Índice de Exploração da Água no cenário de RCP 4.5 para o período de 2071- 2100.....	36
Figura 4.17 Índice de Exploração da Água no cenário de RCP 8.5 para o período de 2006- 2040.....	36
Figura 4.18 Índice de Exploração da Água no cenário de RCP 8.5 para o período de 2041- 2070.....	37
Figura 4.19 Índice de Exploração da Água no cenário de RCP 8.5 para o período de 2071- 2100.....	37

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 Características das Bacias Hidrográficas, Cálculos simulados com base nos dados do SNIRH.....	6
Tabela 2.2 Planos de Gestão de Região Hidrográfica - 2.º Ciclo, (PGRH8; APA, 2016) Parte 2, 2016 (modificado: distinção entre RH7 e RH8).....	6
Tabela 2.3 Unidades de Resposta Hidrológica para cada Bacia Hidrográfica.....	7
Tabela 2.4 Unidades de Resposta Hidrológica para cada Área de Irrigação	8
Tabela 2.5 Grupos e subgrupos de solo no Algarve. Classificação FAO, 1974	8
Tabela 3.1. Avaliação do Modelo (Moriasi et al., 2007)	13
Tabela 3.2 Avaliação do Modelo para as Bacias Hidrográficas onde existem dados disponíveis de caudal observado no SNIRH	20
Tabela 3.3 Avaliação do Modelo para as Áreas de Irrigação em estudo	21
3.4 Dados de entrada e dados simulados para Beliche.....	21
3.5 Dados de entrada e dados simulados para Odeleite	22
3.6 Dados de entrada e dados simulados para Tavira	22
3.7 Dados de entrada e dados simulados para Odelouca.....	23
3.8 Dados de entrada e dados simulados para Bravura	23
3.9 Dados de entrada e dados simulados para Lagos	24
3.10 Dados de entrada e dados simulados para Arade-Funcho.....	24
3.11 Dados de entrada e dados simulados para Portimão	25
3.12 Características dos modelos climáticos.....	26
Tabela 4.1 Percentagem de anos hidrológicos em situação de seca para cada sistema, na normal 1970-2005	29

1. INTRODUÇÃO

1.1. O CLIMA MEDITERRÂNICICO E NECESSIDADES DE IRRIGAÇÃO

O Clima Mediterrânico é uma classificação qualitativa que pode ser utilizada para definir o clima de outras regiões, normalmente mais pequenas, que não a região mediterrânica (e.g. classificação Köppen-Geiger Peel, Finlayson, & McMahon, 2007). Este clima é característico de invernos suaves e húmidos e verões secos e quentes, e normalmente ocorre a Oeste dos continentes (Portugal no caso do continente europeu), e em latitudes de 30° a 40°, onde se situa o Algarve, com a latitude de cerca de 37° (Schroeder et al., 2012). Segundo a classificação de Köppen-Geiger, no âmbito regional, a região é do tipo Csa, tratando-se de um clima temperado/mesotérmico, com verão quente devido à temperatura média do ar do mês mais quente ser superior a 22°C. Nesta região, a agricultura precisa de ser irrigada devido à diminuição da precipitação a partir da primavera, época propícia ao crescimento das culturas.

Segundo o Plano de Gestão da Região Hidrográfica da RH8, plano que diz respeito às ribeiras do Algarve, esta região tem uma precipitação relativamente irregular ao longo do ano, resultando num total médio anual de 689mm. O semestre mais chuvoso (de Outubro a Março) compreende um total de 540mm (80%) de precipitação média anual, sendo Dezembro o mês mais chuvoso. Como referido anteriormente, verifica-se que os meses mais chuvosos são também os meses com temperaturas mais baixas, enquanto que os meses com menos precipitação (de Junho a Setembro) são os meses com temperaturas mais elevadas. Por outro lado, a evapotranspiração potencial média anual regista-se no valor de 802 mm.

De acordo com Feddema, 2005, o clima desta região hidrográfica, na classificação de Thornthwaite, é maioritariamente sub-húmido seco, sendo que na estação de Barragem de Bravura se pode considerar sub-húmido.

1.2. EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA IRRIGAÇÃO NO ALGARVE

Monteiro, 2005, fornece uma perspetiva da evolução histórica da irrigação. Antes da construção das infraestruturas que atualmente existem, e até à primeira metade do século XX, era através de poços de pouca profundidade, picotas e noras que se fornecia água na região do Algarve. O seu armazenamento, por sua vez temporário, era mantido em tanques e cisternas. Nos anos 50 foram construídas as barragens de Bravura e do Arade, as primeiras infraestruturas que forneceram água a nível regional, a partir de águas superficiais. O crescimento exponencial do consumo de água verificou-se uma década depois da construção das primeiras barragens, devido à introdução do turismo da região e ao aparecimento da agricultura de regadio em grande escala. Este aumento de necessidade de consumos foi correspondido com o aparecimento de tecnologias que permitiram furos mais profundos e captação de água em aquíferos menos acessíveis. Em 1986 foi construída a barragem de Beliche e iniciou-se então o segundo período de construção de infraestruturas, que possibilitou a capacidade de armazenamento e regularização de águas superficiais no Algarve que se verificam atualmente. A última fase da construção das principais barragens da região algarvia decorreu na década de 90, aquando a construção das infraestruturas relacionadas com a manutenção das redes públicas de abastecimento urbano. Paralelamente, assistiu-se à substituição dos sistemas sustentados por captações de águas subterrâneas por captações de águas superficiais.

A irrigação do Algarve foi, então, até 1998, principalmente centrada nos recursos hídricos subterrâneos. No entanto, estes eram insuficientes, havendo assim uma necessidade de considerar

simultaneamente a captação dos recursos superficiais. Neste sentido, investiu-se em novas infraestruturas (construção da barragem do Funcho e da barragem de Odeleite, tratamento de águas e sistemas de distribuição regional) e reabilitou-se outras (Barragens da Bravura e Beliche). Com o surgimento da empresa Águas do Algarve, no ano de 2000, os recursos hídricos superficiais começaram a ser a principal origem dos consumos da região, tanto que, em 2002, 87% da captação total pública era superficial, constituindo benefícios a nível da qualidade da água e da sua gestão (T. Y. Stigter et al., 2008).

Depois da seca de 2005, mantendo a percepção de que a utilização de apenas recursos hídricos superficiais não seria suficiente, principalmente em situação de seca, a necessidade de recorrer a origens subterrâneas e de integrá-las na gestão da disponibilidade hídrica era cada vez mais a estratégia a adotar no futuro (T. Y. Stigter et al., 2008). No entanto, as barragens existentes outrora não eram suficientes para satisfazer a crescente necessidade e consumos de água verificados, e a proposta de recorrer a origens subterrâneas resultou, na realidade, na construção da segunda maior barragem do país e maior da região do Algarve: a barragem de Odelouca, que começou a fornecer água apenas para consumo doméstico em 2012 (Sul Informação, 2012).

Resumindo, Monteiro, 2005 identificou 3 fases distintas no uso dos recursos subterrâneos do Algarve: a primeira, em que os recursos subterrâneos constituíam a principal origem de captações para a maioria dos usos; a segunda, em que as captações superficiais passaram a fornecer água para abastecimento urbano; e a terceira e última fase, em que os interesses das partes envolvidas iriam conduzir à necessidade de adoção de estratégias e gestão integradas mais eficientes, utilizando recursos superficiais e subterrâneos simultaneamente, tendo esta última fase não se verificado.

O sector agrícola, embora não sendo a principal atividade do Algarve, constitui 3% do Valor Acrescentado Bruto e 5% emprego regionais (2012), sendo um dos sectores que regista mais quantidade de consumo de água, paralelamente com o Turismo. No total, a área agrícola irrigada é cerca de 19 mil hectares. Os aproveitamentos hidroagrícolas (A.H.) em exploração são 5 no total: A.H. de Alvor (Barlavento Algarvio), A.H. de Silves, Lagoa e Portimão, A.H. do Benaciate, A.H. do Mira e A.H. do Sotavento Algarvio. Apesar de existirem 5 A.H. no Algarve, nesta análise foram apenas considerados os 3 principais: Alvor, Silves Lagoa e Portimão e Sotavento Algarvio (Plano de Gestão de Região Hidrográfica RH8 APA, 2016).

1.3. A SITUAÇÃO ATUAL DE ESCASSEZ DE ÁGUA

Devido ao tipo de clima Mediterrânico, característico de verões quentes e secos, é previsível que ocorram períodos de seca com frequência. Verificaram-se dois anos em que a seca se manifestou com graves consequências no Algarve: os anos de 2004 e 2005. A Barragem da Bravura, por exemplo, em Janeiro de 2005 registava apenas 60% da sua capacidade (Mendes, 2010).

Assim, os recursos superficiais revelaram-se insuficientes para satisfazer a procura e consumos da região algarvia, principalmente numa situação de seca. Como consequência destes anos de escassez de água, foi necessário então remediar a situação, integrando alternativas de captação na gestão integrada de recursos hídricos, e uma dessas alternativas seria a utilização estratégica de águas subterrâneas. A Águas do Algarve decidiu então criar furos de emergência no sistema aquífero de Querença-Silves, o principal aquífero do Algarve, e reativar os furos municipais abandonados para abastecimento público em Lagos, Silves e Albufeira. Em 2005, 42% da água para consumo doméstico era proveniente de águas subterrâneas, consequência da seca verificada nesse ano. A gestão da disponibilidade de recursos hídricos no Algarve, pode, no entanto, ter sérios desafios devido às extremas variações

sazonais e anuais características das regiões semi-áridas. Para além disto, o provável aumento do turismo na região, especialmente na época quente e seca, irá fazer com que os consumos de água, por sua vez, também aumentem (T. Y. Stigter et al., 2008).

1.4. CÁLCULO DO BALANÇO HÍDRICO E NECESSIDADES DE IRRIGAÇÃO

O cálculo do balanço hídrico é necessário na simulação das necessidades de irrigação das áreas de estudo. Neste sentido, é adequado apresentar alguma introdução no que diz respeito ao tema Hidrologia. Através de uma equação geral e simplificada de balanço hidrológico, é possível representar o comportamento do ciclo hidrológico, traduzido por:

Equação 1.1 Equação clássica da hidrologia

$$P = R + E + \Delta S$$

Na Equação 1.1, P representa a precipitação, ou seja, a quantidade de água recebida; a variável R representa o escoamento gerado, aglomerando escoamento superficial e subterrâneo; E representa a evapotranspiração e a variável ΔS representa as variações de armazenamento superficial e escoamento subterrâneo, podendo esta ser desprezada para um período de um ou mais anos hidrológicos, ficando a equação traduzida em $P = R + E$ (Rodrigues, Moreira, & Guimarães, 2011).

A evaporação e a transpiração são dois processos difíceis de se distinguirem um do outro, no entanto, ocorrem simultaneamente. Quando a planta está em fase inicial, a perda de água por evaporação no solo é o processo predominante, enquanto que na fase de desenvolvimento, o principal processo é a transpiração. O tipo de cultura, variedade e estado de desenvolvimento deve ser considerado quando o objetivo é o cálculo da evapotranspiração. Diferenças entre características, como a resistência à transpiração, a altura da planta, a sua grossura, reflexão, cobertura do solo e as raízes, resultam em diferentes níveis de Evapotranspiração em diferentes tipos de cultura submetidos às mesmas condições ambientais (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 1998).

1.5. DESAFIOS POSTOS PELAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

Segundo os resultados de Stigter et al., 2014, a temperatura do Algarve central para o período de 2020-2050, irá aumentar de 0.8°C a 1.7° C, e para o período de 2069-2099, irá aumentar de 2.7°C a 4.5°C, significando também aumentos de evapotranspiração. Quanto à precipitação, prevê-se uma oscilação entre -21% a +9% e de -36% a -17%, para os períodos respetivos. Esta diminuição na precipitação não é homogénea durante o ano, verificando-se a diminuição da mesma durante a estação do outono, enquanto o aumento verificado seria apenas durante o inverno, para o período de 2020-2050. No período de 2069-2099, o aumento verificado é referente às estações do outono e da primavera. Estas alterações na temperatura e precipitação conduzem a uma esperada diminuição de recarga e escoamento, considerando também o aumento da evapotranspiração, que por sua vez resulta no aumento das necessidades de irrigação. Os resultados obtidos demonstram simultaneamente que o aumento da frequência das secas será provável, levando à escassez regular de recarga e escoamento nesta região. No entanto, Stigter et al., 2014 concluiu também que, para além do aumento da frequência de anos de seca extrema, também são esperadas anos com cheias mais frequentes, para além do aumento das necessidades de irrigação. Esta heterogeneidade de recursos ao longo do ano, combinada com os impactos socioeconómicos das secas e das cheias, pode trazer várias questões

problemáticas para a temática dos recursos hídricos. Como agravante, o aumento do turismo principalmente observado em época quente e seca e o aumento das necessidades de irrigação constituem uma ameaça para a disponibilidade de recursos hídricos, sendo que esta poderá não ser suficiente para satisfazer as necessidades de irrigação e abastecimento doméstico ao mesmo tempo.

1.6. OBJETIVOS A SEREM RESOLVIDOS NESTE TRABALHO (QUESTÕES)

Um dos principais objetivos desta análise é compreender a relação entre os recursos hídricos disponíveis e as suas necessidades de consumo, principalmente o consumo de irrigação e o doméstico: Qual a relação entre a disponibilidade e o consumo de recursos hídricos no Algarve em cada sistema de recolha de abastecimento de água?

Outro objetivo a alcançar será analisar os quais os impactos das alterações climáticas nesta relação: Quais serão os impactos das alterações climáticas nesta relação oferta-procura?

2. ÁREAS DE ESTUDO

2.1. DESCRIÇÃO GERAL

A região do Algarve é a área de estudo onde estão situadas as 5 albufeiras, e 3 áreas de irrigação analisadas e que serviram de base a este projeto (Figura 2.1). A albufeira de Bravura, no Barlavento Algarvio, para além de fornecer água ao aproveitamento hidroagrícola de Alvor/Lagos, fornece também para uso doméstico e campos de golfe, com consumo total anual de 6 732 dam³. A albufeira de Odelouca tem apenas consumo doméstico/municipal, fornecendo 31 200 dam³/ano para toda a região das Ribeiras do Algarve. Esta albufeira está ligada à albufeira do Funcho pelo túnel Odelouca-Funcho, através do qual a água armazenada na Barragem de Odelouca é transferida até à ETA de Alcantarilha. As albufeiras Arade-Funcho têm um consumo anual total de 9 234 dam³, dirigidos inteiramente à agricultura. Por sua vez, as albufeiras de Odeleite e Beliche funcionam como um sistema conjunto, através de um túnel que faz a ligação entre as albufeiras das duas barragens e faz a transferência de água de uma para a outra, quando necessário. O Sotavento Algarvio (Odeleite e Beliche) tem consumo total anual de 50 527 dam³ (Ver Tabela 2.1) (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos).

Estas bacias hidrográficas, conjuntamente com as áreas de irrigação de Alvor/Lagos, com área de 3,3 km² (6), Silves, Lagoa e Portimão com 12,6 km² (7) e Tavira/Sotavento Algarvio com 28,33 km² (8), foram consideradas como sendo 4 sistemas: Bravura e Lagos (1), Odelouca (2), Arade-Funcho e Portimão (3), Odeleite-Beliche e Tavira (4). Embora esta avaliação se centre nas captações de água superficial, existem ainda captações de origem subterrânea, nomeadamente do aquífero de Querença-Silves (Tabela 2.2). Não foram considerados em separado outros aproveitamentos hidroagrícolas, como por exemplo Odemira, devido à extensão da sua área não ser significativa e a captação da água provir de bacias que não correspondem à área de estudo. A maioria do coberto vegetal nas bacias hidrográficas em estudo identifica-se como Floresta Mediterrânica, Vegetação Esclerófita Densa e Eucalipto, não se verificando grande discrepância entre o tipo de vegetação nas áreas das bacias. Nas áreas de irrigação, a cultura mais presente e comum a todas são os Pomares de Citrinos.

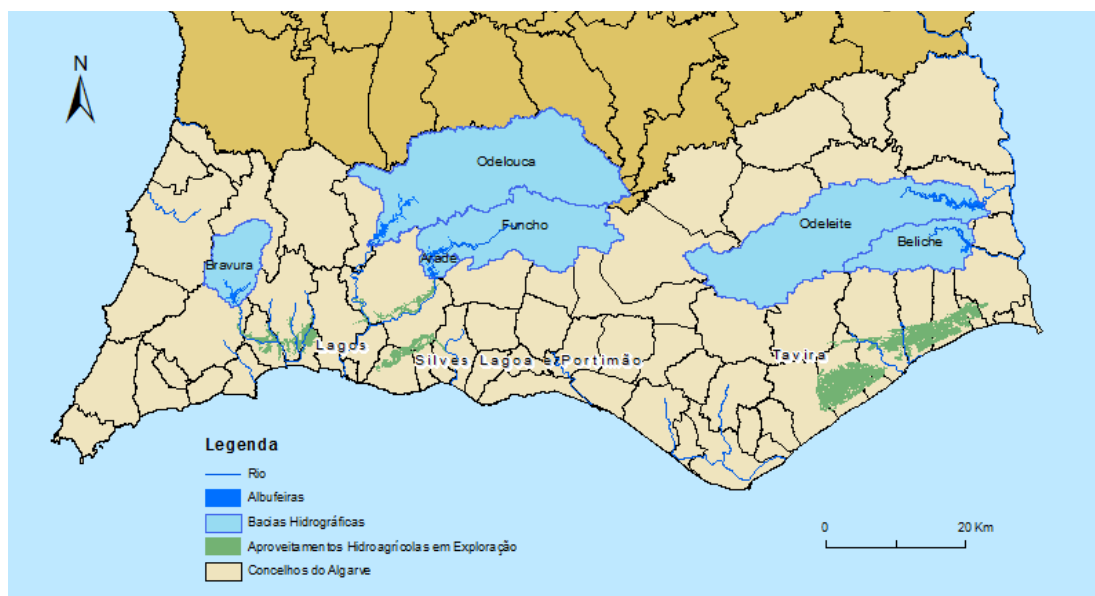


Figura 2.1 Bacias Hidrográficas e Aproveitamentos Hidroagrícolas em Exploração Fonte: Própria, com base nos dados do Atlas Ambiente e da DGT

Tabela 2.1 Características das Bacias Hidrográficas, Cálculos simulados com base nos dados do SNIRH

	Bravura	Odelouca	Funcho-Arade	Odeleite-Beliche
Área da bacia km²	76,6	398,4	224,9	445,9
Caudal Anual dam³/ano	14 342	73 548	64 552	110 100
Escoamento (mm)	187,28	184,60	286,91	474,35
Consumo Agrícola dam³/ano	1 416	-	9 913	16 959
Consumo Doméstico dam³/ano	4 132	31 200	-	33 568
Consumos Diversos dam³/ano	1 183	-	-	-

Tabela 2.2 Planos de Gestão de Região Hidrográfica - 2.º Ciclo, (PGRH8; APA, 2016) Parte 2, 2016 (modificado: distinção entre RH7 e RH8)

Uso	Volume hm³/ano			TOTAL
	Região Hidrográfica 8 (RH8)		Região Hidrográfica 7 (RH7)	
	Superficial	Subterrâneo	Superficial	
Abastecimento Público	35,3	7,99	33,6	76,858
Agricultura	47,01	101,8	17,0	165,769
Golfe	5,4	9,9	-	15,3
TOTAL	87,71	119,69	50,527	257,927

2.2. UNIDADES DE RESPOSTA HIDROLÓGICA

O modelo de balanço hídrico foi aplicado em cada uma das 8 áreas de estudo, e dentro de cada área de estudo, a cada Unidade de Resposta Hidrológica (

Tabela 2.3 e Tabela 2.4). As Unidades de Resposta Hidrológica (URH) são sub-áreas da bacia hidrográfica que são consideradas homogêneas no que diz respeito à sua resposta hidrológica. São caracterizadas recorrendo a variáveis topográficas, como o declive e elevação, e variáveis geográficas, como o tipo de solo, tipo de vegetação e distribuição da precipitação (Prasad, 2015). Para este efeito, consideraram-se estes elementos como sendo o tipo de cobertura do solo e o tipo de solo: Carta de Ocupação de Solos 2010, presente na Direcção-Geral do Território e a Carta Solos da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO). Cada URH corresponde a um sistema, cobertura de solo, e tipo de solo diferentes, ou seja, cada sistema tem várias URHs com características diferentes entre si: cada tipo de cobertura de solo tem um Coeficiente de Desenvolvimento de Cultura, Número de Curva (consultados em NRCS, 1986) e profundidade de raízes próprias, e cada tipo de solo tem a sua Capacidade de Retenção de Água (AWC) e permeabilidade próprios. Estas Unidades fazem parte da aplicação do modelo de balanço hidrológico, tanto na calibração como na validação.

Tabela 2.3 Unidades de Resposta Hidrológica para cada Bacia Hidrográfica

Bacia Hidrográfica	URH1	URH2	URH3
Bravura	Eucalipto (71,5%)	Floresta Mediterrânica (28,5%)	-
Odelouca	Vegetação Esclerófita Densa (31,1%)	Floresta Mediterrânica (60,3%)	Eucalipto (9,6%)
Arade	Vegetação Esclerófita Densa (49,2%)	Floresta Mediterrânica (50,8%)	-
Beliche	Vegetação Esclerófita Densa (61%)	Floresta Mediterrânica (20,6%)	Pomares de Sequeiro (18,4%)
Odeleite	Floresta Mediterrânica (43,2%)	Pinheiro Bravo (21,2%)	Vegetação Esclerófita Densa (35,6%)

Tabela 2.4 Unidades de Resposta Hidrológica para cada Área de Irrigação

Área de Irrigação	URH1	URH2	URH3	URH4
Lagos	Pomares de Citrinos Irrigados (47,2%)	Milho (24,3%)	Vegetais (15,7%)	Vinha (12,8%)
Portimão	Pomares de Citrinos Irrigados (80,6%)	Arroz (11,8%)	Milho (7,6%)	-
Tavira	Pomares de Citrinos Irrigados (78,1%)	Pastagem (15,6%)	Cereais (6,3%)	-

2.2.1. Carta de Ocupação de Solos

Considerando que o modelo de balanço hídrico é aplicado individualmente a cada URH, uma quantidade menor das mesmas levaria a um processo de cálculo mais acessível e mais rápido, na medida em que a sua aplicação não seria tão fragmentada. No entanto, no âmbito de ser realizada uma análise mais cuidada e rigorosa da ocupação do solo, foi utilizado o nível 5 da COS, nível este em que há elevada distinção entre o tipo de coberto vegetal e elevada quantidade de classes.

Neste sentido, foi aplicado um critério em que: se a área da classe não é maior ou igual a 10%, esta será incluída numa classe semelhante. Assim, classes em que não faria diferença haver distinção entre elas, seriam consideradas como pertencendo à mesma URH. Este critério foi bastante útil na aplicação do modelo e na sua simplificação, e com capacidade de produzir resultados igualmente satisfatórios.

2.2.2. Carta de Solos FAO

A carta de solos indica no mapa quais os tipos de solo existentes nas áreas de estudo. No Algarve, existem os seguintes solos, representados na Tabela 2.5:

Tabela 2.5 Grupos e subgrupos de solo no Algarve. Classificação FAO, 1974

Grupos de Solos	Cambissolos	Fluvissoles	Litossolos	Luvissolos	Podzóis	Regossolos	Solonchaks	Vertissolos
Cromicos calcários	x							x
Eutricos	x		x			x		
Húmicos	x							
Calcários		x						
Ferricos		x		x				
Orticos				x	x			
Rodocromicos				x				
Rodocromicos Cálcicos				x				
Gleizados							x	

3. METODOLOGIA

A avaliação das vulnerabilidades atuais no que respeita aos recursos hídricos foi realizada em 5 fases: (1) recolha, tratamento e análise de dados; (2) aplicação do modelo de balanço hídrico Thornthwaite-Mather (T. Y. Stigter et al., 2014) às bacias hidrográficas, aproveitamentos hidroagrícolas, e aquífero de Querença-Silves; (3) calibração do modelo hidrológico para a situação de referência; (4) validação do modelo hidrológico para a situação de referência; (5) simulação de caudais e necessidades de irrigação e sua aplicação no cenário histórico e de alterações climáticas.

3.1. DADOS CLIMÁTICOS E HIDROMÉTRICOS

3.1.1. Metodologia e Harmonização de Dados Climáticos

Na aplicação do modelo foram diferenciadas as bacias hidrográficas, em que há simulação de dados de caudal disponível, das áreas de irrigação, em que há simulação de necessidades de rega.

Os dados meteorológicos utilizados neste projeto tiveram origem nas estações meteorológicas de 1. Barragem da Bravura, 2. Lagos, 3. Barragem do Arade, 4. Algoz, 5. Barragem do Beliche e 6. Picota, consultadas no SNIRH (Figura 3.1). Os valores de Barragem do Arade foram considerados não só para o Arade, mas também para Odelouca. Os valores da estação da Barragem de Beliche foram também aplicados em Odeleite. A precipitação total mensal, a temperatura média, mínima e máxima mensal foram as variáveis necessárias para a aplicação do modelo de balanço hídrico. A ausência de alguns valores mensais nestes dados climáticos solucionou-se através da aplicação de uma regressão linear entre estes e dados retirados do *E-OBS (European Climate Assessment & Dataset*, fazendo a correspondência entre estações mais próximas. Pontos do E-OBS utilizados: Bravura e Lagos P2 (37,125; -8,625), Odelouca, Arade-Funcho e Portimão P3 (37,125; -8,375), Tavira P6 (37,125; -7,625), Odeleite e Beliche P13 (37,375; -7,625).

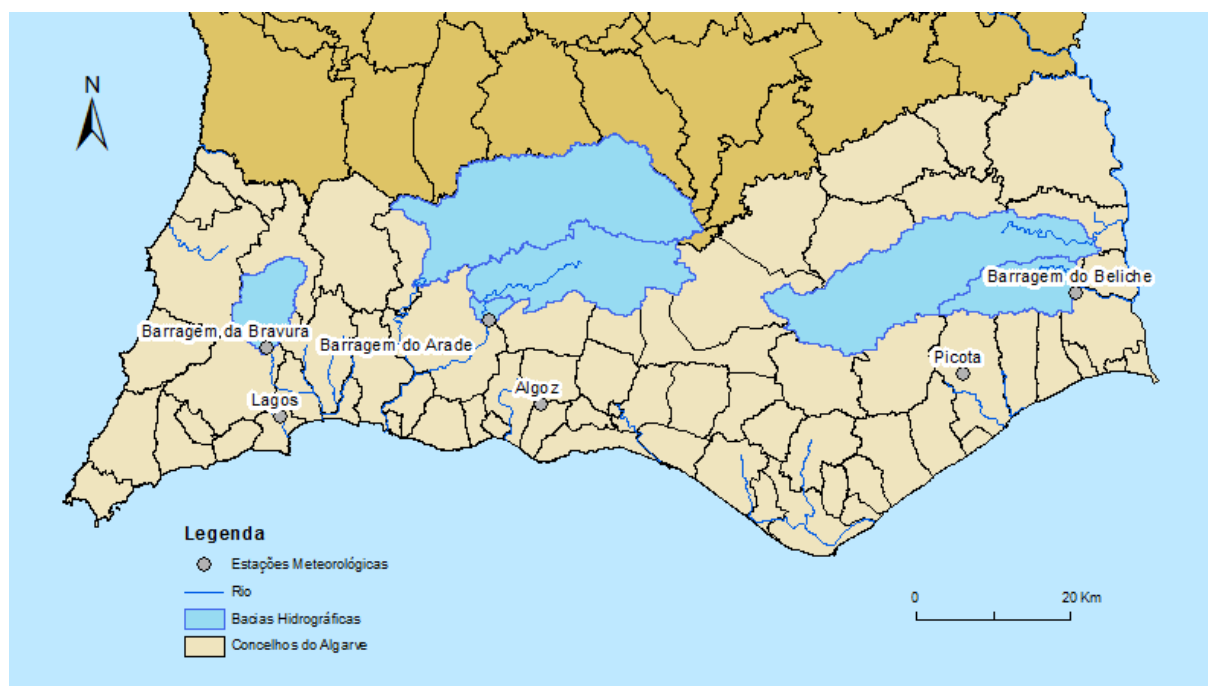


Figura 3.1 Estações Meteorológicas utilizadas para recolher dados de precipitação e temperatura Fonte: Própria, com base nos dados do Atlas Ambiente da Agência Portuguesa do Ambiente e da DGT

3.1.2. Evapotranspiração Potencial

A evapotranspiração potencial foi calculada através do método Hargreaves, usando apenas a temperatura média, máxima e mínima e indicando a latitude da estação meteorológica. Segundo (T. Y. Stigter et al., 2014), este método tem elevada correlação com o método de Penman, quando aplicados à região do Algarve. Além disso, a ausência de dados suficientes nos cenários para aplicar o método de Penman, nomeadamente humidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento, levou a que o método de Hargreaves fosse o método aplicado.

3.1.3. Caudal e Consumo Agrícola

As estações hidrométricas do SNIRH, por sua vez, foram as utilizadas para recolher valores de caudal e, quando disponível, consumo municipal e agrícola. Odeáxere (1), Foz do Ribeiro (2), e Atalisca (3) fazem correspondência com as Albufeiras de Bravura, Arade e Beliche, respetivamente. Devido à ausência de dados de caudal diário na estação hidrométrica de Odeáxere (Ver Figura 3.2), recorreu-se às equações das curvas de vazão e ao nível hidrométrico instantâneo para realizar os cálculos.

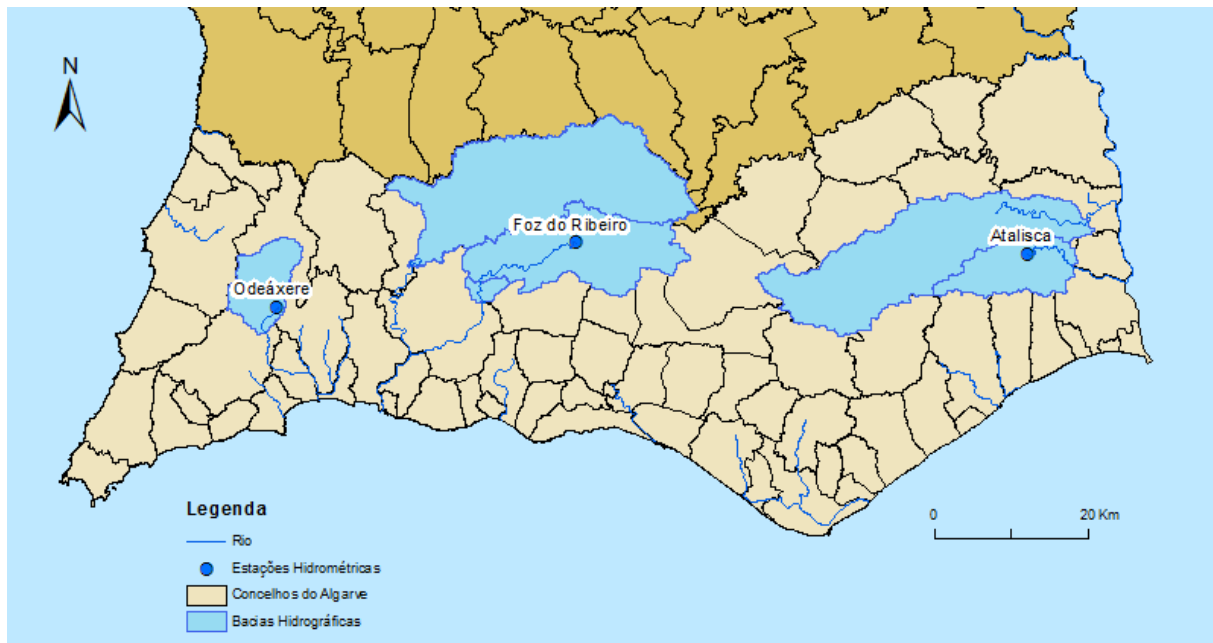


Figura 3.2 Estações Hidrométricas utilizadas para recolher dados de caudal e consumos agrícola e municipal Fonte: Própria, com base nos dados do Atlas Ambiente e da DGT

3.2. MODELO DE BALANÇO HÍDRICO THORNTHWAITE MATHER

3.2.1. Descrição do modelo

O modelo de balanço hídrico mensal Thornthwaite-Mather estima o excesso de precipitação (escoamento total) através dos valores da precipitação média mensal e da evapotranspiração potencial (Figura 3.3). O modelo é ainda capaz de estimar as necessidades de irrigação, quando esta existe, através do déficit hídrico do solo. Utilizou-se uma versão modificada que distingue a escorrência superficial do escoamento de base utilizando o método dos números de curva (método em que estes números representam a quantidade de escoamento) (Stigter et al., 2014).

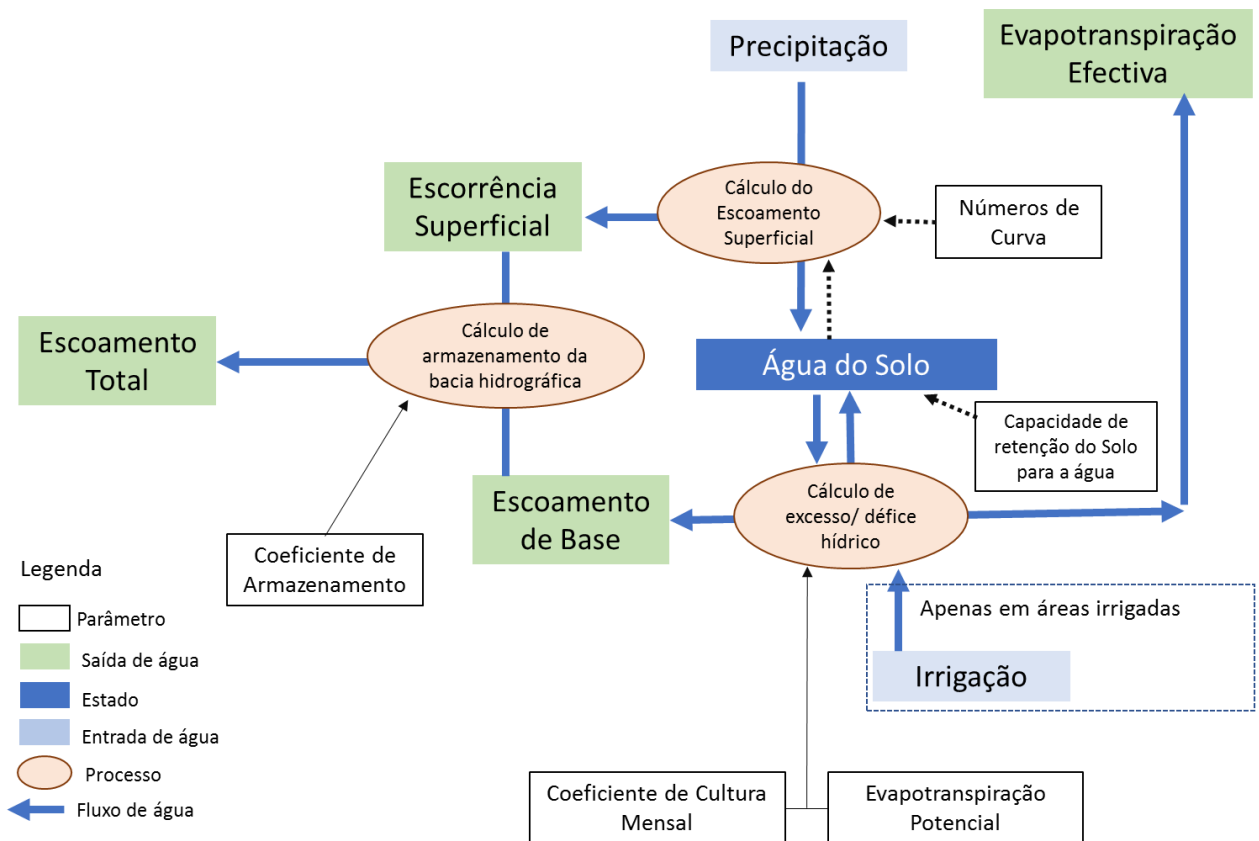


Figura 3.3. Fluxograma do funcionamento do modelo Thornthwaite Mather.

3.2.2. Parametrização

3.2.2.1. Coeficiente de Desenvolvimento de Cultura

As variáveis climáticas mais importantes para os recursos hídricos são a precipitação, que determina a água disponível; e a temperatura, que regula a evapotranspiração potencial. A evapotranspiração potencial é a quantidade de água que deverá passar para a atmosfera através das plantas, se o solo tiver uma quantidade de humidade suficiente sempre disponível, ou seja, se não houver falta de água necessária para o processo. A evapotranspiração potencial combina a evaporação e a transpiração, dois processos difíceis de se distinguirem um do outro, no entanto, ocorrem simultaneamente. Quando a planta está em fase inicial, a perda de água por evaporação no solo é o processo predominante,

enquanto que na fase de desenvolvimento, o principal processo é a transpiração (Allen et al., 1998). A variação destas características é dada pelo coeficiente de cultura mensal.

O tipo de cultura, variedade e estado de desenvolvimento deve ser considerado quando o objetivo é o cálculo da evapotranspiração. Diferenças entre características, como a resistência à transpiração, a altura da planta, a sua grossura, reflexão, cobertura do solo e as raízes, resultam em diferentes níveis de Evapotranspiração em diferentes tipos de cultura submetidos às mesmas condições ambientais (Allen et al., 1998).

Equação 3.1 Equação para cálculo da Evapotranspiração da cultura analisada

$$ET_c = K_c ET_0$$

ET_c corresponde à Evapotranspiração da cultura em condições ambientais normais, ET_0 corresponde à Evapotranspiração de referência e o K_c às características da cultura. Para aplicação do modelo de balanço hídrico, apenas são necessárias os K_c e a ET_0 (Allen et al., 1998).

Na aplicação do modelo, foram modificados os seguintes parâmetros:

- Capacidade do Solo para reter água (AWC): a capacidade do solo para reter água, no modelo de balanço hídrico, é apresentada como uma profundidade em milímetros de água. Essa capacidade corresponde à água que pode ser utilizada pelas raízes da planta/cultura em questão, ou seja, à diferença entre a capacidade do solo reter água (capacidade de campo) e ao limite de água abaixo do qual as raízes não conseguem absorver (ponto de emurchecimento). Esta capacidade é diretamente influenciada pelo tipo de solo e pela sua profundidade;
- Eficiência de Irrigação: é a percentagem de água que, ao ser captada na barragem, chega à cultura. Segundo o Programa Desenvolvimento Rural, Direção Regional de Agricultura e Pescas do Algarve 2007-2013, as perdas de água dentro da parcela de irrigação de Portimão devem-se à antiguidade do sistema. O sistema de rega praticado na área irrigada de Portimão é o designado sistema por alagamento/ inundação, em que existem elevadas perdas de água. É referido o objetivo de alterar o sistema e adotar novas técnicas de rega, nomeadamente a localizada e de pressão, de modo a aumentar a eficiência. Devido a possíveis alterações e modernizações dos sistemas, visto que o Programa de Desenvolvimento Regional foi realizado em 2013, a eficiência de irrigação como parâmetro do modelo de balanço hídrico aplicada na área de irrigação de Portimão foi considerada igual a 75%. Nas restantes áreas irrigadas foi aplicada uma eficiência de 100%;
- Coeficiente de Desenvolvimento de Cultura: ou simplesmente K_c , corresponde a um valor que incorpora as características da cultura e a evaporação da água no solo, e que varia para cada planta, tendo uma variação sazonal. A secção seguinte descreve este coeficiente no contexto dos dados climáticos (Ver ainda a Equação 3.1).

3.2.3. Calibração e Validação

3.2.3.1. Metodologia e variáveis

O modelo de balanço hídrico utilizado, aquando a sua aplicação, gera valores de caudal ou recarga e de necessidade de irrigação. Para verificar se o modelo está a simular os dados corretamente, ou se há falhas na calibração e validação, são efetuados os cálculos de nove variáveis: R, R^2 , Viés, %Viés, RMSE (Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio), %RMSE, STDev (Desvio Padrão), RSR (razão

entre o RMSE e o desvio padrão da amostra), e NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency). No entanto, apenas quatro são as mais importantes e as que se devem ter em consideração.

O Coeficiente de Determinação (R^2) é uma das mais importantes variáveis no modelo e corresponde à variável da correlação (R) elevada ao quadrado. De acordo com Krause & Boyle (2005), representa quanto dos valores observados são explicados pelos simulados, e pode variar entre 0 e 1. Portanto, um valor de $R^2=0$ significa que não existe correlação entre os dados observados e os simulados, e um $R^2=1$ significa que a dispersão dos dados simulados é a mesma que a dos dados observados. Contudo, se o modelo tiver tendência para subestimar ou sobrestimar, este coeficiente será sempre próximo de 1, mesmo que as previsões estejam erradas. Neste sentido, devem ser tidos em conta outras variáveis de avaliação do modelo, referidas a seguir.

A %Viés, por sua vez, mede o erro entre os valores simulados e os valores observados. Isto é, com a diferença entre os valores simulados e os valores observados, é calculado o quociente entre a média desse erro e a média dos valores observados. Ao contrário do R^2 , quanto maior for o % Viés, maior é a discrepância entre os valores observados e simulados. Os seus valores podem variar entre 0 e 1.

A terceira variável, o RSR, é a razão entre o RMSE e o Desvio Padrão dos dados observados. Varia de 0 (valor perfeito) até $+\infty$. (Moriassi et al., 2007).

A variável NSE, ou coeficiente de eficiência de modelação de Nash-Sutcliffe, é definida como 1 menos a razão entre a variância do erro (diferença entre os valores observados e calculados) e a variância dos valores observados, e varia entre $-\infty$ e 1, sendo 1 o resultado desejado. (Paul, Kumari, Panigrahi, Mishra, & Singh, 2018).

O modelo é avaliado de acordo com estas variáveis e de acordo com os valores representados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Avaliação do Modelo (Moriassi et al., 2007)

	Muito Bom	Bom	Satisfatório
Viés (%)	< $\pm 10\%$	< $\pm 15\%$	< $\pm 25\%$
RSR	≤ 0.50	≤ 0.60	≤ 0.70
NSE	> 0.75	> 0.65	> 0.50

Quando o modelo é aplicado numa primeira área, há a necessidade de ajustar os seus parâmetros, de modo a que os resultados sejam os esperados e o modelo possa ser aplicado nas restantes áreas de estudo. A este processo de ajustamento dá-se a designação de calibração, designando-se de validação a comparação entre os resultados do modelo calibrado e dados observados sem existir mais nenhum ajuste subsequente. A calibração do modelo para as áreas das bacias hidrográficas foi feita em Bravura, e a sua validação nas bacias hidrográficas restantes onde existiam dados observados: Arade e Beliche (Tabela 3.2). Na aplicação do modelo nas bacias hidrográficas do Arade, Beliche, Odeleite e Odelouca foram aplicados os mesmos valores, exceto no caso da Capacidade do Solo para retenção de água e no Número de Curva, em que foi justificável o seu ajustamento, devido à diferença de tipo de solo. Devido à ausência de dados de caudal, os caudais de Odelouca e Odeleite foram simulados sem termos de comparação, pelo que não existe avaliação do modelo nestas bacias, assumindo-se que os parâmetros que permitiram a calibração e validação do modelo são também válidos nestas áreas.

Na Figura 3.4, Figura 3.5, Figura 3.6, Figura 3.7, e na Figura 3.8, encontram-se as representações da simulação de caudal geradas pelo modelo TM para as bacias hidrográficas de Bravura, Arade, Odelouca, Odeleite e Beliche, respetivamente, e as simulações das necessidades de rega na Figura 3.9, Figura 3.10, e Figura 3.11 para as áreas de irrigação de Lagos/Alvor, Portimão e Tavira. O período válido indicado nas figuras de simulação de Lagos, Portimão e Tavira representa o período em que estas áreas começaram a ser efetivamente irrigadas.

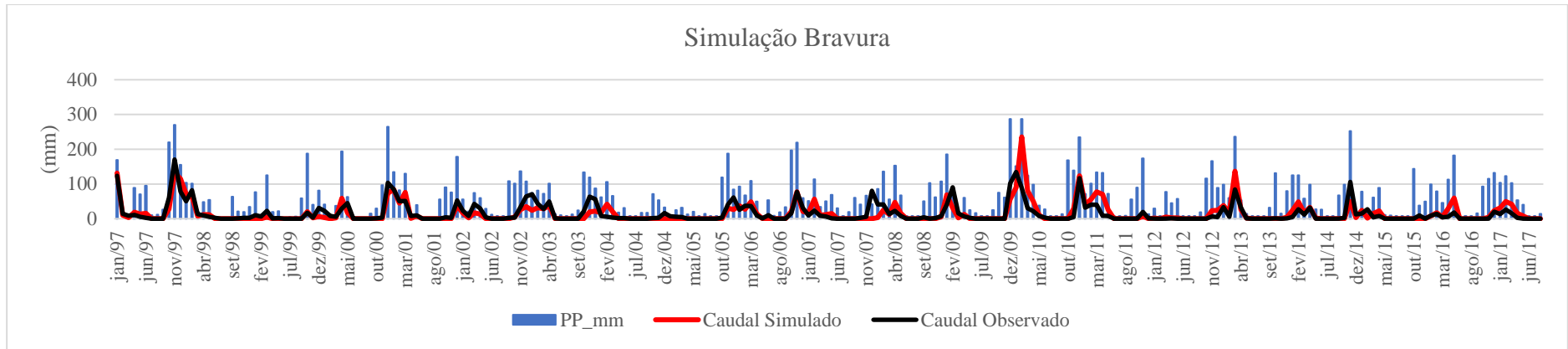


Figura 3.4 Simulação de caudal na bacia hidrográfica de Bravura

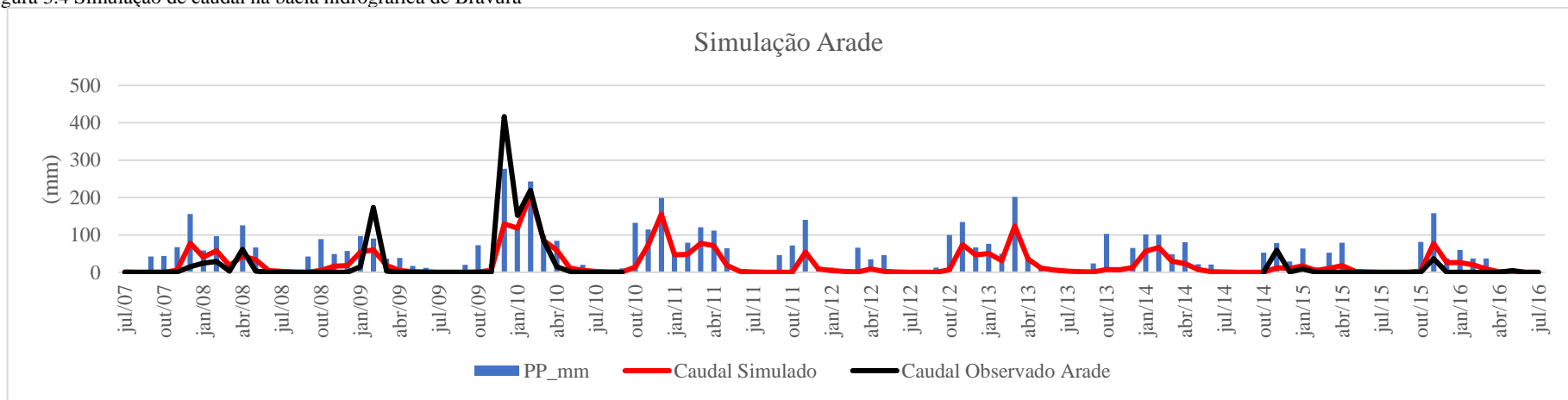


Figura 3.5 Simulação de caudal na bacia hidrográfica do Arade

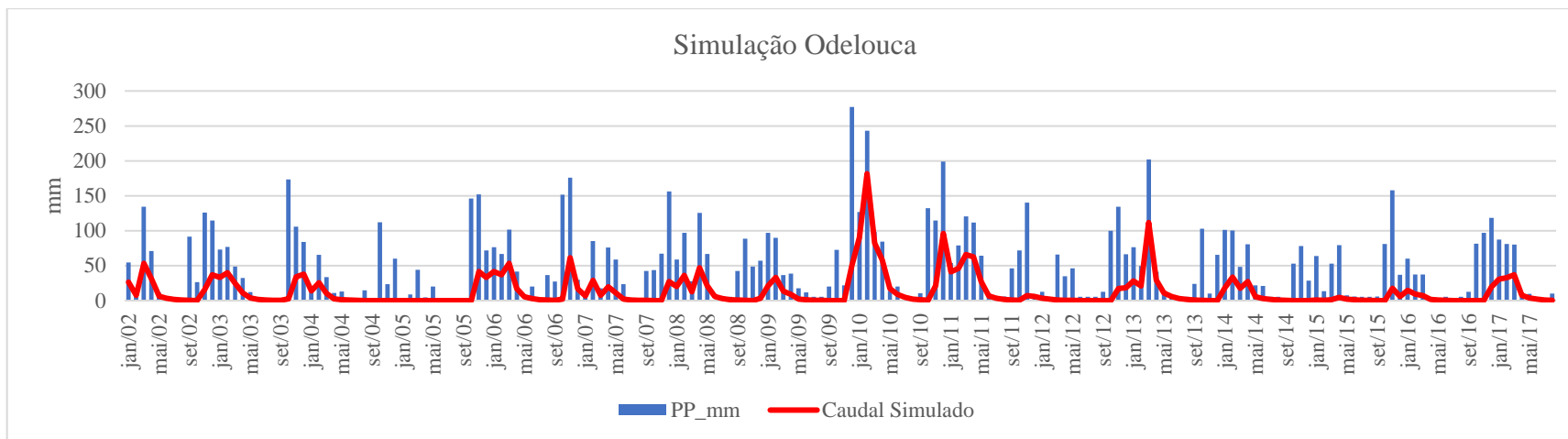


Figura 3.6 Simulação de caudal na bacia hidrográfica de Odelouca

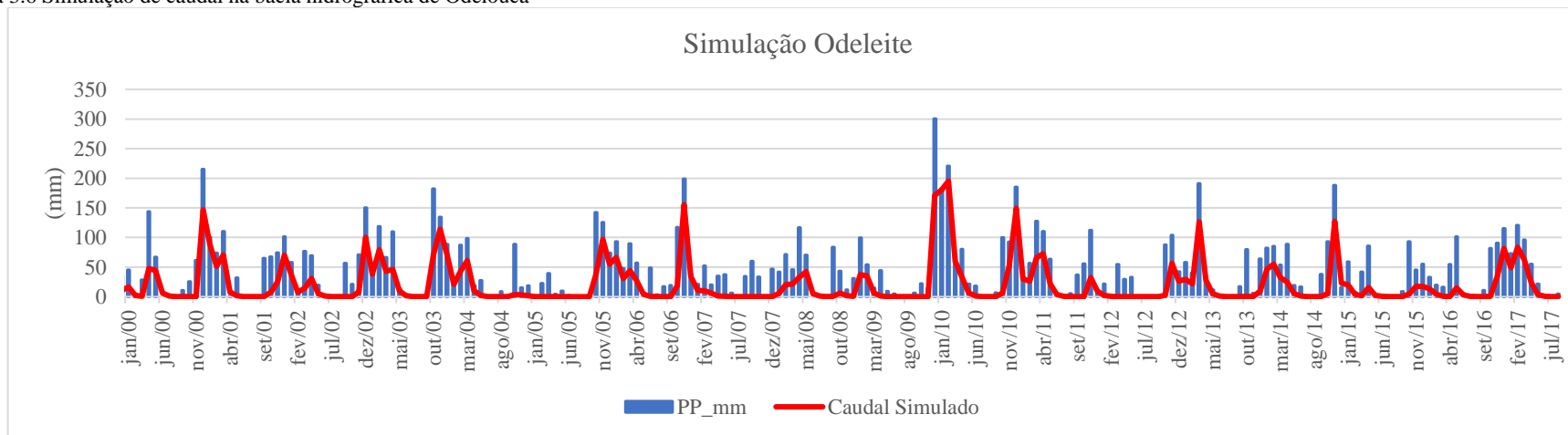


Figura 3.7 Simulação de caudal na bacia hidrográfica de Odeleite

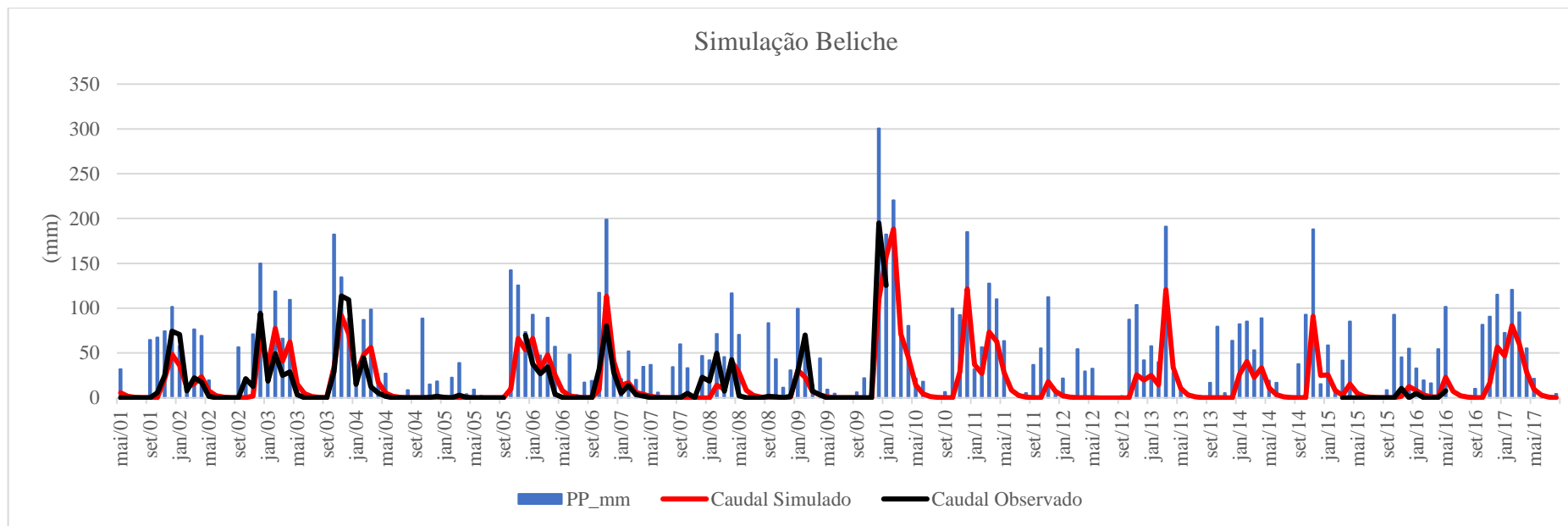


Figura 3.8 Simulação de caudal na bacia hidrográfica de Beliche

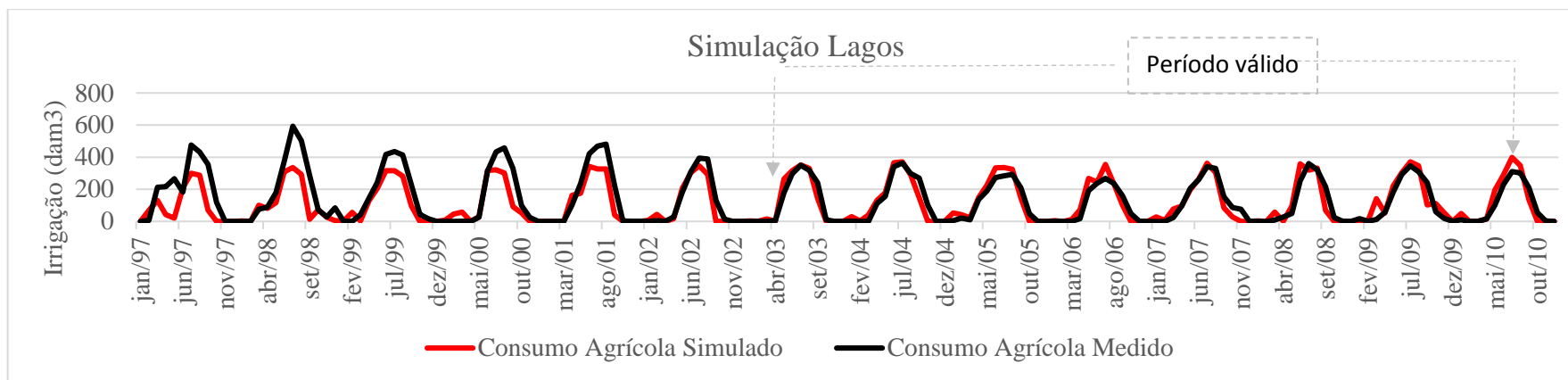


Figura 3.9 Simulação de necessidades de rega na área de irrigação de Lagos

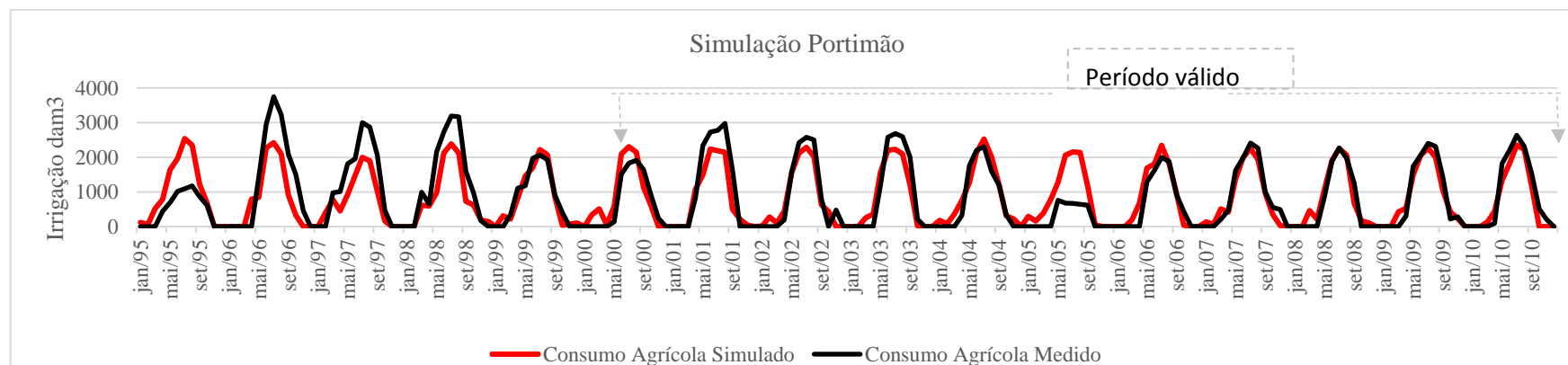


Figura 3.10 Simulação de necessidades de rega na área de irrigação de Portimão

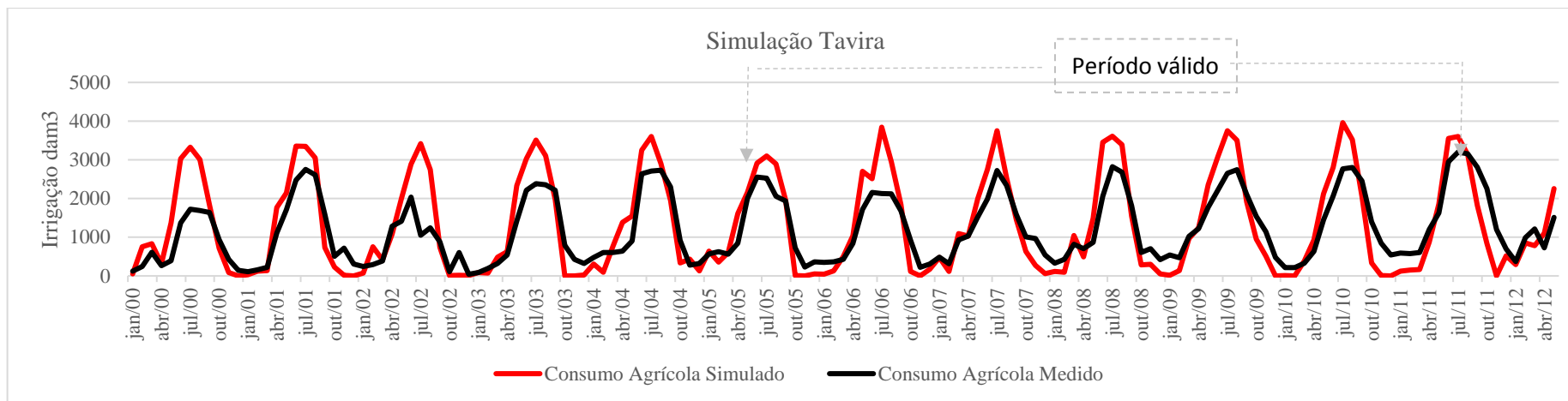


Figura 3.11 Simulação de necessidades de rega na área de irrigação de Távira

3.2.3.2. Bacias Hidrográficas e Caudal Afluente

Em Bravura, o modelo foi aplicado em duas Unidades de Resposta Hidrológica distintas como demonstrado anteriormente na

Tabela 2.3: Eucalipto e Floresta Mediterrânica (Sobreiro e Pinheiro), com 270mm e 200mm de Capacidade do Solo para reter água (FAO, 1974), respetivamente, e ambas com Número de Curva = 90. Na validação do modelo nas bacias hidrográficas do Arade, Beliche, Odeleite e Odelouca foram aplicados os mesmos valores, exceto no caso da Capacidade do Solo para retenção de água e no Número de Curva, em que foi justificável o seu ajustamento, devido à diferença de tipo de solo.

Tabela 3.2 Avaliação do Modelo para as Bacias Hidrográficas onde existem dados disponíveis de caudal observado no SNIRH

	Bravura	Arade	Beliche
R	0,79	0,78	0,86
r²	0,62	0,61	0,74
Viés (mm)	0,1	0	0,3
Viés (%)	0,40%	0,10%	1,70%
RMSE (mm)	18,5	43,2	15,4
RMSE (%)	120,20%	197,80%	103,20%
StDev (mm)	27,3	66,4	30,6
RSR	0,68	0,65	0,5
NSE	0,54	0,57	0,74

A calibração do modelo, como se pode verificar em cima, resultou num R² relativamente bom, em que 62% dos valores simulados correspondem aos observados. Segundo Moriasi et al., 2007, (ver Tabela 3.1) o Viés (%) tem a classificação de “Muito Bom” e o RSR é “Satisfatório”. A validação do modelo nas bacias hidrográficas foi, em geral, bem-sucedida, como demonstrado nos valores apresentados na Tabela 3.2.

3.2.3.3. Zonas de irrigação e consumo de água agrícola

Para as zonas de irrigação, a calibração foi feita em Tavira (Sotavento), onde foram aplicadas três Unidades de Resposta Hidrológica: Pomares Irrigados, Pastagem e Cereais. Na validação do modelo em Portimão foram consideradas também três Unidades, das quais os Pomares Irrigados, Arroz e Milho, e, em Lagos, para além dos Pomares e Milho, Vegetais e Vinha (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 Avaliação do Modelo para as Áreas de Irrigação em estudo

Avaliação do Modelo			
	Lagos	Portimão	Tavira
r	0,93	0,91	0,91
r ²	0,87	0,83	0,83
Viés (mm)	4,7	2,8	38,9
Viés (%)	4,0%	0,3%	3,0%
RMSE (mm)	48,3	394,9	595,4
RMSE (%)	41,1%	49,3%	49,6%
StDev (mm)	127,8	956,1	869,3
RSR	0,38	0,41	0,68
NSE	0,86	0,83	0,53

3.4 Dados de entrada e dados simulados para Beliche

Mês	Precipitação mm	Escoamento mm	Escoamento dam³
1	76,21468056	47,96596406	4723,534649
2	57,86769444	34,98034099	3444,752044
3	46,53889167	21,89653948	2156,301139
4	49,32914167	15,66957203	1543,089311
5	29,58988611	7,908298168	778,7838971
6	8,099766667	2,485126177	244,7272735
7	1,444063889	0,751492659	74,00459232
8	2,80785	0,226043278	22,26001872
9	19,53944167	0,067872532	6,68386972
10	65,873675	5,749592617	566,2014822
11	78,03075833	26,83239912	2642,368802
12	110,3036361	55,30283422	5446,046145

3.5 Dados de entrada e dados simulados para Odeleite

Mês	Precipitação mm	Escoamento mm	Escoamento dam³
1	76,21468056	53,82925056	18706,39665
2	57,86769444	36,04526665	12526,22038
3	46,53889167	20,51103577	7127,86388
4	49,32914167	13,76169656	4782,376715
5	29,58988611	5,847470244	2032,075435
6	8,099766667	1,095056708	380,5470989
7	1,444063889	0,221896703	77,11212226
8	2,80785	0,044667877	15,5226947
9	19,53944167	0,008962429	3,114565965
10	65,873675	13,05517962	4536,852469
11	78,03075833	38,87278403	13508,82112
12	110,3036361	71,23354572	24754,62591

3.6 Dados de entrada e dados simulados para Tavira

Mês	Precipitação mm	Necessidades de Irrigação dam³
1	83,46666667	157,4868637
2	66,651085	280,5532869
3	48,76283278	830,3632062
4	53,19444444	1154,276954
5	28,01388889	2037,852955
6	8,05	3004,788642
7	1,186111111	3545,72231
8	3,422222222	3151,514711
9	19,75437667	1822,805486
10	74,31666667	617,3006584
11	91,24166667	233,9241884
12	139,7833333	122,4873623

3.7 Dados de entrada e dados simulados para Odelouca

Mês	Precipitação mm	Escoamento mm	Escoamento dam3
1	78,26667	35,87467948	14292,74
2	63,79722	30,91205348	12315,59
3	49,68889	21,89618222	8723,603
4	48,725	15,12159888	6024,558
5	31,56667	8,737299716	3481,006
6	6,530556	2,863629468	1140,891
7	1,952778	1,46492231	583,636
8	3,6	0,742393428	295,7751
9	20,87778	0,374176396	149,0747
10	79,38611	3,597173586	1433,141
11	88,475	20,50925424	8171,041
12	114,2222	42,51142734	16936,87

3.8 Dados de entrada e dados simulados para Bravura

Mês	Precipitação mm	Escoamento mm	Escoamento dam3
1	95,00374	40,25889992	3083,123178
2	84,11181333	35,44154325	2714,198442
3	63,08253833	22,31399298	1708,859136
4	65,71194944	18,01038018	1379,278139
5	35,60199278	6,043707147	462,8415982
6	11,92595444	1,001163399	76,67149591
7	3,069771111	0,0226146	1,731880347
8	5,662885	0,00678438	0,519564104
9	23,18721111	0,002035314	0,155869231
10	83,12600056	5,388718946	412,6810298
11	105,7908472	19,71626313	1509,91875
12	128,7176761	39,079936	2992,83529

3.9 Dados de entrada e dados simulados para Lagos

Mês	Precipitação mm	Necessidades de Irrigação dam3
1	72,73888889	11,4735659
2	58,43055556	14,81546719
3	48,19444444	44,64343528
4	46,69444444	62,91009367
5	26,75833333	177,8514355
6	6,016666667	299,6320749
7	1,519444444	343,3485468
8	2,286111111	306,1992744
9	17,46944444	109,6305666
10	65,86388889	30,43472371
11	85,15277778	8,99444428
12	107,5888889	6,64119812

3.10 Dados de entrada e dados simulados para Arade-Funcho

Mês	Precipitação mm	Escoamento mm	Escoamento dam3
1	78,2666667	53,7663245	12096,64879
2	63,7972222	42,6076738	9586,113065
3	49,6888889	26,378646	5934,815495
4	48,725	17,4920926	3935,468949
5	31,5666667	10,3995883	2339,757616
6	6,53055556	3,15727753	710,3419796
7	1,95277778	1,32534483	298,1835028
8	3,6	0,63936969	143,8489726
9	20,8777778	0,51927378	116,8291227
10	79,3861111	13,1292805	2953,899058
11	88,475	46,4625108	10453,39588
12	114,222222	71,0379342	15982,51225

3.11 Dados de entrada e dados simulados para Portimão

Mês	Precipitação mm	Necessidades de Irrigação dam3
1	71,3588233	55,30975
2	57,1242106	110,793395
3	46,1175878	410,293609
4	46,5534111	584,74765
5	28,3214044	1257,75524
6	6,36489944	1861,7008
7	1,83097333	2168,37438
8	4,26238722	1937,59924
9	19,9281639	1147,84669
10	62,99566	389,474366
11	83,1863456	121,019011
12	123,83439	57,8244264

3.3. CENÁRIOS DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

Para simular os impactos de alterações climáticas, procedeu-se à aplicação do modelo Thornthwaite-Mather com os dados dos nove modelos de clima utilizados no restante trabalho: CNRM_CLMcom-CCLM4, CNRM_SMHI-RCA4, EC-EARTH_CLMcom-CCLM4, EC-EARTH_DMI-HIRHAM5, EC-EARTH_KNMI-RACMO22E, EC-EARTH_SMHI-RCA4, IPSL_INERIS-WRF331F, MPI_CLMcom-CCLM4 e MPI_SMHI-RCA4. Para cada modelo, calculou-se o balanço hídrico para o cenário presente durante o período 1970-2005 e para os cenários futuros RCP (Caminhos Representativos de Concentração) 4.5 e RCP 8.5 para cada um dos períodos de 2006-2040, 2041-2070 e 2071-2100. Os modelos de clima geraram dados futuros de precipitação, temperatura mínima, máxima e média que foram aplicados no modelo de balanço hídrico Thornthwaite-Mather, gerando por sua vez dados de caudal e necessidade de irrigação futuros para cada cenário. O consumo doméstico, por sua vez, foi considerado constante e inalterável durante os três períodos e cenários RCP referidos. O viés dos resultados do modelo foi corrigido recorrendo à abordagem delta, aplicada simultaneamente nas medianas de caudal e necessidades de irrigação: calculou-se para cada aplicação diferente (correspondendo a um modelo de clima) a diferença (sob a forma de rácio) entre os valores futuros (por cenário e período) e o valor histórico; e posteriormente esta diferença foi aplicada (multiplicada) ao valor de referência/situação atual calculada utilizando dados meteorológicos observados. Desta forma, obteve-se uma estimativa dos caudais e necessidades de irrigação futura corrigindo o viés dos modelos de clima. Por fim, foi calculado o índice de Exploração de Água (Water Exploitation Index), média anual de necessidades hídricas com relação à disponibilidade de recursos hídricos e representa, em percentagem, até que ponto existe uma pressão da procura nos recursos. Uma bacia hidrográfica com um índice de 0% a 20%, não tem stress hídrico, de 21% a 40% tem stress hídrico moderado, e com mais de 40% tem stress hídrico severo, (Pedro-Monzonís, Solera, Ferrer, Estrela, & Paredes-Arquiola, 2015).

3.12 Características dos modelos climáticos

Nome	Instituição	Modelo Global de Base
HIRHAM	Danish Meteorological Institute (DMI)	ICHEC-EC-EARTH
CCLM	Climate Limited -area Modelling Community	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5
RCA4	Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)	MOHC-HadGEM2-ES

4. RESULTADOS

4.1. SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA

As figuras seguintes representam a percentagem de ocorrência do caudal afluyente anual (ordenado por ordem crescente) no período de 1970-2005, comparada com o consumo anual médio que se verifica atualmente. Através destas representações pode-se concluir também qual a percentagem de anos, dentro da normal 1970-2005, que tiveram seca hidrológica; ou seja, em que a oferta de recursos hídricos não acompanhou a sua procura. Por exemplo, no gráfico referente à bacia hidrográfica de Bravura (Figura 4.1) cerca de 28% dos anos na normal 1970-2005 tiveram escassez de água, uma vez que o caudal disponível foi inferior ao consumo médio total. Pode-se concluir que os as bacias de Odelouca (Figura 4.3) e Bravura (Figura 4.1) foram onde se verificou maior percentagem de anos de seca (ver ainda

Tabela 4.1).

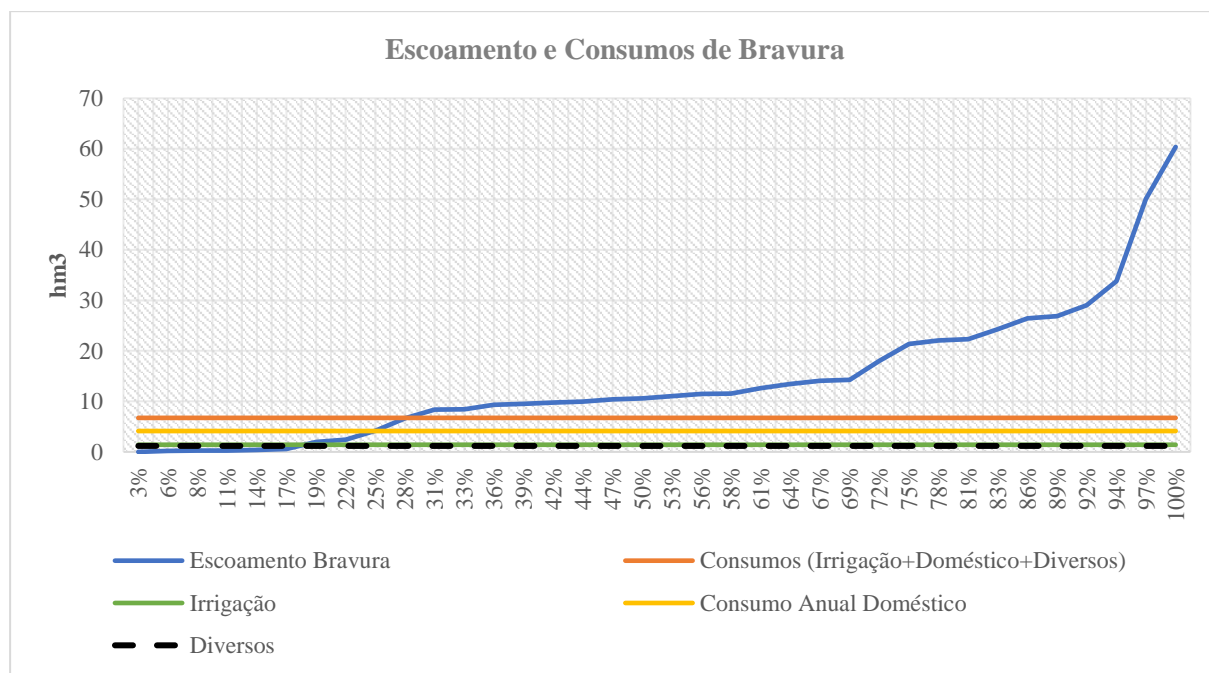


Figura 4.1 Médias de escoamento por ano hidrológico e média de consumos em Bravura. 1970-2005

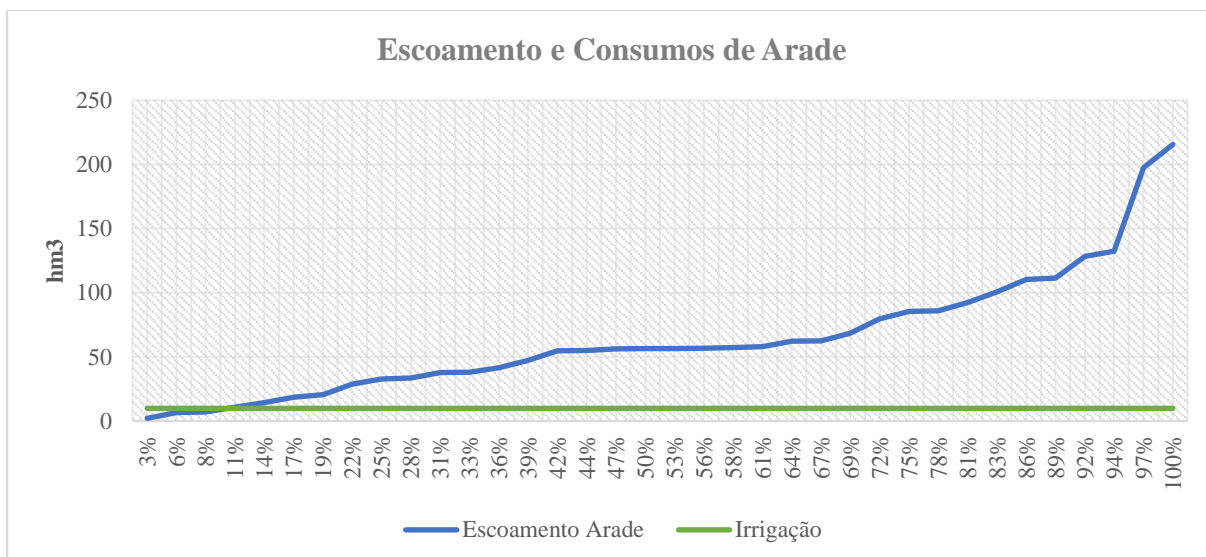


Figura 4.2 Médias de escoamento por ano hidrológico e média de consumos em Arade. 1970-2005

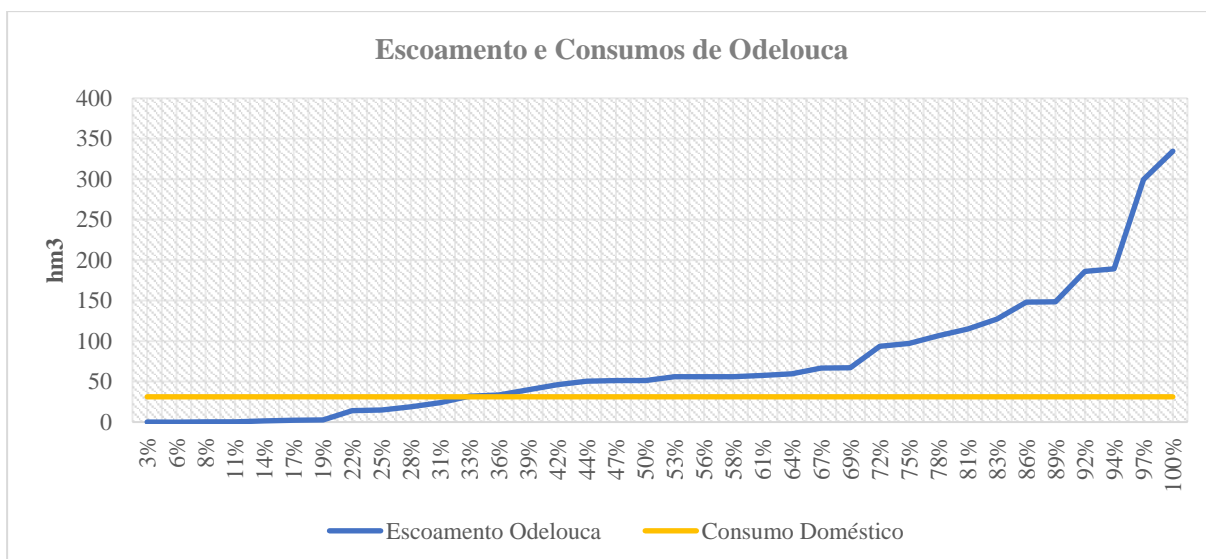


Figura 4.3 Médias de escoamento por ano hidrológico e média de consumos em Odelouca. 1970-2005

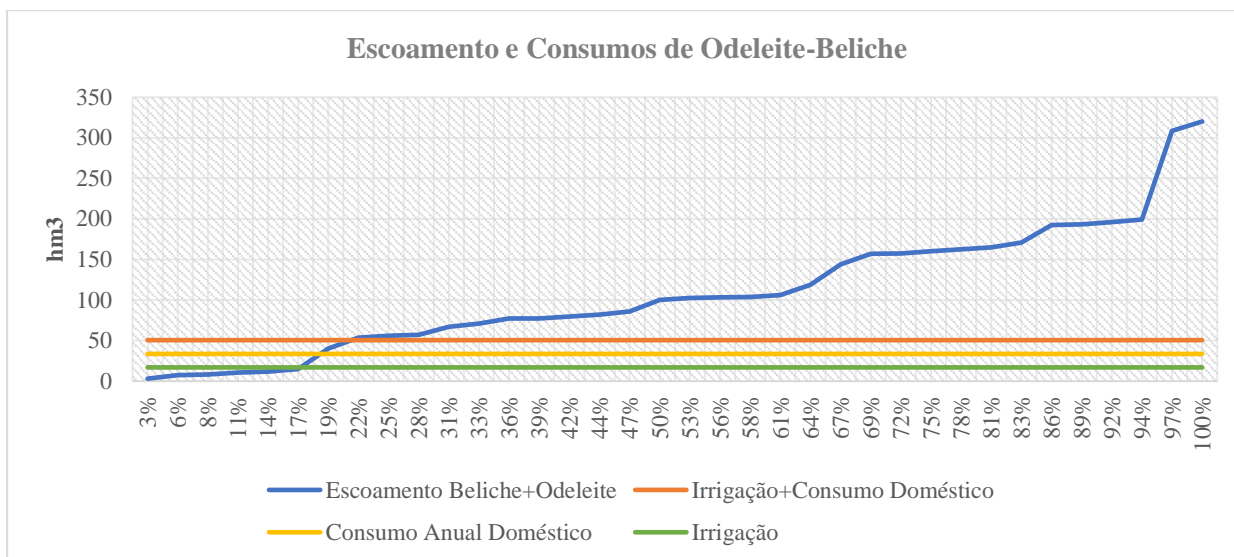


Figura 4.4 Médias de escoamento por ano hidrológico e média de consumos em Odeleite-Beliche. 1970-2005

Tabela 4.1 Percentagem de anos hidrológicos em situação de seca para cada sistema, na normal 1970-2005

% de anos hidrológicos com seca hidrológica	Sistema Bravura-Lagos	Sistema Arade-Portimão	Sistema Odelouca	Sistema Odeleite e Beliche-Tavira
		~28%	~10%	~36%

4.2. CENÁRIOS DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

Na Figura 4.5, Figura 4.6, Figura 4.7 e Figura 4.8 encontram-se as medianas dos caudais e das necessidades de irrigação simulados para os cenários futuros RCP 4.5 e RCP 8.5, separados por sistema. Estes cenários resultam da mediana das 9 aplicações correspondentes a cada um dos modelos de clima indicados anteriormente no ponto 0. Verifica-se que num cenário de RCP 8.5, para o período de 2071-2100, o sistema Bravura-Lagos tem consumos semelhantes à oferta. Isto significa que a oferta pode não ser suficiente para satisfazer as necessidades totais, cessando, por exemplo, o abastecimento de campos de golfe. O sistema de Odeleite e Beliche - Tavira e Odelouca encontram-se numa fase intermédia, no entanto, no final do século e num cenário de RCP 8.5, os impactos prevêem-se significativos. Estes impactos surgem principalmente devido à diminuição do escoamento nas bacias hidrográficas, visto que o aumento das necessidades de consumo não é importante. A quantidade de população foi considerada sempre a mesma, e conseqüentemente o consumo doméstico teve a mesma abordagem.

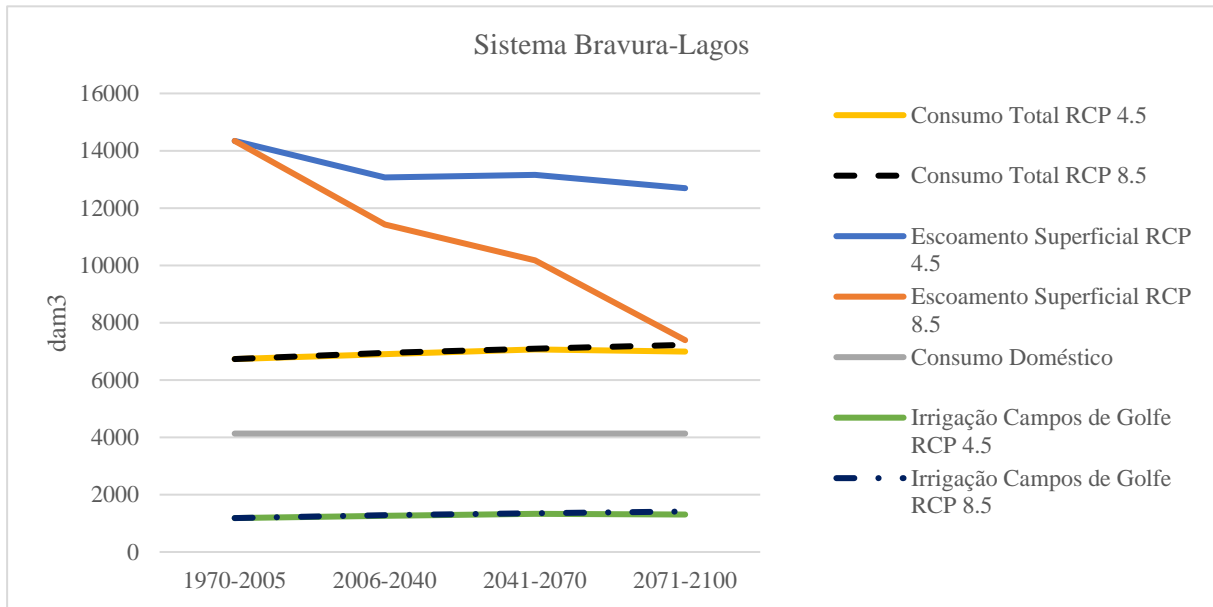


Figura 4.5 Medianas de Escoamento Superficial e necessidade de Irrigação de 1970 a 2100 para o sistema de Bravura-Lagos

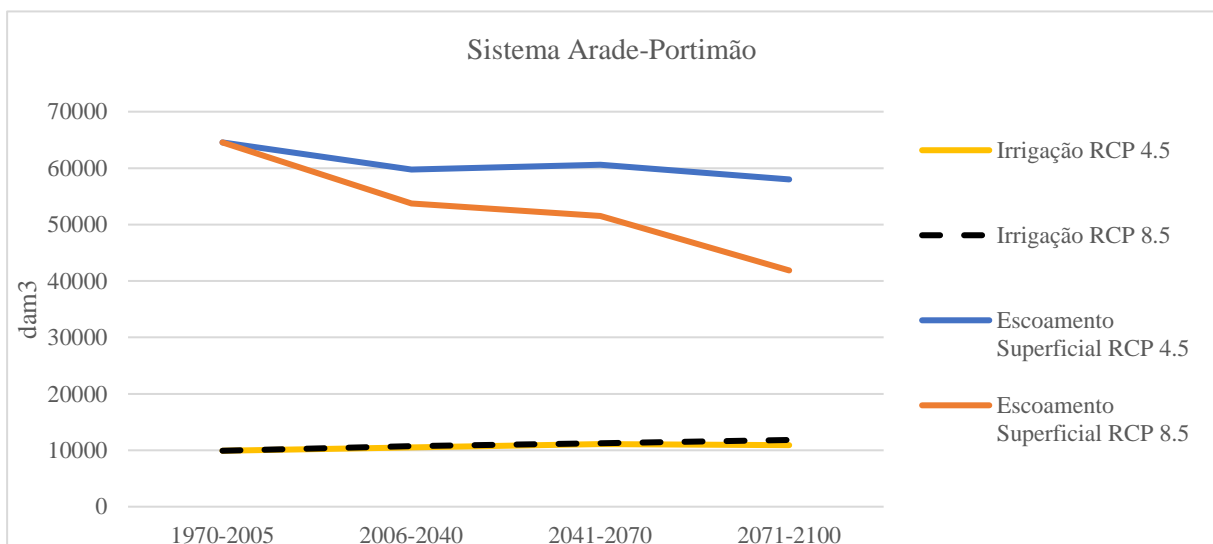


Figura 4.6 Medianas de Escoamento Superficial e necessidade de Irrigação de 1970 a 2100 para o sistema de Arade-Portimão

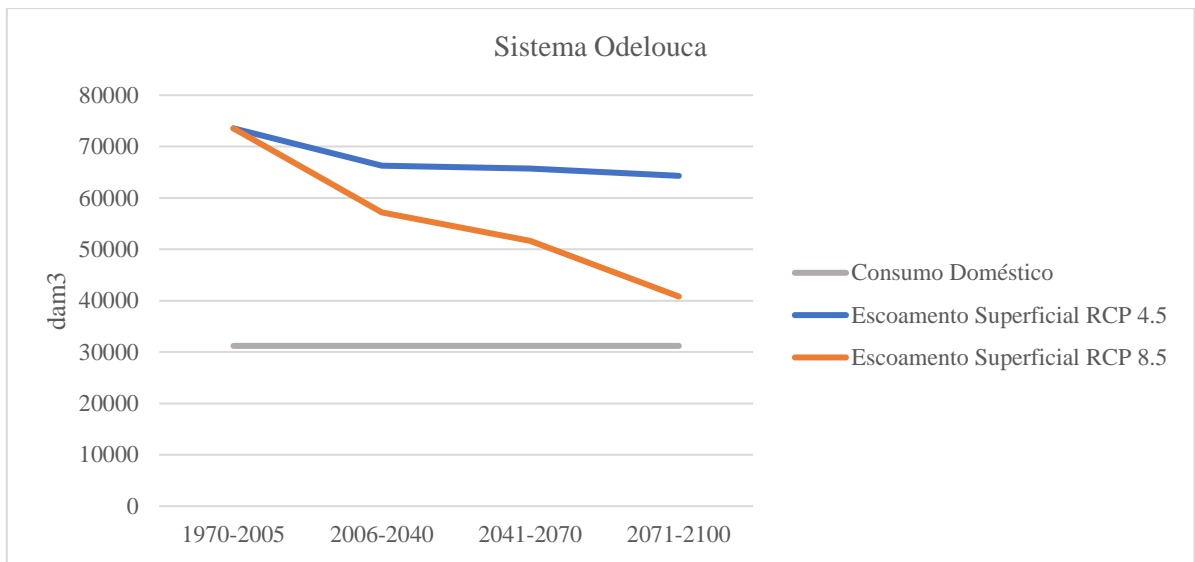


Figura 4.7 Medianas de Escoamento Superficial e necessidade de Irrigação de 1970 a 2100 para o sistema de Odelouca

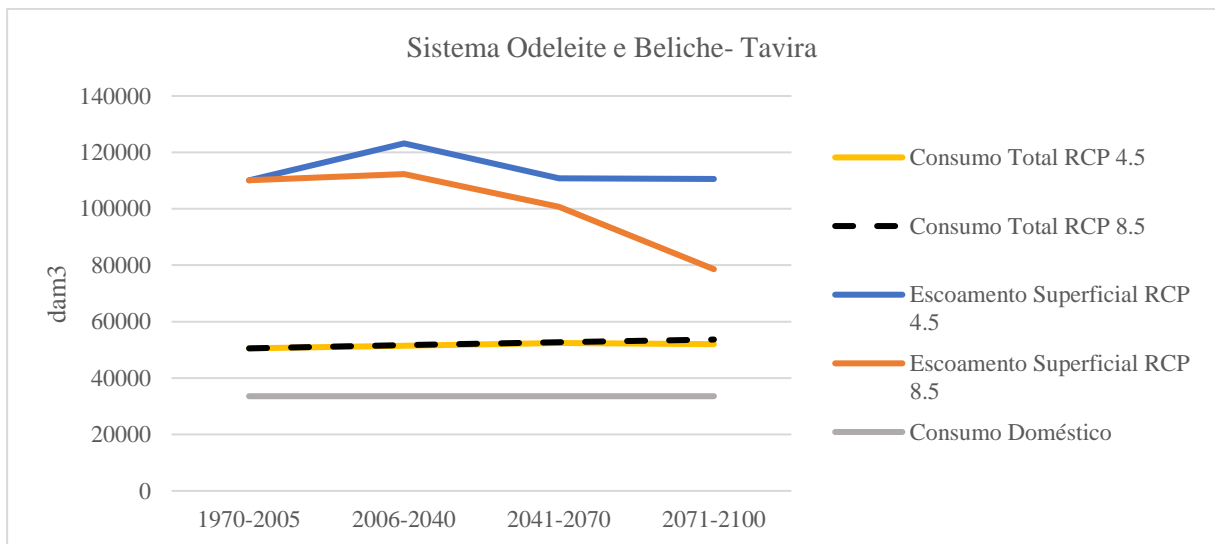


Figura 4.8 Medianas de Escoamento Superficial e Consumo Doméstico de 1970 a 2100 para o sistema de Odeleite e Beliche-Tavira

4.3. ÍNDICE DE EXPLORAÇÃO DA ÁGUA

Como se observa na Figura 4.9, as únicas bacias hidrográficas que não se encontram atualmente em stress hídrico são Funcho-Arade.

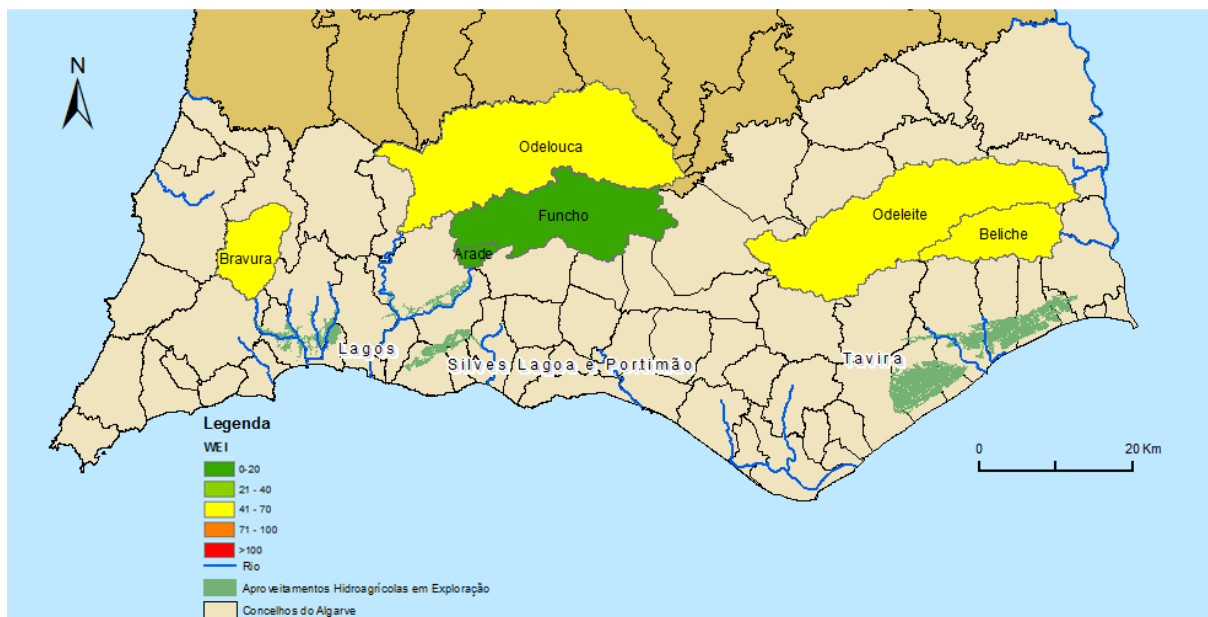


Figura 4.9 Índice de Exploração de Água em cada um dos sistemas

A Figura 4.10, Figura 4.11, Figura 4.12 e Figura 4.13 demonstram a evolução do Índice de Exploração da Água nos respetivos sistemas. O visível aumento do valor do índice ao longo dos períodos de cada cenário necessitou-se uma escala adequada, representada na Figura 4.14, Figura 4.15, Figura 4.16, Figura 4.17, Figura 4.18, Figura 4.19. A escala aplicada tem 5 classes:

- 0%-20%: Sem stress
- 21%-40%: Stress moderado
- 41%-70%: Stress severo
- 71%-100%: Stress extremo
- >100%: Escassez

Numa nota geral, o sistema Arade-Portimão é o único sistema que possivelmente se irá manter a longo prazo nas condições razoáveis de stress moderado, fazendo grande contraste com Bravura e Odelouca, que se encontrarão em Stress extremo num cenário de RCP 8.5. Numa situação de stress extremo e de escassez de recursos em Bravura e Odelouca, e tendo a barragem do Funcho interligação com estas, é provável que o consumo destas barragens seja redistribuído de forma a dar resposta às necessidades, e os recursos em falta sejam captados na barragem do Funcho.

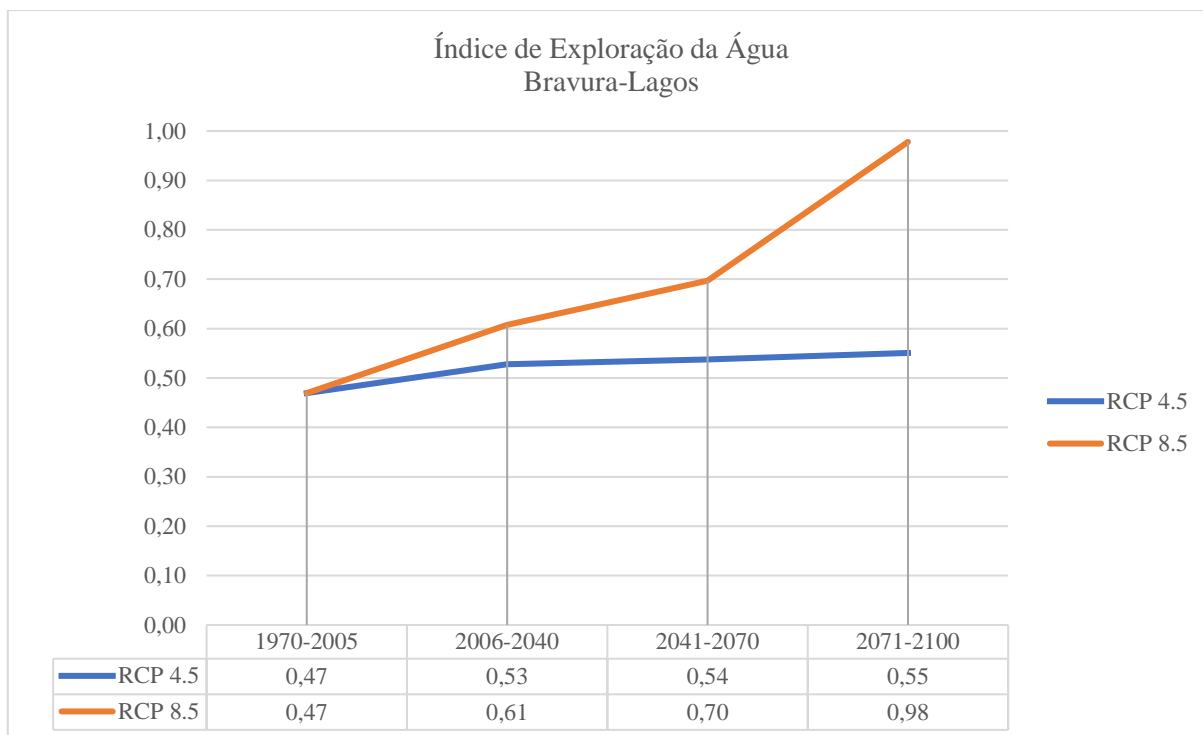


Figura 4.10 Índice de Exploração da Água de 1970 a 2100 no sistema Bravura-Lagos

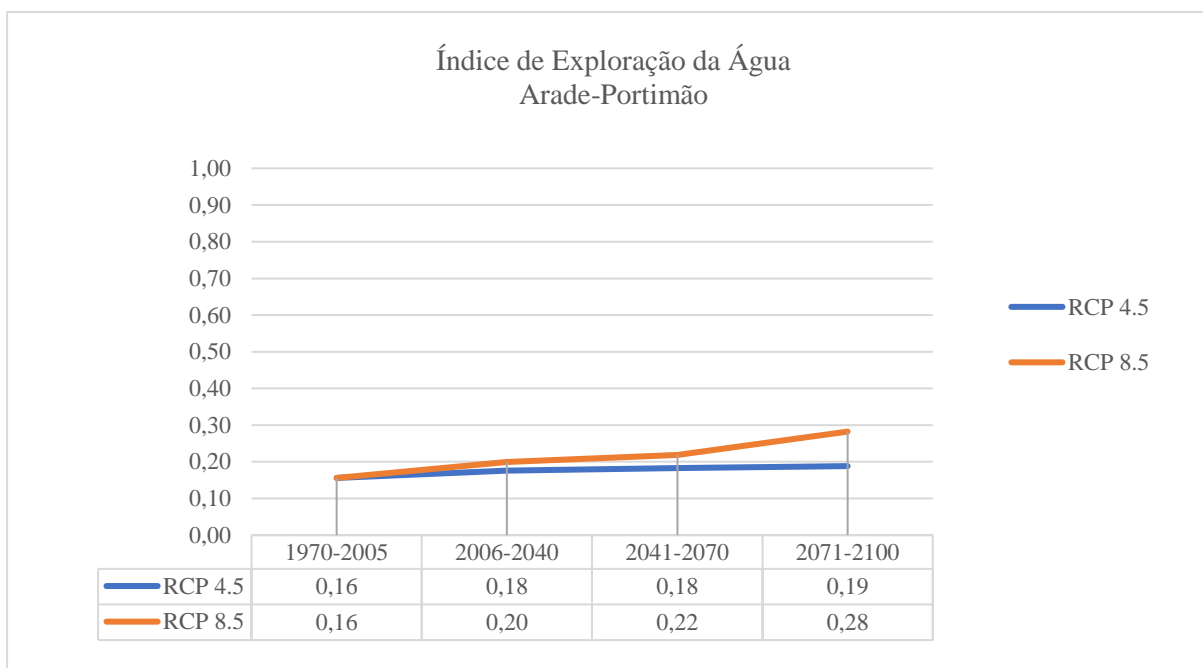


Figura 4.11 Índice de Exploração da Água de 1970 a 2100 no sistema Arade-Portimão

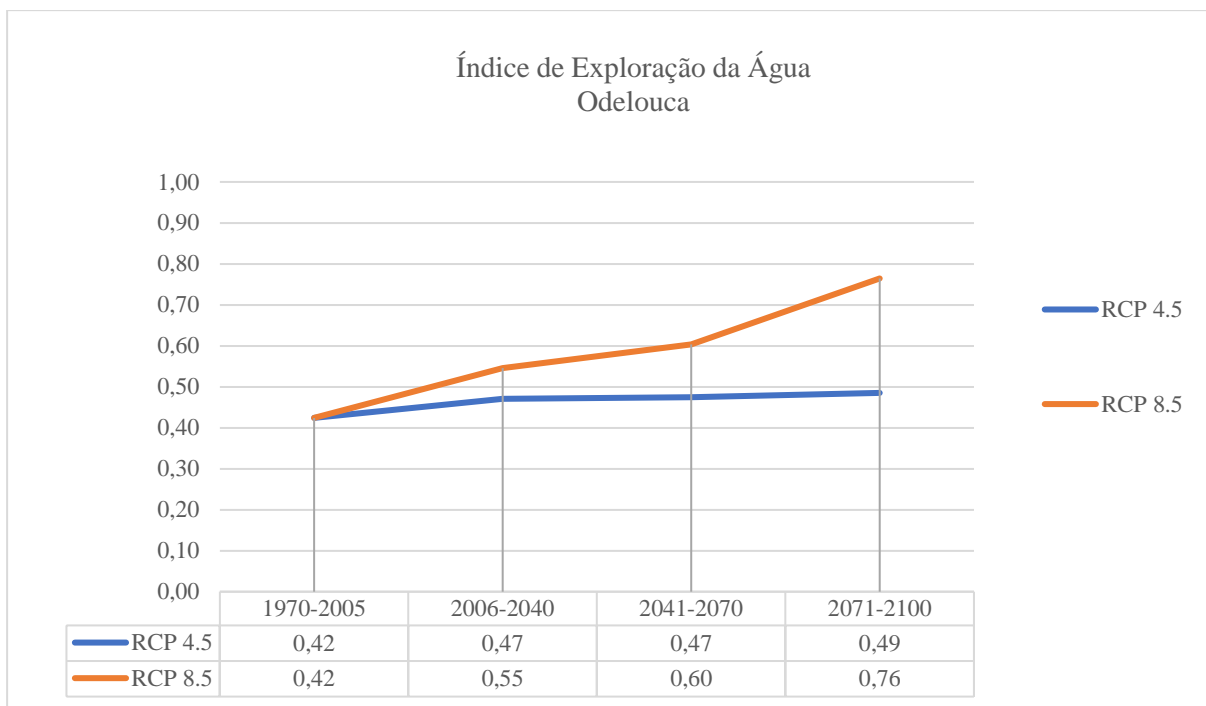


Figura 4.12 Índice de Exploração da Água de 1970 a 2100 no sistema Odelouca

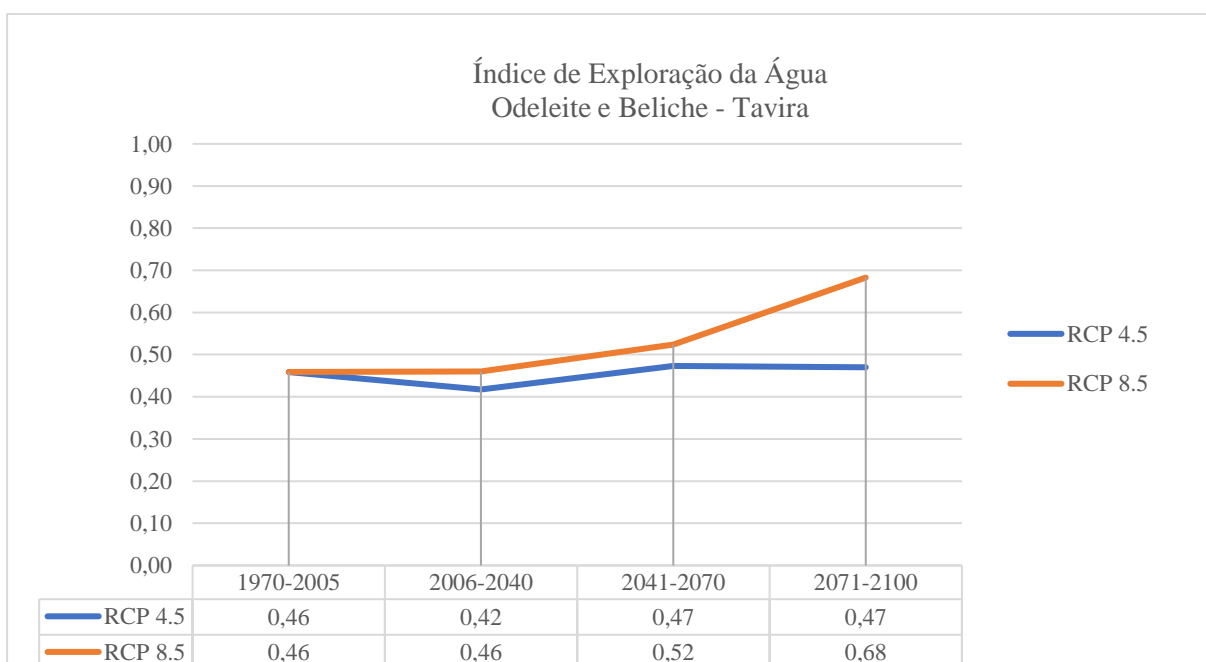


Figura 4.13 Índice de Exploração da Água de 1970 a 2100 no sistema Odeleite e Beliche - Tavira

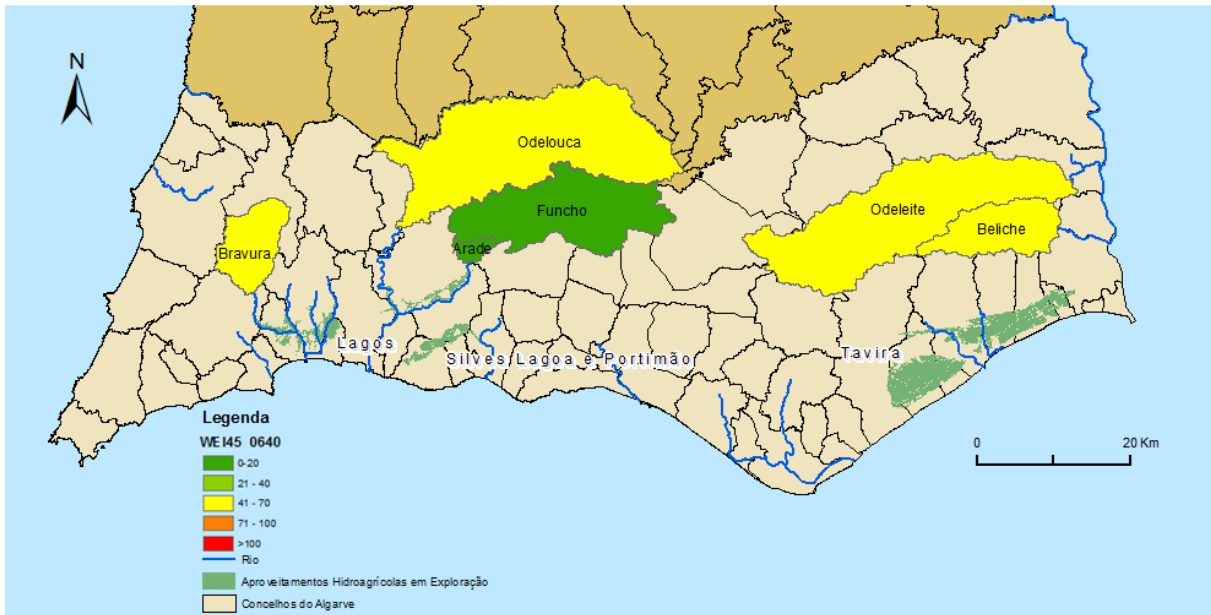


Figura 4.14 Índice de Exploração da Água no cenário de RCP 4.5 para o período de 2006-2040

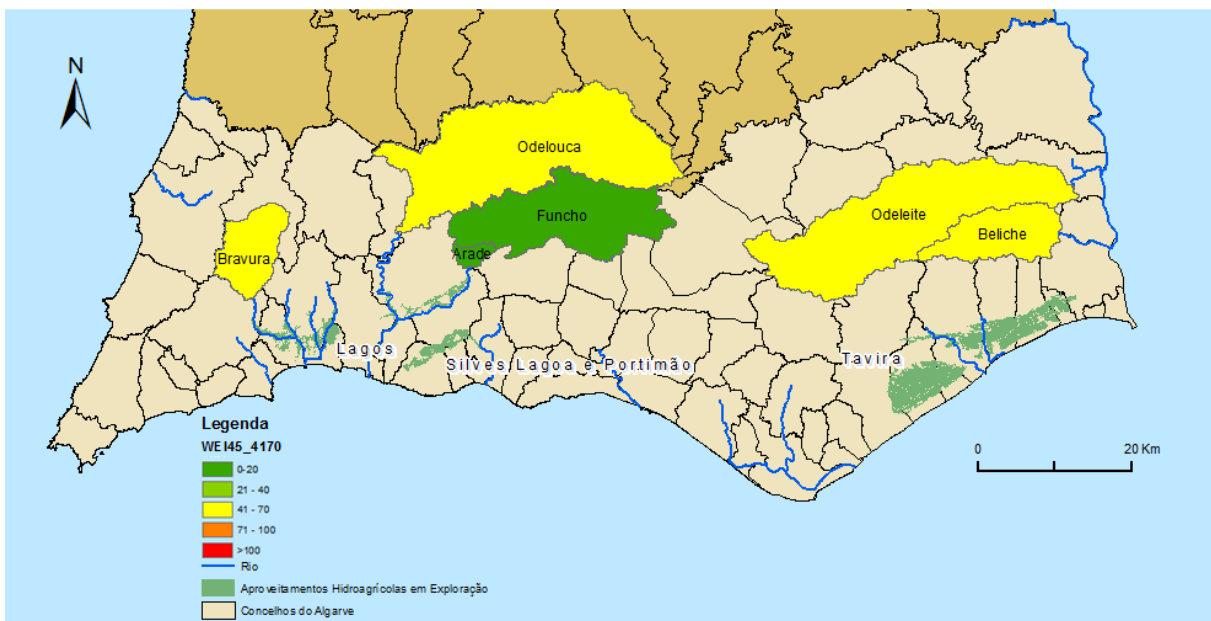


Figura 4.15 Índice de Exploração da Água no cenário de RCP 4.5 para o período de 2041-2070

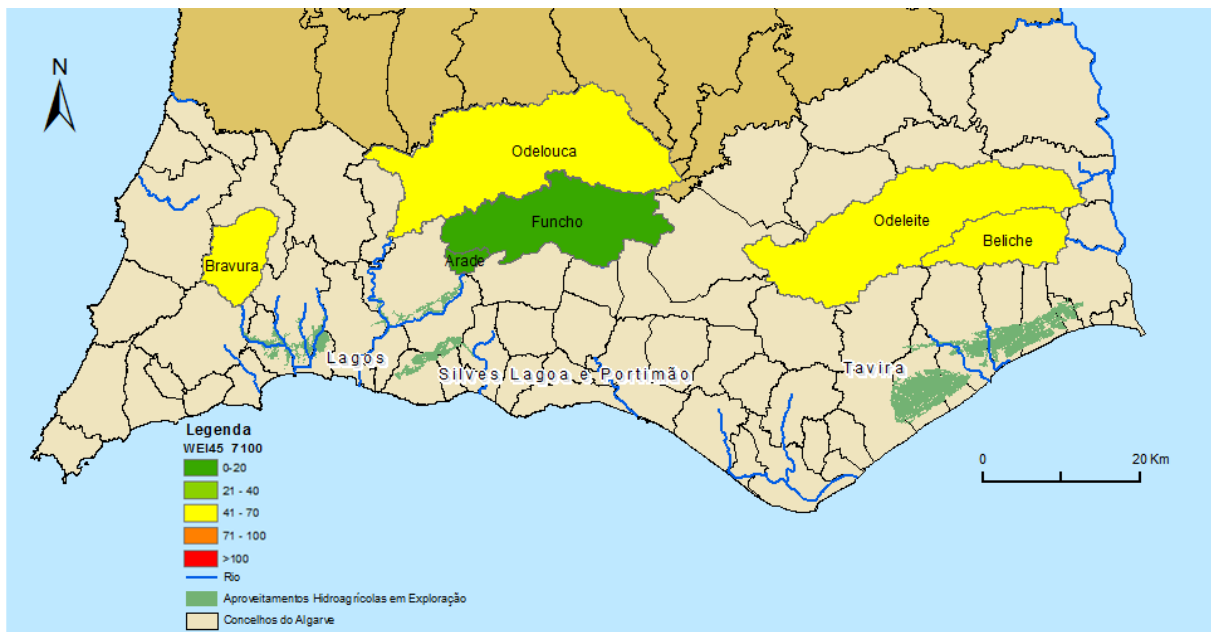


Figura 4.16 Índice de Exploração da Água no cenário de RCP 4.5 para o período de 2071-2100

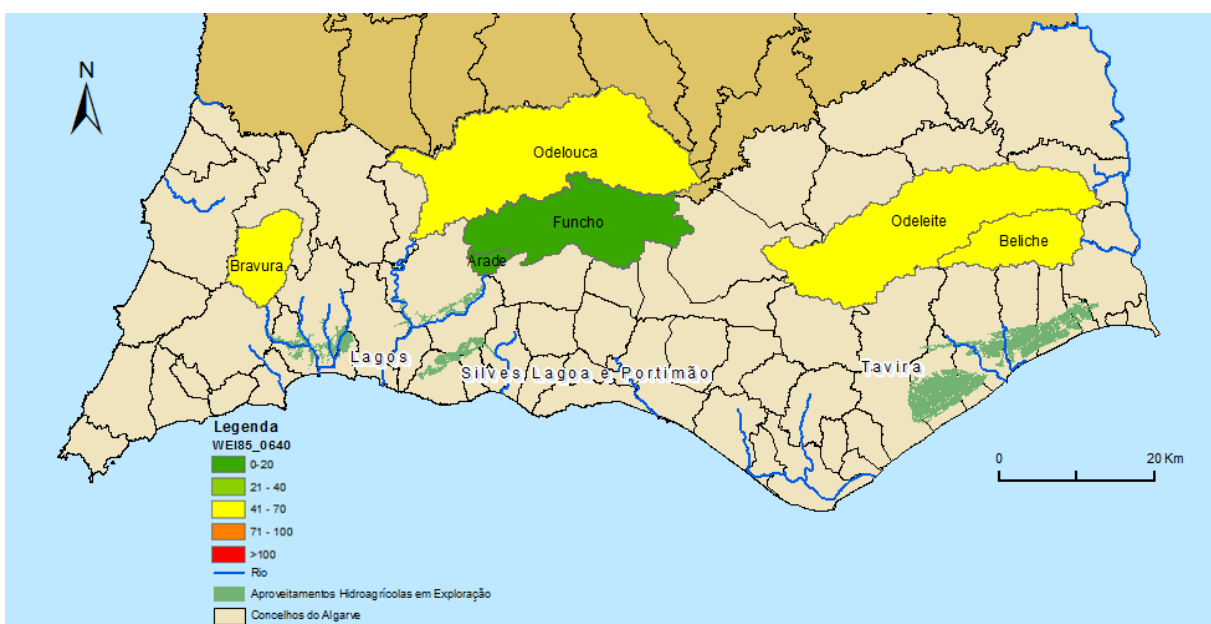


Figura 4.17 Índice de Exploração da Água no cenário de RCP 8.5 para o período de 2006-2040

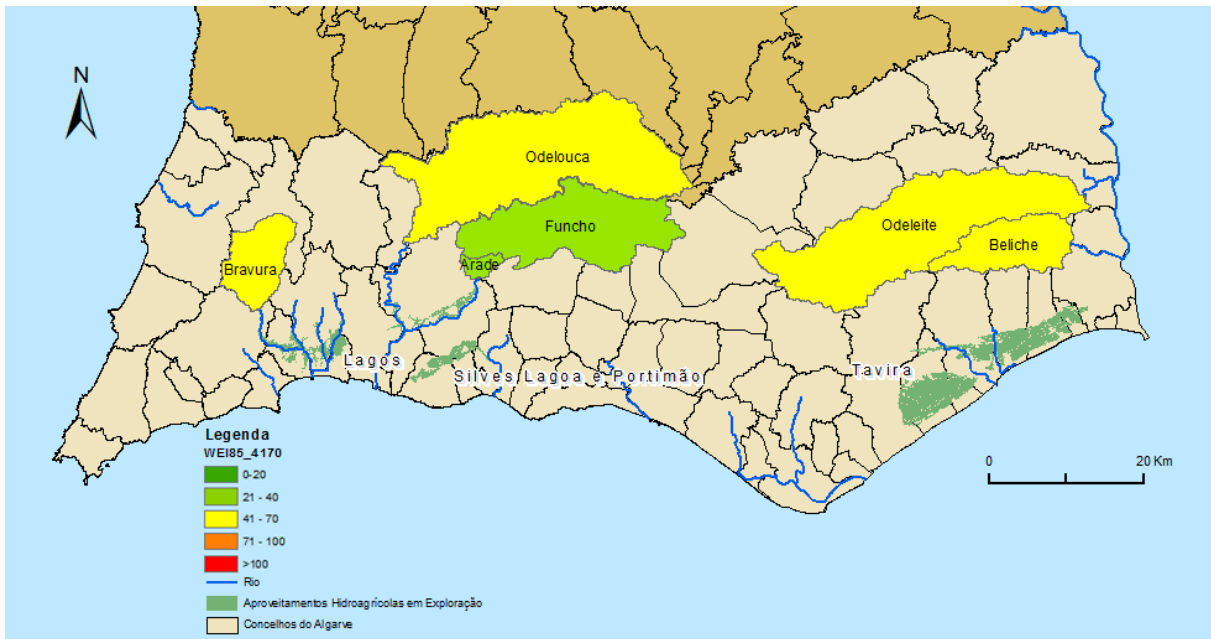


Figura 4.18 Índice de Exploração da Água no cenário de RCP 8.5 para o período de 2041-2070

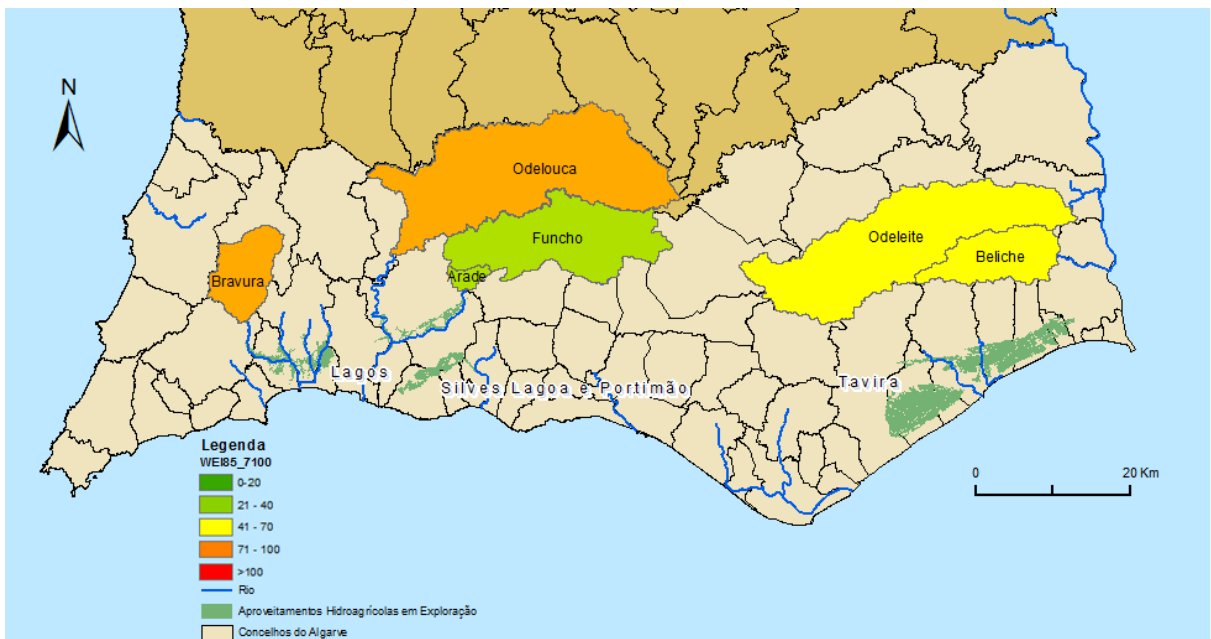


Figura 4.19 Índice de Exploração da Água no cenário de RCP 8.5 para o período de 2071-2100

5. DISCUSSÃO

Como observado nos resultados, a combinação entre o decréscimo de escoamento superficial e o aumento de necessidade de irrigação poderão resultar no aumento da pressão sobre os recursos hídricos, criando conseqüentemente alguns desafios para as várias entidades utilizadoras de água, nomeadamente a empresa Águas do Algarve e associações de regantes. Esta escassez de água verificada nestes sistemas poderá provocar uma mudança de origem das águas que têm como destino a rega, isto é, os agricultores poderão passar a utilizar mais água fornecida pelas barragens.

Tal como foi concluído em Nunes, Jacinto, & Keizer, 2017 para a sua área de estudo, também nesta análise se pode verificar que a diminuição do escoamento na bacias tem mais importância e impacto do que o aumento das necessidades de consumo.

Considerando que o abastecimento público é feito através das barragens, o simultâneo fornecimento para as áreas irrigadas resulta num potencial conflito de uso de água: em situação de stress hídrico, é imprescindível que haja uma gestão eficiente dos recursos, pois é necessário fornecer a população, mas também é essencial assegurar alimentos e a sua produção, promovendo o desenvolvimento socioeconómico rural (Masia et al., 2018).

De acordo com Hugman, Stigter, Monteiro, & Nunes, 2012, o valor de 73% para o Índice de Exploração de Água é o limite de exploração sustentável aplicado nos aquíferos, enquanto nesta análise para as bacias hidrográficas, o valor correspondente é 41%. Dado que o limite de exploração sustentável dos recursos subterrâneos é mais elevado que o dos recursos superficiais, pode-se concluir que os aquíferos serão então mais resilientes que as bacias hidrográficas, e, tal como T. Y. Stigter et al., 2014 concluíram, deve haver mais articulação entre os consumos superficiais e subterrâneos.

Esta abordagem possui ainda algumas limitações que devem ser tidas em conta na análise dos resultados apresentados:

- Não foram considerados aumentos nem diminuições quanto à população do Algarve, podendo constituir algumas limitações nos resultados obtidos, nomeadamente no comportamento da evolução dos consumos de água da população e nos aumentos de consumo durante a época alta do turismo. Jacinto, Cruz, & Santos, 2013, contudo, consideraram vários cenários socioeconómicos em que na maioria deles a população da área de estudo decrescia, sendo que apenas num dos cenários dessa análise existia aumento de população, e mesmo neste cenário não se verificavam aumentos de consumo e, para além disso, todos esses cenários indicaram que haverá diminuição de consumo de água, sendo o aumento da eficiência de rega e a melhoria das tecnologias a causa dessa diminuição. O aumento da quantidade de turistas pode também constituir uma incerteza e, se fosse considerada, poderia alterar os resultados e conclusões desta análise.
- Aumentos e diminuições na área irrigada não foram também considerados nesta análise, podendo resultar em alterações na pressão sobre os recursos hídricos, tal como é referido em Nunes et al., 2017, nomeadamente nos meses de Maio a Agosto, devido à elevada evapotranspiração e reduzida quantidade de precipitação.
- Nesta análise não foram consideradas alterações ao Kc (Coeficiente de Cultura), que segundo Nunes, Jacinto, & Keizer, 2017, se pode modificar devido às alterações climáticas,

nomeadamente resultando da aceleração do desenvolvimento da vegetação por causa dos invernos com temperatura relativamente mais elevada.

- A metodologia utilizada consistiu na correção dos dados simulados pelos modelos climáticos para os RCP 4.5 e RCP 8.5 e foi aplicada aos valores finais dos mesmos, utilizando uma abordagem delta. Devido à grande diversidade e amplitude entre os dados climáticos simulados, não foi possível nem adequado fazer uma análise interanual, que correria o risco de resultar numa análise incorreta. Foi então aplicada a mediana para cada período de 2006-2040, 2041-2070 e 2071-2100, para cada cenário RCP e para cada sistema.
- Outra limitação que se pode apontar desta análise é a ausência da componente qualidade. A qualidade da água das barragens não foi considerada pelo facto de cada uma das áreas das bacias hidrográficas ser predominantemente floresta, em que não existe a prática de agricultura, logo estão presentes poucos fertilizantes e pesticidas.

As alterações climáticas podem significar o surgimento de alguns desafios na gestão de recursos hídricos, como por exemplo a diminuição de provisão de água em regiões áridas e a sua irregularidade, fazendo com que seja impossível prever a sua disponibilidade. Estes desafios podem ser resolvidos através de variadas soluções designadas de medidas de adaptação, que, apesar de não constarem nos objetivos iniciais desta análise, podem ser referidas. Estas medidas de adaptação consistem resumidamente em estratégias que são aplicadas com o intuito de combater os efeitos das alterações climáticas nos recursos hídricos disponíveis. Deste modo, existem várias formas de as aplicar, que podem ter como alvo as entidades que fornecem os recursos, e, do lado oposto, as entidades que os consomem. Deve-se referir também que algumas medidas são mais viáveis e mais acessíveis que outras.

Devem então ser consideradas medidas alternativas, como por exemplo a utilização das águas residuais para irrigação, com a vantagem dos nutrientes serem aproveitados; a reposição artificial de recursos subterrâneos nos aquíferos; a dessalinização, apesar de ter custos elevados e elevado gasto energético, é uma solução considerável por ser tratar de uma zona costeira. No caso da rega dos campos de golfe com águas residuais, esta medida, apesar de ter sido planeada e debatida por mais de uma década, não foi ainda implementada (Tibor Y Stigter, Varanda, Bento, Nunes, & Hugman, 2015). A nível de consumos, deve-se dar a adequada atenção à eficiência de irrigação para a agricultura e à eficiência de fornecimento ao nível doméstico, de modo a que esta seja a melhor possível (T. Y. Stigter et al., 2014). Estas medidas de adaptação podem ser consideradas para trabalho futuro.

6. CONCLUSÕES

Os objetivos principais desta análise foram compreender a relação entre a disponibilidade e o consumo de recursos hídricos no Algarve em cada sistema de recolha de abastecimento de água e analisar quais os impactos das alterações climáticas nesta relação oferta-procura. Para tal, foi aplicado o modelo hídrico Thornthwaite Mather, para simulação de disponibilidades e necessidades de irrigação das áreas de estudo, e foi efetuado o cálculo do Índice de Exploração de Água.

O cálculo do Índice de Exploração de Água para cada um dos sistemas apresentou dados conclusivos sobre o que se pode esperar da disponibilidade de água até 2100 num cenário de RCP 4.5 e RCP 8.5. Os resultados obtidos para os vários cenários demonstram que atualmente todas as barragens, exceto Arade-Funcho, se encontram em stress severo, com tendência a agravar de tal modo que até 2100, num cenário de RCP 8.5, as barragens de Bravura e Odelouca poderão atingir o designado stress extremo, com Bravura especialmente perto da escassez de água.

De facto, uma análise com base apenas em cenários de alterações climáticas pode ser insuficiente quando se pretende fazer uma previsão da disponibilidade de recursos hídricos. Devem então ser considerados simultaneamente cenários socioeconómicos, incluindo alterações na quantidade de população, alterações no tipo de cultura e na área de irrigação. Neste sentido, um futuro trabalho deve incluir cenários socioeconómicos que, apesar da sua potencial ambiguidade e variedade de resultados, são importantes para uma gestão mais precisa e mais completa, incluindo as alterações da quantidade de população e o aumento das áreas de irrigação.

7. BIBLIOGRAFIA

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56: Crop Evapotranspiration*. FAO. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.12.001>
- APA. (2016). *Plano de Gestão de Região Hidrográfica Das Ribeiras Do Algarve (RH8)*. Retrieved from https://www.apambiente.pt/_zdata/Políticas/Agua/PlaneamentoGestao/PGRH/2016-2021/PTRH8/PGRH8_Parte2.pdf
- Moriasi, J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel, & T. L. Veith. (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885–900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>
- E-OBS (European Climate Assessment & Dataset. (n.d.). Retrieved from <https://www.ecad.eu/dailydata/index.php>
- FAO. (1974). The state of food and agriculture 1974. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/017/f3350e/f3350e.pdf>
- Feddema, J. J. (2005). A Revised Thornthwaite-Type Global Climate Classification. *Physical Geography*, 26(6), 442–466. <https://doi.org/10.2747/0272-3646.26.6.442>
- Hugman, R., Stigter, T. Y., Monteiro, J. P., & Nunes, L. (2012). Influence of aquifer properties and the spatial and temporal distribution of recharge and abstraction on sustainable yields in semi-arid regions. *Hydrological Processes*, 26(18), 2791–2801. <https://doi.org/10.1002/hyp.8353>
- Informação, S. (2012). No Title. Retrieved from <http://www.sulinformacao.pt/2012/06/odelouca-comecou-hoje-a-fornecer-agua-ao-barlavento-algarvio/>
- Jacinto, R., Cruz, M. J., & Santos, F. D. (2013). Development of water use scenarios as a tool for adaptation to climate change. *Drinking Water Engineering and Science*, 6(1), 61–68. <https://doi.org/10.5194/dwes-6-61-2013>
- Krause, P., & Boyle, D. P. (2005). Advances in Geosciences Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances In Geosciences*, 5(89), 89–97. <https://doi.org/10.5194/adgeo-5-89-2005>
- Masia, S., Sušnik, J., Marras, S., Mereu, S., Spano, D., & Trabucco, A. (2018). Assessment of irrigated agriculture vulnerability under climate change in Southern Italy. *Water (Switzerland)*, 10(2), 1–19. <https://doi.org/10.3390/w10020209>
- Mendes, D. (2010). *Cálculo da Recarga do Aquífero Querença-Silves, Aplicabilidade do Modelo SWAT a Bacias Hidrográficas sobre Aquíferos Cársicos*. Instituto Superior Técnico.
- Monteiro, J. P. (2005). A importância do Dimensionamento de Captações de Águas Subterrâneas no Algarve - Passado, Presente e Futuro. Manual Técnico de Engenharia, Águas Subterrâneas e Efluentes Tratados. *Manual Técnico de Engenharia, Águas Subterrâneas e Efluentes Tratados*, 17–31.
- NRCS. (1986). Urban Hydrology for Small Watersheds TR-55. *USDA Natural Resource Conservation Service Conservation Engineering Division Technical Release 55, TR-55*, 164. [https://doi.org/Technical Release 55](https://doi.org/Technical%20Release%2055)
- Nunes, J. P., Jacinto, R., & Keizer, J. J. (2017). Combined impacts of climate and socio-economic scenarios on irrigation water availability for a dry Mediterranean reservoir. *Science of the Total Environment*, 584–585, 219–233. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.131>

- Paul, P. K., Kumari, N., Panigrahi, N., Mishra, A., & Singh, R. (2018). Implementation of cell-to-cell routing scheme in a large scale conceptual hydrological model. *Environmental Modelling & Software*, *101*, 23–33. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSOFT.2017.12.003>
- Pedro-Monzonís, M., Solera, A., Ferrer, J., Estrela, T., & Paredes-Arquiola, J. (2015). A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management. *Journal of Hydrology*, *527*, 482–493. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.003>
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, *11*(5), 1633–1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- Prasad, V. H. (2015). Delineation of Hydrologic Response Units (HRUs) using Remote Sensing and GIS V. HARI PRASAD, (JUNE 2004), 1–19.
- Rodrigues, C. M., Moreira, M., & Guimarães, R. C. (2011). Apontamentos para as aulas de Hidrologia, 1–142. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10174/4721>
- Schroeder, K., García-Lafuente, J., Josey, S. a., Artale, V., Nardelli, B. B., Carrillo, A., ... Zodiatis, G. (2012). *The Climate of the Mediterranean Region. The Climate of the Mediterranean Region*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416042-2.00003-3>
- SNIRH. (n.d.). Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. Retrieved from <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=2&idItem=1>
- Stigter, T. Y., Monteiro, J. P., Nunes, L. M., Vieira, J., Cunha, M. C., Ribeiro, L., & Lucas, H. (2008). Strategies for integrating alternative groundwater sources into the water supply system of the Algarve, Portugal. *Water Asset Management International - IWA*, *4*(1), 19–24. Retrieved from http://sites.google.com/site/jppmonteiro/Lesam-2007-PP_058.pdf
- Stigter, T. Y., Nunes, J. P., Pisani, B., Fakir, Y., Hugman, R., Li, Y., ... El Himer, H. (2014). Comparative assessment of climate change and its impacts on three coastal aquifers in the Mediterranean. *Regional Environmental Change*, *14*(SUPPL.1), 41–56. <https://doi.org/10.1007/s10113-012-0377-3>
- Stigter, T. Y., Varanda, M., Bento, S., Nunes, J. P., & Hugman, R. (2015). Combined Assessment of Climate Change and Socio-Economic Development as Drivers of Freshwater Availability in the South of Portugal. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-0994-y>