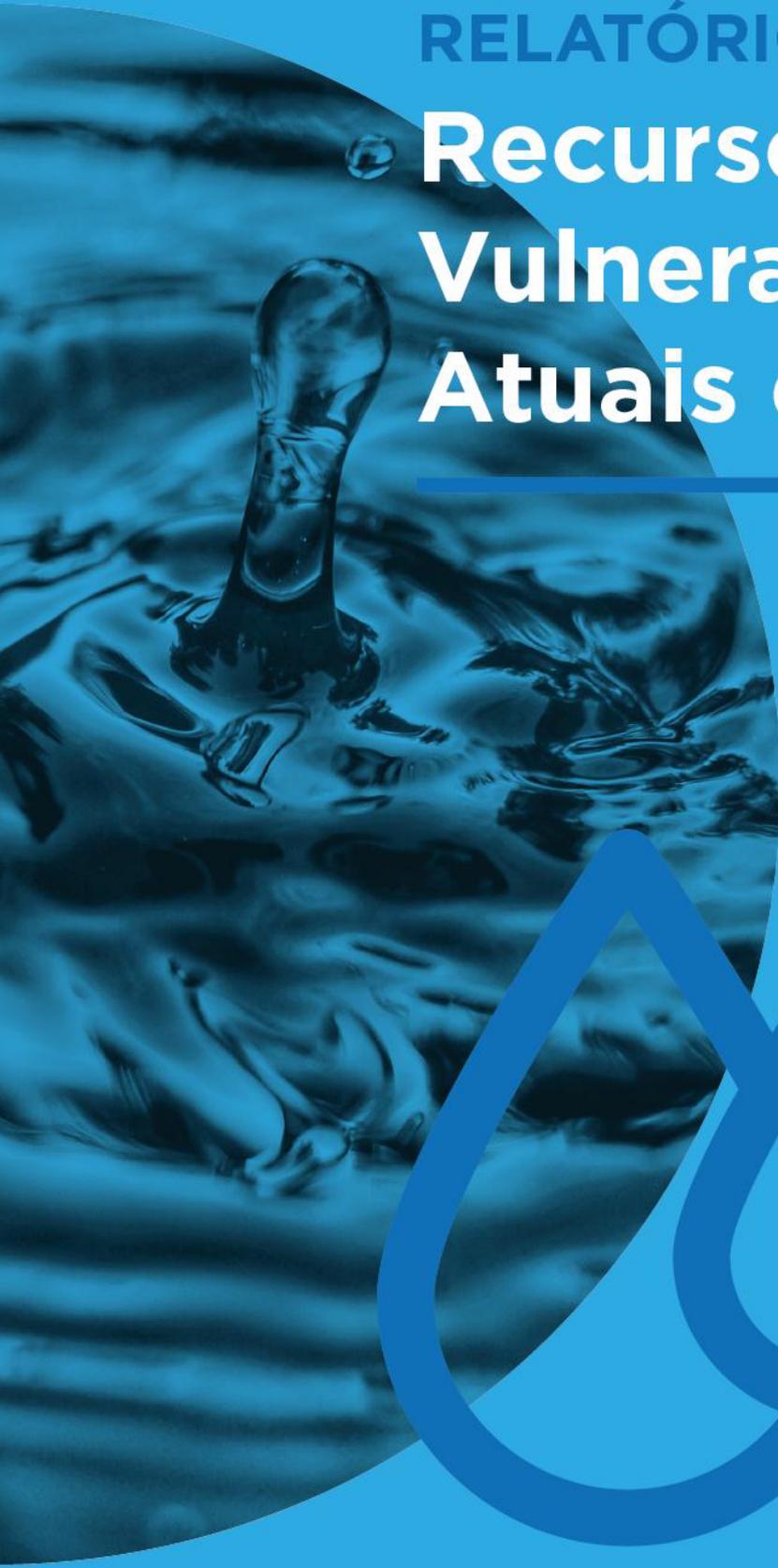


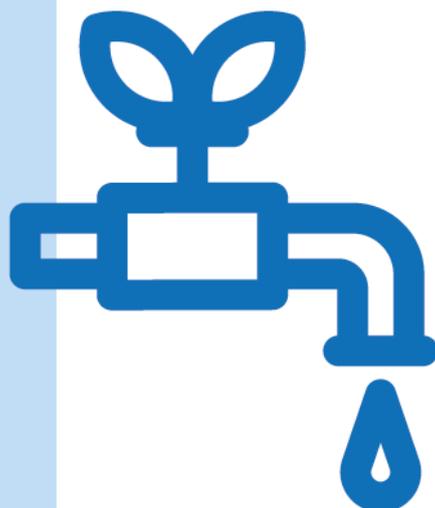
---

RELATÓRIO SETOR

Recursos Hídricos  
Vulnerabilidades  
Atuais e Futuras

---





---

## RELATÓRIO SETOR

# Recursos Hídricos

## Vulnerabilidades Atuais e Futuras

---

**REALIZADO POR:**

JOÃO PEDRO NUNES, INÊS MORAIS, LUÍS DIAS  
(CCIAM)

Elaborado por:



# ÍNDICE

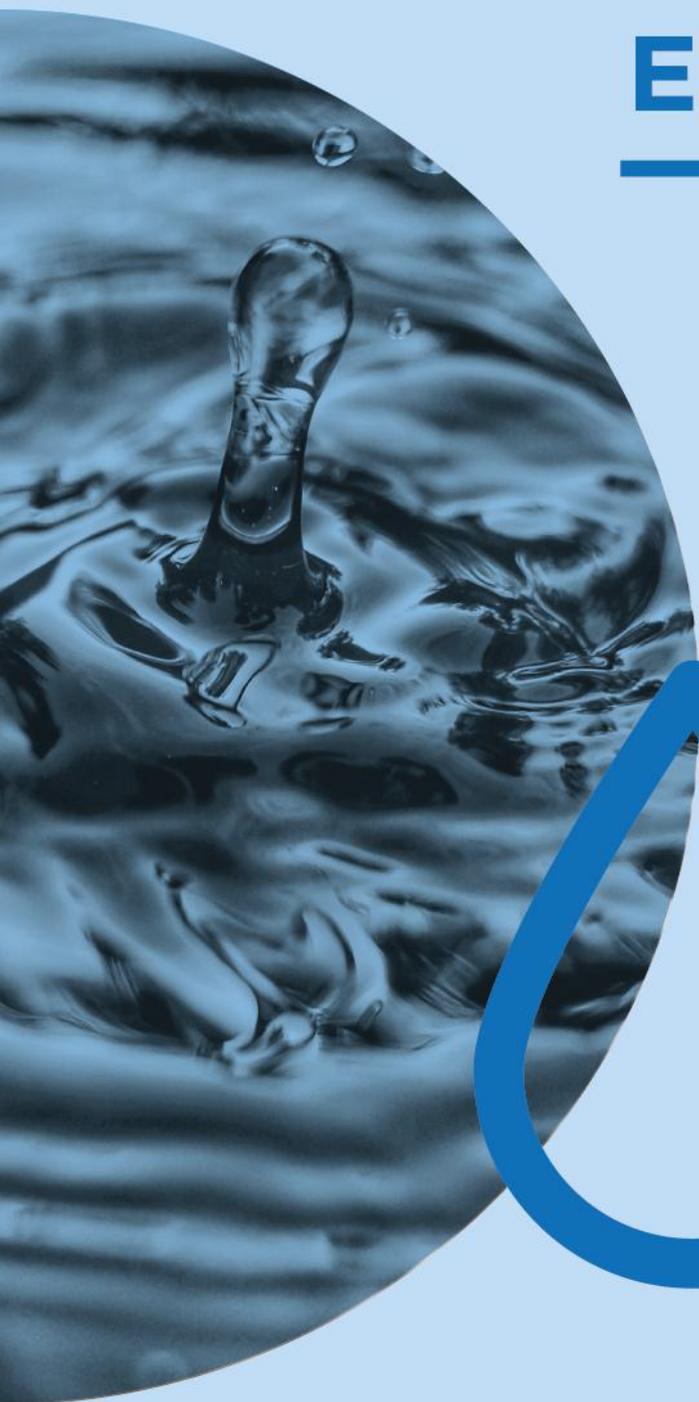
<b>1. ENQUADRAMENTO</b>	<b>3</b>
1.1 Perspetiva e diagnóstico regional do setor	4
1.2 Caracterização do quadro de referência do setor	7
<b>2. METODOLOGIA</b>	<b>9</b>
2.1 Variáveis e parâmetros climáticos relevantes para o setor	11
2.2 Avaliação das vulnerabilidades e modelação de impactos	13
2.3 Aplicação para cenários futuros e extrapolação de resultados para a área da CI-AMAL	24
<b>3. VULNERABILIDADE ATUAL</b>	<b>26</b>
3.1 Identificação de impactos não climáticos	27
3.2 Identificação de impactos climáticos	27
<b>4. IMPACTOS E VULNERABILIDADES FUTURAS NO ALGARVE</b>	<b>30</b>
4.1 Impactos por sistema de recolha e abastecimento de água	31
4.2 Extrapolação de impactos para a área da CI-AMAL	33
4.3 Territorialização das vulnerabilidades nos recursos hídricos	37
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>46</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>48</b>
<b>7. EQUIPA TÉCNICA</b>	<b>50</b>

1.

---

# Enquadramento

---



As águas superficiais e subterrâneas têm sido frequentemente analisadas em vários estudos de forma independente. Contudo, existe uma necessidade crescente de compreender as interações hidrodinâmicas entre os recursos superficiais e os recursos subterrâneos, de modo a que a avaliação das suas disponibilidades e da sua exploração seja a mais correta possível (Salvador et al. 2007).

Os recursos subterrâneos e superficiais encontram-se em constante pressão devido à sua exploração para consumo agrícola, doméstico e/ou industrial. Esta exploração pode constituir um impacto importante para os ecossistemas dependentes de água subterrânea, para além de haver a possibilidade de intrusão de água salobra marinha, um problema considerado mundialmente grave. Este problema pode vir a ser agravado devido à combinação entre o aumento do nível médio do mar e a redução da recarga dos aquíferos, associada à diminuição da precipitação e ao aumento da temperatura causados pelas alterações climáticas (Stigter et al. 2014). Neste sentido, projeta-se que os aquíferos venham a ser afetados com a evolução do aquecimento global, particularmente em regiões semiáridas e áridas, como é o caso do Algarve. Simultaneamente, o aumento da frequência, da intensidade e da duração das secas pode criar vários desafios na gestão dos recursos hídricos e, conseqüentemente, tensões entre as diferentes partes interessadas no recurso.

## 1.1 PERSPETIVA E DIAGNÓSTICO REGIONAL DO SETOR

Existem diferentes metodologias no que diz respeito à análise das relações entre águas subterrâneas e superficiais, sendo a mais comum a separação de hidrogramas de escoamento.

A modelação de águas subterrâneas pode ser desenvolvida para integrar cenários de alterações climáticas, integrando a recarga dos aquíferos, a sua exploração aliada às necessidades de rega e as projeções de subida do nível médio do mar (Stigter et al. 2014).

No projeto *Prowaterman*, realizado pelo LNEC, o método utilizado para modelar o escoamento direto da bacia hidrográfica do Arade e a recarga do aquífero de Querença-Silves foi o modelo BALSEQ (LNEC 2011). O modelo simulou o escoamento direto do Arade em 494,48 mm/ano e a recarga do aquífero de Querença-Silves em 294,21 mm/ano, ambos para os períodos de 1979 a 2009.

Posteriormente Stigter et al., 2014, aplicou o modelo de balanço hídrico *Thorntwaite-Mather* para o aquífero Querença-Silves, tendo como resultado as simulações da sua recarga para cenários futuros. Estes autores concluíram que, para o período de 2020-2050, é esperado que a precipitação diminua em 7%, e em 2069-2099, diminua em 29%, sendo o outono e a primavera as estações mais afetadas. Quanto à temperatura, os mesmos autores projetam aumentos de 1,3°C e 3,4°C para as normais climatológicas de 2020-2050 e 2069-2099, respetivamente.

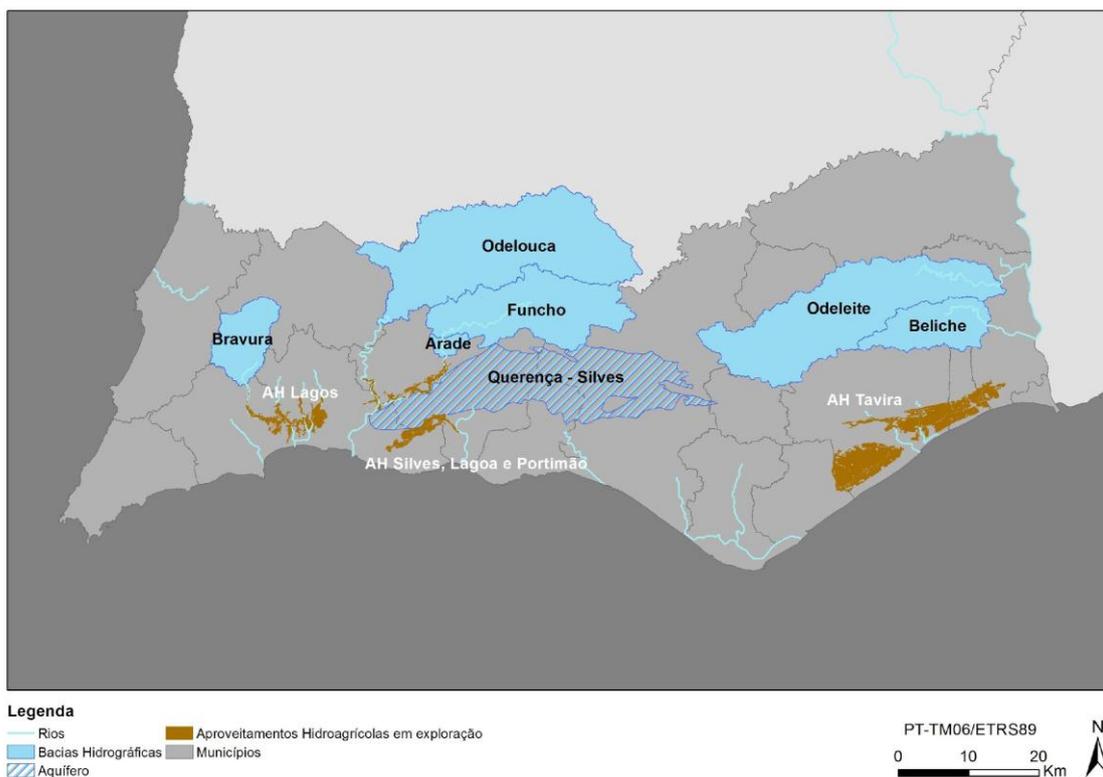
Também segundo Stigter et al., 2014, para além do aumento da frequência das secas, espera-se que a recarga do aquífero Querença-Silves diminua significativamente (em média 134 mm/ano até ao final do século) e que a evapotranspiração aumente em cerca de 20%, devido à crescente necessidade de rega e à crescente procura.

A região do Algarve conta, atualmente, com seis albufeiras de águas públicas (localizadas em 5 bacias hidrográficas), vários regadios em exploração (de onde se destacam três áreas de irrigação pela sua dimensão) e diferentes aquíferos. Entre os diferentes sistemas existentes no Algarve, a análise realizada no âmbito do setor dos recursos hídricos considerou um aquífero, quatro sistemas hidrológicos superficiais e três áreas de irrigação (Figura 1):

- o aquífero de **Querença-Silves**, que se situa no Algarve central, é o maior e mais produtivo sistema do sul de Portugal, com cerca de 43% das disponibilidades hídricas dos aquíferos algarvios (APA, 2016);
- a albufeira da **Bravura**, localizada no barlavento Algarvio, fornece água ao aproveitamento hidroagrícola de Alvor/Lagos, para uso doméstico e campos de golfe. Apresenta um consumo total anual de 6.732 dam<sup>3</sup> (Ver Tabela 1);
- a albufeira de **Odelouca**, que apresenta apenas consumo doméstico/municipal, fornece 31.200 dam<sup>3</sup>/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 (Ver Tabela 1);
- as albufeiras **Funcho-Arade**, que têm um consumo anual total de 9.234 dam<sup>3</sup>, dirigidos inteiramente à agricultura (Ver Tabela 1);
- 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 dam<sup>3</sup> (Ver Tabela 1).

	<b>Bravura</b>	<b>Odelouca</b>	<b>Funcho-Arade</b>	<b>Odeleite-Beliche</b>
<b>Área da Bacia km<sup>2</sup></b>	76,6	398,4	224,9	445,9
<b>Caudal Anual dam<sup>3</sup>/ano</b>	14.342	73.548	64.552	110.100
<b>Consumo Agrícola dam<sup>3</sup>/ano</b>	1.416	-	9.235	16.959
<b>Consumo Doméstico dam<sup>3</sup>/ano</b>	4.132	31.200	-	33.568
<b>Consumos Diversos dam<sup>3</sup>/ano</b>	1.183	-	-	-

**Tabela 1** Características dos sistemas hidrológicos superficiais considerados



**Figura 1** Bacias hidrográficas, aquífero Querença-Silves e aproveitamentos hidroagrícolas em exploração considerados.  
 Fonte: própria, com base em dados de APA (2018) e DGT (2017)

Os sistemas hidrológicos superficiais avaliados, conjuntamente com as áreas de irrigação de Lagos (com área de 3,3 km<sup>2</sup>), de Silves, Lagoa e Portimão (com 12,6 km<sup>2</sup>) e de Távira (com 28,33 km<sup>2</sup>), foram considerados como sendo 4 sistemas:

- Bravura e Lagos
- Odelouca
- Arade-Funcho e Silves, Lagoa e Portimão
- Odeleite-Beliche e Távira

Embora a avaliação desenvolvida se centre fundamentalmente nas captações de água superficial, existem ainda captações de origem subterrânea, nomeadamente o aquífero de Querença-Silves que, conforme referido, também foi considerado na análise.

Complementar à captação superficial, a captação de recursos hídricos de origem subterrânea é destinada essencialmente à agricultura.

Observando a Tabela 2 pode-se concluir que os recursos subterrâneos têm mais importância para a agricultura que os superficiais.

Uso	Volume hm <sup>3</sup>			TOTAL
	RH8 <sup>1</sup>		RH7 <sup>2</sup>	
	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
<b>TOTAL</b>	<b>87,71</b>	<b>119,69</b>	<b>50,527</b>	<b>257,927</b>

**Tabela 2** Volume de água utilizada para diferentes fins. Fonte: adaptado de Planos de Gestão de Região Hidrográfica - 2.º Ciclo, PGRH8 (Ribeiras do Algarve) Parte 2, APA 2016.

É de referir que não foram estimados em separado outros aproveitamentos hidroagrícolas, como por exemplo Odemira, devido à extensão da sua área não ser significativa para a Região e a captação da água provir de bacias que não correspondem ao território da CI-AMAL. No entanto, a área de Odemira e outros aproveitamentos do Algarve, em que a técnica utilizada para rega são furos ou pequenas captações e que correspondem a cerca de 275 km<sup>2</sup>, foram consideradas embora de uma forma simplificada.

Relativamente ao coberto vegetal nas bacias hidrográficas consideradas, verificou-se que este é classificado como floresta mediterrânica, vegetação esclerófita densa e eucalipto, não se verificando grande discrepância entre o tipo de vegetação nas diferentes bacias. Nas áreas de irrigação, a cultura mais presente e comum a todas as bacias hidrográficas consiste nos pomares de citrinos.

## 1.2 CARACTERIZAÇÃO DO QUADRO DE REFERÊNCIA DO SETOR

O Plano de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH) é o instrumento de gestão dos recursos hídricos de uma região hidrográfica. A região hidrográfica das ribeiras do Algarve é designada por RH8, enquanto que o Sotavento Algarvio, onde se situam as albufeiras de Odeleite e Beliche, pertence à bacia do Guadiana, designada de RH7. Atualmente decorre o 2º ciclo dos PGRH, referentes ao período 2016-2021. Existe uma integração dos PGRH com outros instrumentos de gestão territorial, ambiental e económica. A sua elaboração passa pela caracterização das pressões, monitorização e avaliação da implementação das medidas, pela avaliação ambiental, técnica, económica, e institucional, garantindo a sustentabilidade económica e financeira e visando a melhor relação custo eficácia ou custo benefício.

Segundo o PGRH da Região Hidrográfica das Ribeiras do Algarve (1º ciclo), os objetivos estratégicos para a região consistem na satisfação das necessidades das populações, garantindo simultaneamente a sustentabilidade da água sem comprometer a sua utilização pelas gerações

<sup>1</sup> Região Hidrográfica das Ribeiras do Algarve

<sup>2</sup> Região Hidrográfica do Guadiana (foram contabilizados os valores referentes ao Algarve)

futuras; na gestão das águas, assegurando a sua harmonização com as políticas setoriais e o desenvolvimento da região; e no garantir das normas de qualidade ambiental.

No que respeita às necessidades de água para rega e para a região do Algarve, espera-se uma extensificação dos sistemas de agricultura de regadio, a continuação da diminuição do número de pequenas explorações agrícolas devido ao seu abandono, a adoção de equipamentos, práticas agrícolas e sistemas de produção agrícola sustentáveis baseados em, por exemplo, técnicas agrícolas de precisão ou fontes de energia renováveis.

Cerca de 70% dos rios e albufeiras localizados na região estão classificados com o estado global “bom”, tendo-se observado uma importante melhoria na qualidade das massas de água relativamente ao período de 2009-2015 (APA 2016a, 2016b). Os principais problemas existentes residem no estado ecológico de alguns rios costeiros fortemente modificados, e da ribeira de Odelouca a jusante da barragem. Quanto às águas subterrâneas, 84% estão classificadas com o estado global “bom”, sendo que os problemas residem maioritariamente no estado químico de alguns aquíferos costeiros, cuja qualidade se apresenta degradada devido a problemas associados ao histórico de contaminação por fertilizantes agrícolas.

No entanto, é importante referir que todos os aquíferos cujas extrações de água para irrigação são inferiores a 90% da recarga, foram classificados com o estado “bom”. Ressalva-se neste contexto, que diversos estudos realizados recomendam um limiar de 60%-70% de extração de água para evitar problemas com salinização, especialmente em anos de seca severa (Hugman et al. 2012; Stigter et al. 2009). Com base no PGRH da RH8, pode-se concluir que a taxa de extração média de água é de cerca de 31%, encontrando-se concentrada no aquífero de Querença-Silves (extração acima dos 40%) e em aquíferos costeiros do sotavento Algarvio. Deve-se notar que os aquíferos mais perto da linha de costa estão mais vulneráveis à salinização causada por extração excessiva e inversão do fluxo subterrâneo, com a consequente intrusão de água marinha.

2.

---

# Metodologia

---



A avaliação das vulnerabilidades atuais no que respeita aos recursos hídricos foi realizada em 4 fases: i) recolha, tratamento e análise de dados; ii) aplicação do modelo de balanço hídrico *Thornthwaite-Mather* (Stigter et al., 2014) às bacias hidrográficas, aproveitamentos hidroagrícolas, e aquífero de Querença-Silves, o que inclui a calibração e validação do modelo hidrológico para a situação de referência; iii) simulação de caudais e necessidades de irrigação e a sua aplicação no cenário histórico e em alterações climáticas; e iv) extrapolação dos resultados do modelo para toda a área da CI-AMAL.

Para simular os impactos das alterações climáticas, procedeu-se à aplicação do modelo *Thornthwaite-Mather* com os dados provenientes de nove modelos climáticos (Tabela 3).

Modelo global	Modelo regional
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CLMcom-CCLM 4-8-17
	SMHI-RCA4
ICHEC-EC-EARTH	CLMcom-CCLM 4-8-17
	DMI-HIRHAM5
	KNMI-RACMO22E
	SMHI-RCA4
IPSL-CM5A-MR	IPSL-INERIS-WRF 3.3.1
MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM 4-8-17
	SMHI-RCA4

**Tabela 3** Modelos utilizados para a avaliação climática projetada

Na aplicação do modelo *Thornthwaite-Mather* distinguiram-se as bacias hidrográficas, em que há simulação de dados de caudal disponível, das áreas de irrigação, em que há simulação de necessidades de rega. Na aplicação a Querença-Silves, ambos foram considerados em simultâneo, sendo o caudal assumido como recarga do aquífero.

## 2.1 VARIÁVEIS E PARÂMETROS CLIMÁTICOS RELEVANTES PARA O SETOR

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 passará para a atmosfera através das plantas, assumindo que o solo apresenta uma quantidade de humidade suficiente disponível, ou seja, não há falta de água necessária para o processo.

A evapotranspiração potencial combina dois processos que ocorrem simultaneamente: a evaporação e a transpiração. 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, o diâmetro, a reflexão, a 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). O cálculo da evapotranspiração potencial foi realizado de acordo com a seguinte equação:

$$ET_c = K_c ET_0$$

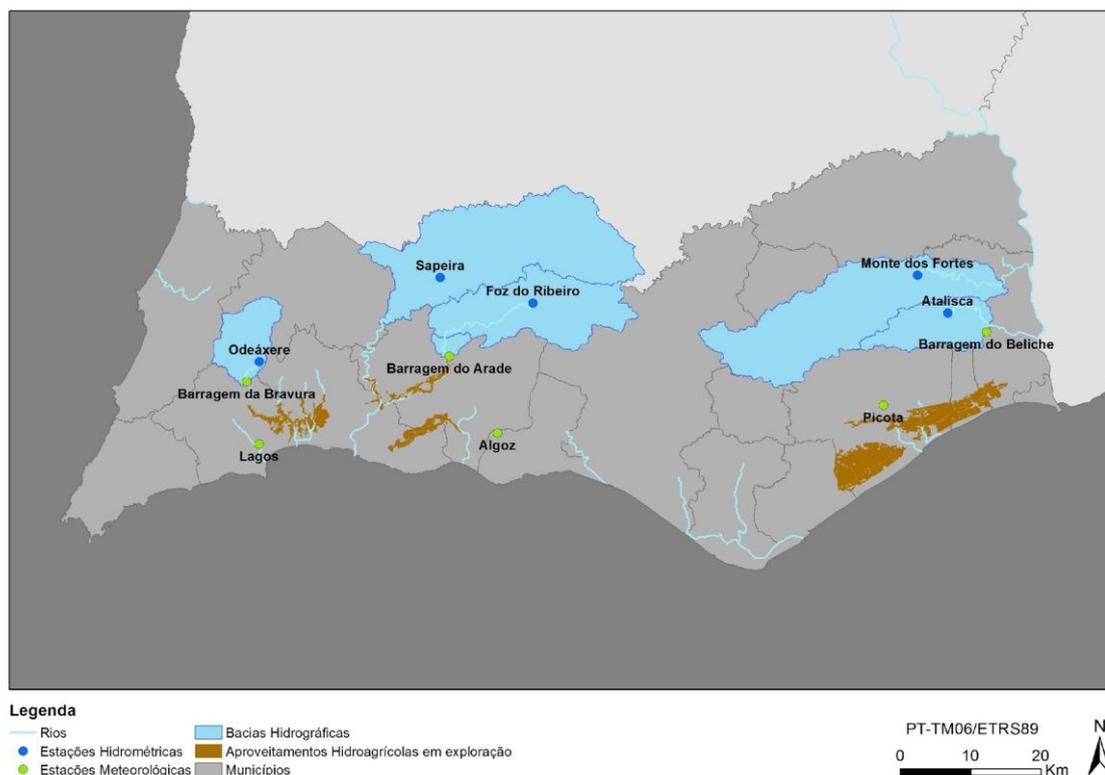
**Equação 1** Equação para cálculo da evapotranspiração das culturas analisadas

onde  $ET_c$  corresponde à evapotranspiração da cultura em condições ambientais normais;  $ET_0$  corresponde à evapotranspiração de referência; e  $K_c$  ao coeficiente de desenvolvimento da cultura.

Os dados meteorológicos observados tiveram origem nas estações meteorológicas da Barragem da Bravura, Lagos, Barragem do Arade, Algoz, Barragem de Beliche e Picota (Figura 2). Os valores da Barragem do Arade foram considerados não só para o Arade, mas também para Odelouca e para o Aquífero Querença-Silves. Neste último, o fator de correção foi calculado com base na comparação de valores mapeados de precipitação e temperatura (ver Stigter *et al.*, 2014). Os valores da estação da Barragem de Beliche foram também aplicados em Odeleite. A precipitação mensal e as temperaturas média, mínima e máxima mensal foram as variáveis utilizadas na 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.

As estações hidrométricas do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), por sua vez, foram utilizadas para recolher valores de caudal e, quando disponível, consumo municipal e agrícola. As estações hidrométricas de Odeáxere, Sapeira, Foz do Ribeiro, Monte dos Fortes e Atalisca fazem correspondência com as Albufeiras de Bravura, Odelouca, Arade, Odeleite e Beliche, respetivamente (Figura 2). Devido à ausência de dados de caudal diário na estação hidrométrica de

Odeáxere, recorreu-se às equações das curvas de vazão para o seu cálculo. Os dados das estações de Sapeira e Monte dos Fortes acabaram por não ser utilizados devido aos dados incongruentes, tendo-se procedido à simulação dos mesmos. Finalmente, para o Aquífero de Querença-Silves utilizaram-se como referência as simulações diárias de recarga feitas com o modelo BALSEQ, modelo de balanço hídrico sequencial diário (LNEC 2011).



**Figura 2** Localização das estações Meteorológicas utilizadas para recolher dados de precipitação e temperatura e das estações Hidrométricas utilizadas para recolher dados de caudal, consumos agrícola e municipal. Fonte: própria, com base em dados de APA (2018) e DGT (2017)

## 2.2 AVALIAÇÃO DAS VULNERABILIDADES E MODELAÇÃO DE IMPACTOS

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).

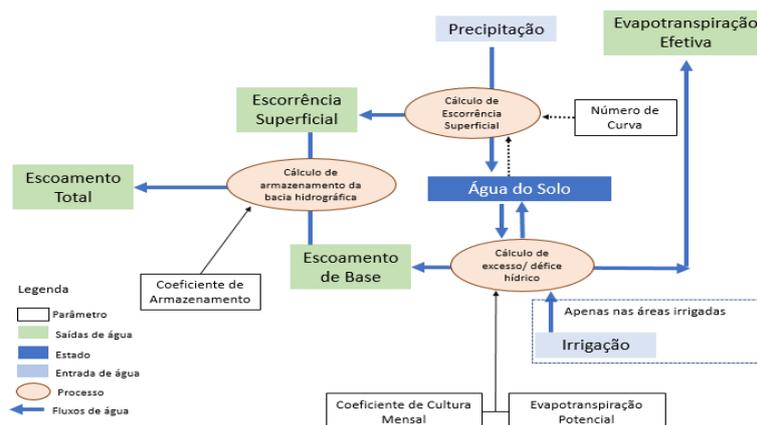


Figura 3 Fluxograma do funcionamento do modelo *Thornthwaite-Mather*

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 *curve numbers* (método em que estes números representam a quantidade de escoamento - Stigter *et al*, 2014).

O modelo foi aplicado em cada uma das 8 áreas de estudo, e dentro de cada área de estudo, a cada Unidade de Resposta Hidrológica (Tabela 4, Tabela 5 e Tabela 6). As Unidades de Resposta Hidrológica (URH) são áreas que compreendem um conjunto de fatores e elementos que influenciam o comportamento (resposta) dos recursos hídricos à precipitação e evapotranspiração potencial. Para este efeito, consideraram-se estes elementos como sendo o tipo de cobertura do solo e o tipo de solo, com recurso à Carta de Ocupação de Solos 2010 (DGT 2018) e Carta de 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. Por outras palavras, cada sistema tem várias URHs com características diferentes entre si: cada tipo de cobertura de solo tem um coeficiente de desenvolvimento de cultura, *curve number* e profundidade de raízes próprias, e cada tipo de solo tem a sua capacidade de retenção de água (AWC) e permeabilidade. Estas Unidades fazem parte da aplicação do modelo de balanço hidrológico, tanto na sua calibração como na validação.

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

**Tabela 4** Unidades de Resposta Hidrológica para cada bacia hidrográfica analisada

Área de Irrigação	URH1	URH2	URH3	URH4
Lagos	Pomares de Citrinos Irrigados (47,2%)	Milho (24,3%)	Vegetais (15,7%)	Vinha (12,8%)
Silves, Lagoa e 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%)	

**Tabela 5** Unidades de Resposta Hidrológica para cada área de irrigação analisada

Zona	URH1	URH2	URH3	URH4
Aquífero (70,5%)	Pomares de Sequeiro (30,8%)	Pomares de Citrinos Irrigados (30,7%)	Vegetação Esclerófita Densa (33,8%)	Terrenos incultos (4,6%)
Bacias hidrográficas a montante (29,5%)	Eucalipto (41,5%)	Pomares de Citrinos Irrigados (19,3%)	Vegetação Esclerófita Densa (28,1%)	Terrenos incultos (11,1%)

**Tabela 6** Unidades de Resposta Hidrológica para o aquífero de Querença-Silves

O modelo de balanço hídrico utilizado gera valores de caudal ou recarga e de necessidade de irrigação. Para avaliar a qualidade das simulações do modelo, ou se há falhas na calibração e validação, são calculadas nove variáveis estatísticas de análise de qualidade: R, R<sup>2</sup>, viés, percentagem de viés, RMSE (Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio), percentagem de RMSE, STDev (Desvio Padrão), RSR (standard deviation ratio ou erro de desvio padrão), e NSE (*Nash-Sutcliffe Efficiency*). Não obstante a complexidade, a análise crítica baseou-se apenas em quatro variáveis que são consideradas as mais importantes: R<sup>2</sup>, percentagem de viés, RSR e NSE.

O Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ) é uma das mais importantes variáveis no modelo, uma vez que de acordo com Krause & Boyle (2005), representa quanto dos valores observados são explicados pelos simulados, variando entre 0 e 1. 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 analisadas outras variáveis de avaliação do modelo.

A percentagem de 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 a percentagem de Viés, maior é a discrepância entre os valores observados e simulados. Os seus valores podem variar entre 0 e 100.

A terceira variável, o RSR, é a razão entre o RMSE e o desvio padrão dos dados observados. Varia de 0 (valor perfeito) até  $+\infty$  (Moriasi 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. Esta variável varia entre  $-\infty$  e 1, sendo 1 o resultado desejado (Paul et al. 2018).

O modelo é avaliado de acordo com estas variáveis e de acordo com os valores representados na Tabela 7.

	Muito Bom	Bom	Satisfatório
Viés (%)	$<\pm 10\%$	$<\pm 15\%$	$<\pm 25\%$
RSR	$\leq 0,50$	$\leq 0,60$	$\leq 0,70$
NSE	$> 0,75$	$> 0,65$	$> 0,50$

**Tabela 7** Avaliação do Modelo (Motovilov et al. 1999)

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 restantes bacias hidrográficas onde existiam dados observados: Arade e Beliche (Tabela 8). Na aplicação do modelo nas bacias hidrográficas do Arade, Beliche, Odeleite e Odelouca foram aplicados os mesmos parâmetros que nas anteriores, exceto no caso da Capacidade do Solo para retenção de água e *curve numbers*, 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. Relativamente ao aquífero de Querença-Silves, o modelo foi calibrado em separado.

A calibração do modelo resultou num  $R^2$  relativamente bom, em que pelo menos 61% dos valores simulados correspondem aos observados. Com base em Moriasi et al. 2007, considera-se que o Viés (%) tem a classificação de “Muito Bom” e o RSR é “Satisfatório” (ver Tabela 7). A validação do modelo nas bacias hidrográficas foi, em geral, bem-sucedida, como demonstrado nos valores apresentados na Tabela 8.

	<b>Bravura</b>	<b>Arade</b>	<b>Beliche</b>	<b>Querença-Silves</b>
R	0,79	0,78	0,86	0,89
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0,62</b>	<b>0,61</b>	<b>0,74</b>	<b>0,78</b>
Viés (mm)	0,1	0	0,3	-0,2
<b>Viés (%)</b>	<b>0,4%</b>	<b>0,10%</b>	<b>1,7%</b>	<b>-1,1%</b>
RMSE (mm)	18,5	43,2	15,4	12,7
RMSE (%)	120,2%	197,80%	103,2%	58,4%
StDev (mm)	27,3	66,4	30,6	22,8
<b>RSR</b>	<b>0,68</b>	<b>0,65</b>	<b>0,5</b>	<b>0,56</b>
<b>NSE</b>	<b>0,54</b>	<b>0,57</b>	<b>0,74</b>	<b>0,69</b>

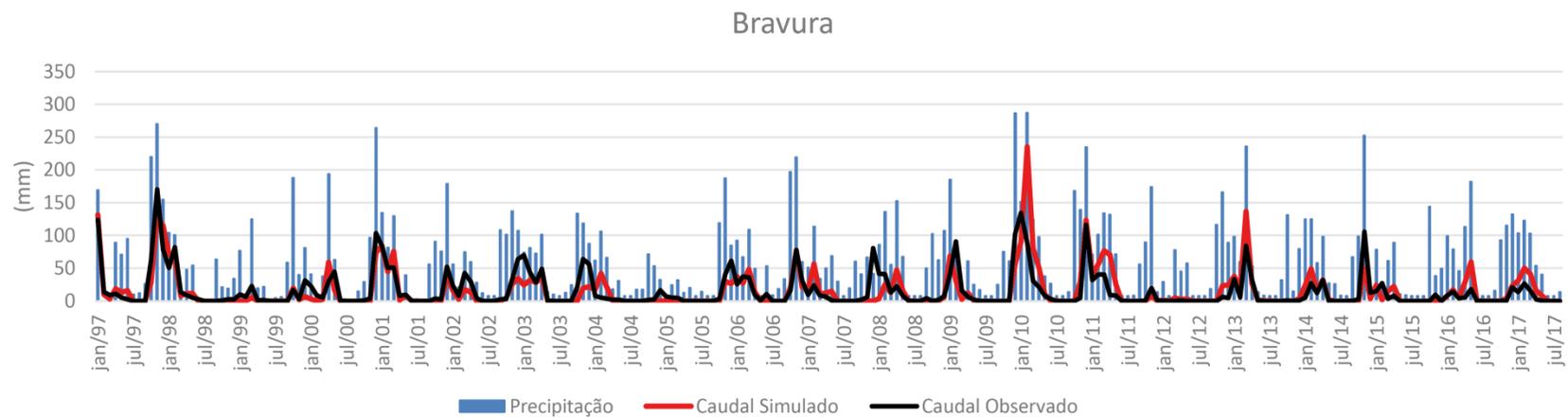
**Tabela 8** Avaliação do modelo para as Bacias Hidrográficas onde existem dados disponíveis de caudal observado no SNIRH (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos) e para o aquífero de Querença-Silves

Na Figura 4, Figura 5, Figura 6, Figura 7 e Figura 8 encontram-se as representações da simulação de caudal geradas pelo modelo *Thorntwaite-Mather* para as bacias hidrográficas de Bravura, Arade, Odelouca, Odeleite e Beliche, respetivamente. As simulações das necessidades de rega para as áreas de irrigação de Lagos, de Silves, Lagoa e Portimão e de Tavira, encontram-se representadas na Figura 9, Figura 10 e Figura 11, respetivamente. A simulação da recarga do aquífero Querença-Silves está representada na Figura 12.

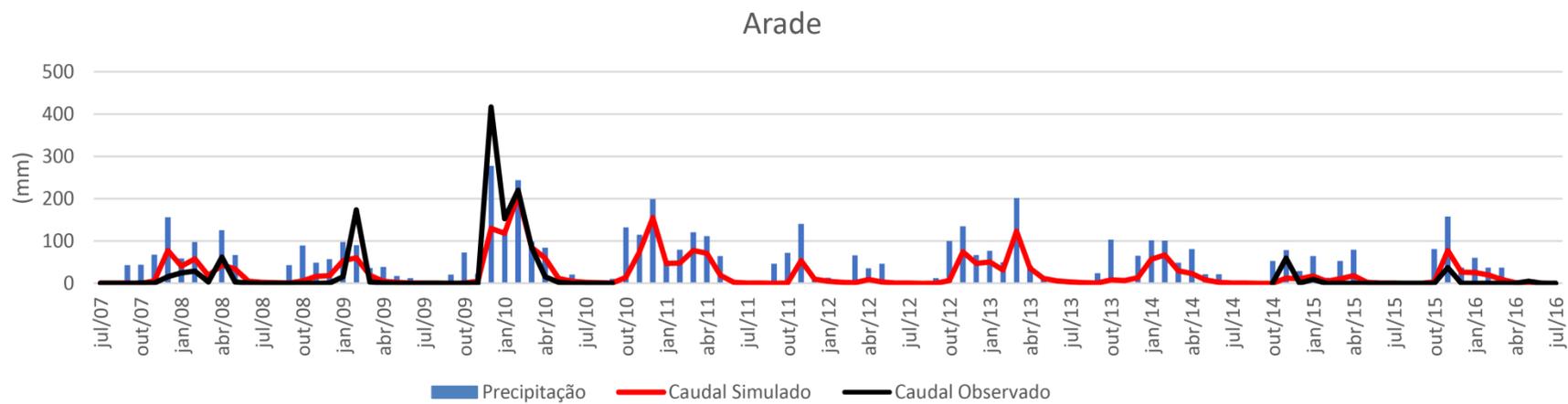
Para as zonas de irrigação, a calibração foi feita em Tavira (Sotavento), onde foram aplicadas três Unidades de Resposta Hidrológica: pomares irrigados, pastagem e cereais. Na validação do modelo na zona de irrigação de Silves, Lagoa e Portimão foram consideradas também três unidades, nomeadamente pomares irrigados, arroz e milho, e, em Lagos, para além dos pomares irrigados e milho, vegetais e vinha (Tabela 9).

	Lagos	Silves, Lagoa e Portimão	Tavira
R	0,93	0,91	0,91
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0,87</b>	<b>0,83</b>	<b>0,83</b>
Viés (mm)	4,7	27,2	38,9
<b>Viés (%)</b>	<b>4,0%</b>	<b>3,4%</b>	<b>3,0%</b>
RMSE (mm)	48,3	390,8	595,4
RMSE (%)	41,1%	48,8%	49,6%
StDev (mm)	127,8	956,1	869,3
<b>RSR</b>	<b>0,38</b>	<b>0,41</b>	<b>0,68</b>
<b>NSE</b>	<b>0,86</b>	<b>0,83</b>	<b>0,53</b>

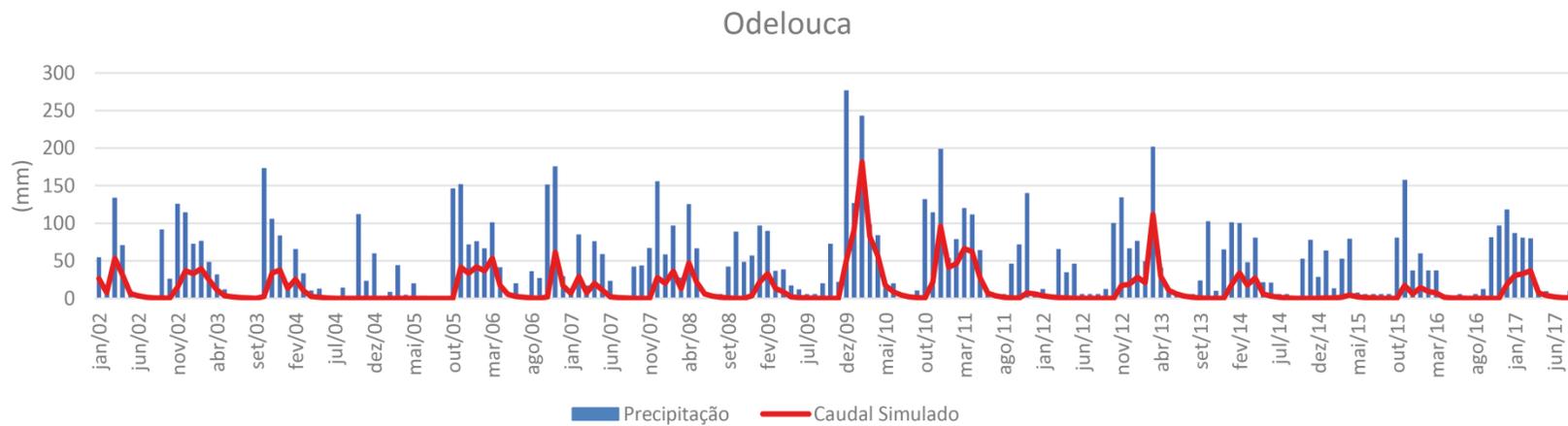
**Tabela 9** Avaliação do modelo para as áreas de irrigação em estudo



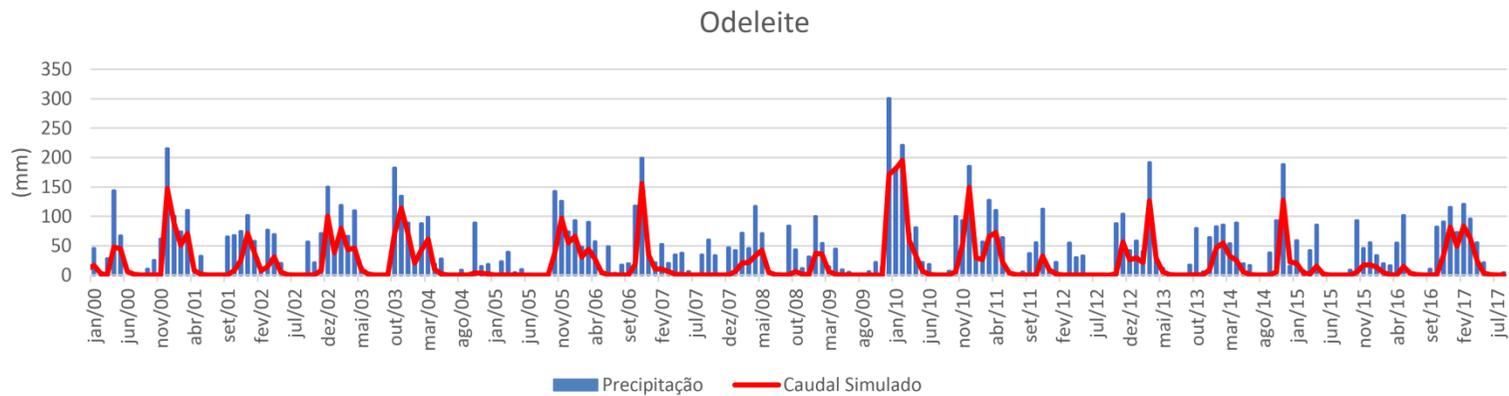
**Figura 4** Simulação de caudal na bacia hidrográfica da Bravura



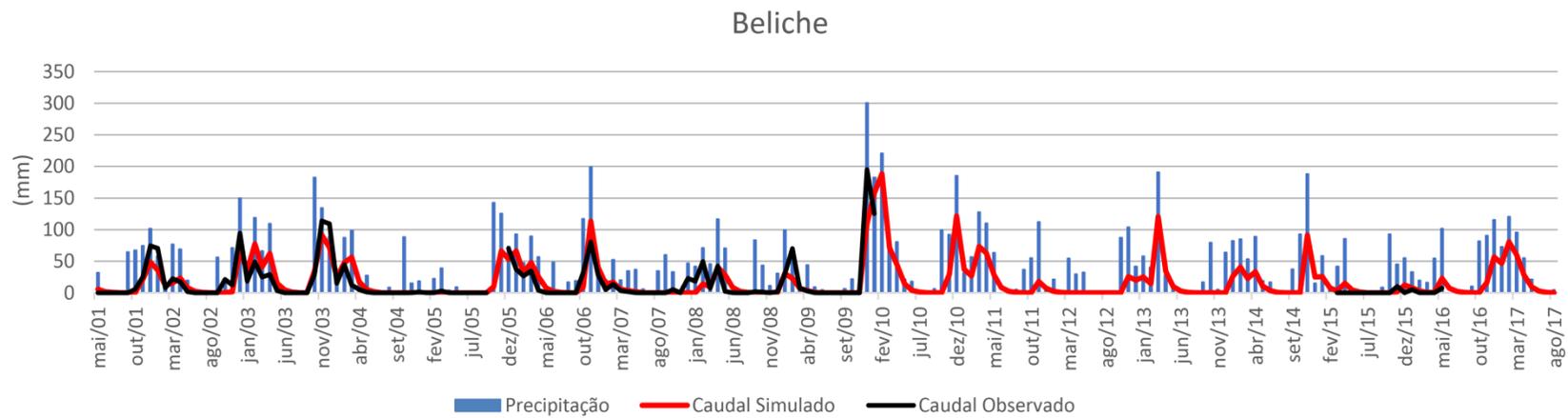
**Figura 5** Simulação de caudal na bacia hidrográfica do Arade



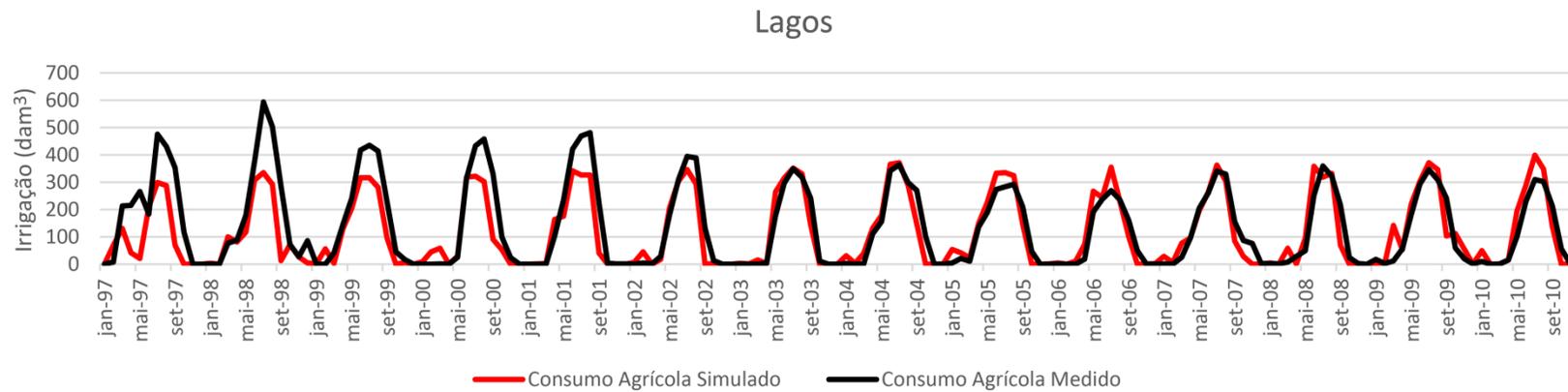
**Figura 6** Simulação de caudal na bacia hidrográfica de Odelouca



**Figura 7** Simulação de caudal na bacia hidrográfica de Odeleite

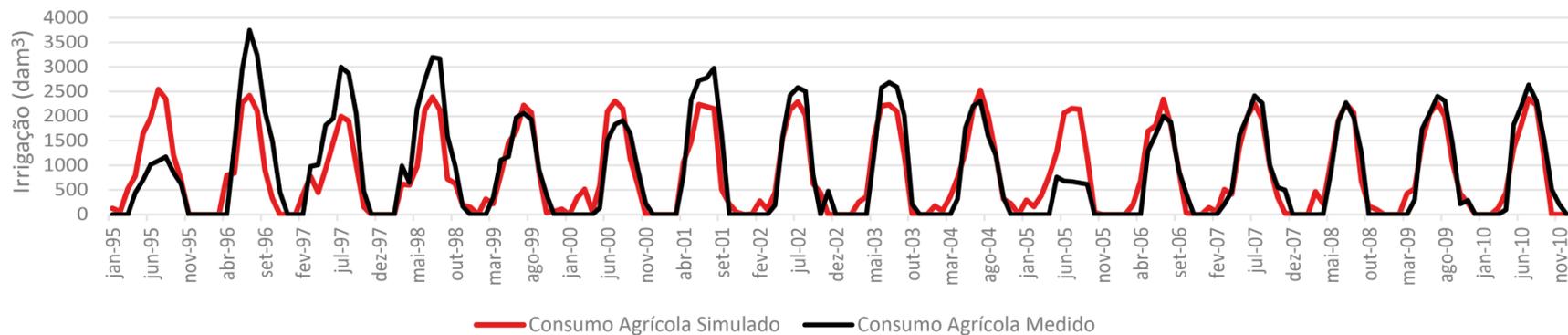


**Figura 8** Simulação de caudal na bacia hidrográfica de Beliche



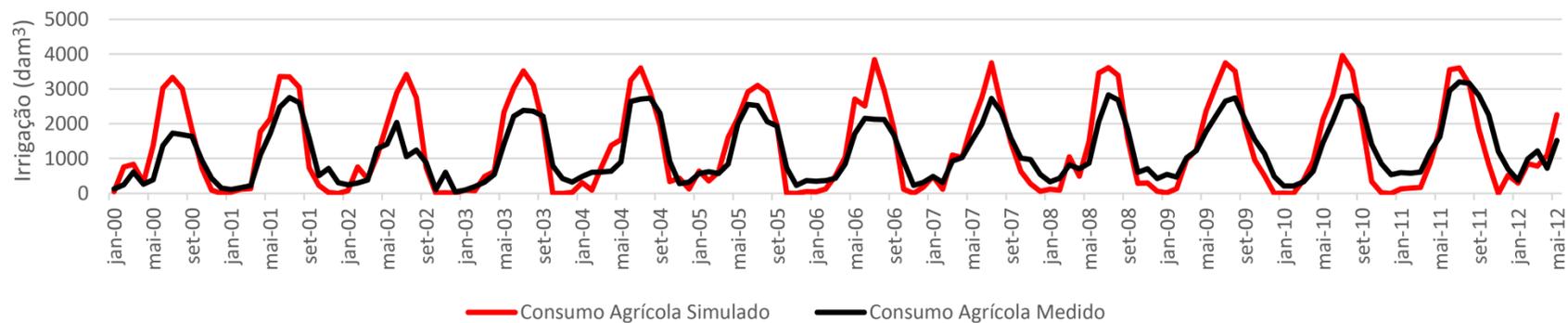
**Figura 9** Simulação de necessidades de rega na área de irrigação de Lagos

### Silves, Lagoa e Portimão

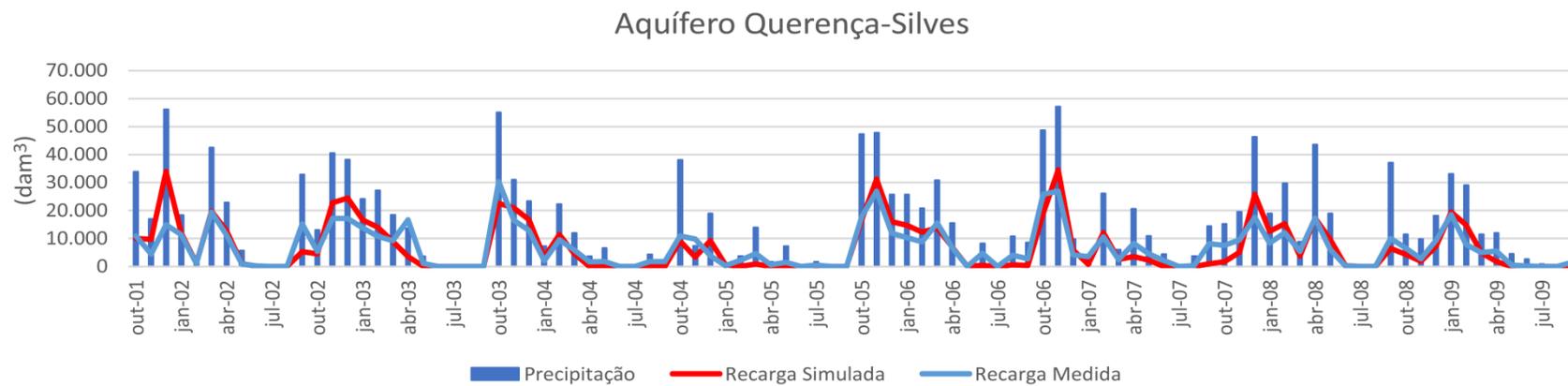


**Figura 10** Simulação de necessidades de rega na área de irrigação de Silves, Lagoa e Portimão

### Tavira



**Figura 11** Simulação de necessidades de rega na área de irrigação de Tavira



**Figura 12** Simulação da recarga do aquífero Querença-Silves

Para a aplicação do modelo, foram ainda utilizados 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 de Desenvolvimento Rural 2007-2013, as perdas de água dentro da parcela de irrigação de Silves, Lagoa e Portimão devem-se à antiguidade do sistema. O sistema de rega praticado nesta área, segundo o mesmo documento é o de alagamento/inundação, em que existem perdas de água elevadas. O Programa de Desenvolvimento Rural refere o objetivo de alterar o sistema e adotar novas técnicas de rega, nomeadamente a localizada e de precisão, de modo a aumentar a eficiência. Devido a eventuais alterações no sistema introduzidas no âmbito do referido Programa, considerou-se que a eficiência de irrigação, como parâmetro do modelo de balanço hídrico aplicada na área de irrigação de Silves, Lagoa e Portimão, é igual a 75%. Nas restantes áreas irrigadas foi aplicada uma eficiência de 100%;
- Coeficiente de Desenvolvimento de Cultura (ou simplesmente Kc): 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. O capítulo seguinte descreve este coeficiente no contexto das alterações climáticas (ver ainda a Equação 1).

A última etapa da caracterização deste setor consistiu no desenvolvimento de um índice qualitativo de pressão sobre os recursos de água subterrâneos, de modo a identificar os aquíferos mais vulneráveis a situações de défice quantitativo em cenários de alterações climáticas. Neste índice simplificado consideraram-se dois fatores: i) as necessidades de água, sob a forma de área de culturas irrigadas situada sobre o aquífero (excluindo aquelas irrigadas com águas superficiais); e ii) as disponibilidades de água, de acordo com os valores apresentados no PGRH para cada aquífero (APA 2016a). O índice foi normalizado por forma a obter um valor entre 0 e 5, correspondendo ao valor mínimo e máximo observado, respetivamente. Este índice permite a identificação de quais os aquíferos mais vulneráveis a situações de redução de recarga em cenários futuros, sendo obtido através da seguinte equação:

$$IP = A_{irr} / D_{hid} \times 2,17$$

**Equação 2** Índice qualitativo de pressão sobre os recursos hídricos subterrâneos

onde IP é o índice de pressão;  $A_{irr}$  é a fração da área do aquífero ocupada por culturas irrigadas com água subterrânea;  $D_{hid}$  é a disponibilidade hídrica ( $hm^3/km^2.ano$ ); e 2,17 é um fator de normalização para que os resultados se situem entre 0 e 5.

## 2.3 APLICAÇÃO PARA CENÁRIOS FUTUROS E EXTRAPOLAÇÃO DE RESULTADOS PARA A ÁREA DA CI-AMAL

Para simular os impactos de alterações climáticas, procedeu-se à aplicação do modelo *Thornthwaite-Mather* com os dados dos nove modelos climáticos (ver Tabela 3).

Para cada modelo, foi calculado o balanço hídrico para o período 1970-2005 (período de referência) e para os cenários de alterações climáticas RCP4.5 e RCP8.5, considerando os períodos de 2006-2040, 2041-2070 e 2071-2100. A análise dos modelos climáticos permitiu obter projeções ao longo do século XXI, para as variáveis 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 viés dos resultados do modelo foi corrigido com recurso ao método de delta, aplicado simultaneamente nas medianas de caudal e necessidades de irrigação. Por outras palavras, para cada modelo climático foi calculada a diferença (sob a forma de rácio) entre os valores futuros (por cenário e período) e os valores históricos simulados por cada modelo climático. Posteriormente esta diferença foi aplicada (multiplicada) aos valores provenientes da simulação do modelo *Thornthwaite-Mather* que resultaram da aplicação de dados meteorológicos observados. Desta forma, obteve-se uma estimativa dos caudais e necessidades de irrigação futura, através da correção do viés dos resultados do modelo *Thornthwaite-Mather*, originado pelo viés dos modelos de clima.

Finalmente, foi efetuada uma extrapolação destes resultados para toda a área da CI-AMAL.

### **Extrapolação de resultados para a área da CI-AMAL**

Dos resultados de modelação obtidos para as diversas bacias hidrográficas, aproveitamentos hidroagrícolas e aquífero de Querença-Silves, foram extraídos os valores correspondentes a água disponível, isto é, a precipitação depois de excluída a evapotranspiração (escoamento total na Figura 3) e as necessidades de irrigação. Estes resultados foram extraídos para cada tipo de uso de solo nas zonas modeladas.

Para o cálculo das disponibilidades de água e necessidades de irrigação procedeu-se à multiplicação destes valores médios pela área ocupada na área da CI-AMAL (de acordo com a Carta de Ocupação do Solo de 2010), para os principais usos de solo (Tabela 10). As disponibilidades foram divididas em água superficial e recarga de aquíferos utilizando os valores de recarga de aquíferos nas diferentes áreas da CI-AMAL, disponíveis no Plano de Gestão de Região Hidrográfica (ver Tabela 2 ). A disponibilidade superficial foi ainda subdividida em água atualmente captada por barragens (para os sistemas indicados na Tabela 1 ) e água teoricamente livre, ou seja, não captada.

Finalmente, foi ainda calculado o valor total de água residual eventualmente disponível para reciclagem, considerando 70% do consumo doméstico (conforme Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas da RH8); de notar que a reciclagem de águas residuais não é significativa na situação presente. Estes cálculos foram repetidos para os cenários RCP4.5 e RCP8.5 e para os diferentes períodos futuros, recorrendo à mediana dos resultados dos modelos climáticos utilizados.

Uso de Solo	Ocupação	Necessidades de irrigação (mm/ano)	Água Disponível (mm/ano)
Agricultura mista*	7,9%	200	309
Água	1,8%	-	-
Arroz	0,1%	882	623
Campos de golfe	0,5%	973	489
Culturas de sequeiro	2,9%	0	298
Eucalipto	5,2%	0	139
Florestas mediterrânicas	9,8%	0	212
Milho	<0,1%	741	481
Pastagens	4,8%	0	481
Pinheiro bravo	8,1%	0	203
Pomares de sequeiro	5,2%	0	249
Pomares irrigados	3,6%	500	398
Terrenos incultos	5,4%	0	302
Vegetação esclerofítica	41,6%	0	301
Vegetais	0,8%	361	298
Vinha	0,4%	311	374
Zonas húmidas	2,0%	0	301

\* Considerou-se 40% de Pomares Irrigados e 60% de Pomares de Sequeiro

**Tabela 10** Taxa de ocupação do solo na CI-AMAL para os principais usos de solo, e respetivas necessidades de irrigação e água disponível. Fonte: COS 2010 (DGT 2018)

3.

---

# Vulnerabilidade Atual

---

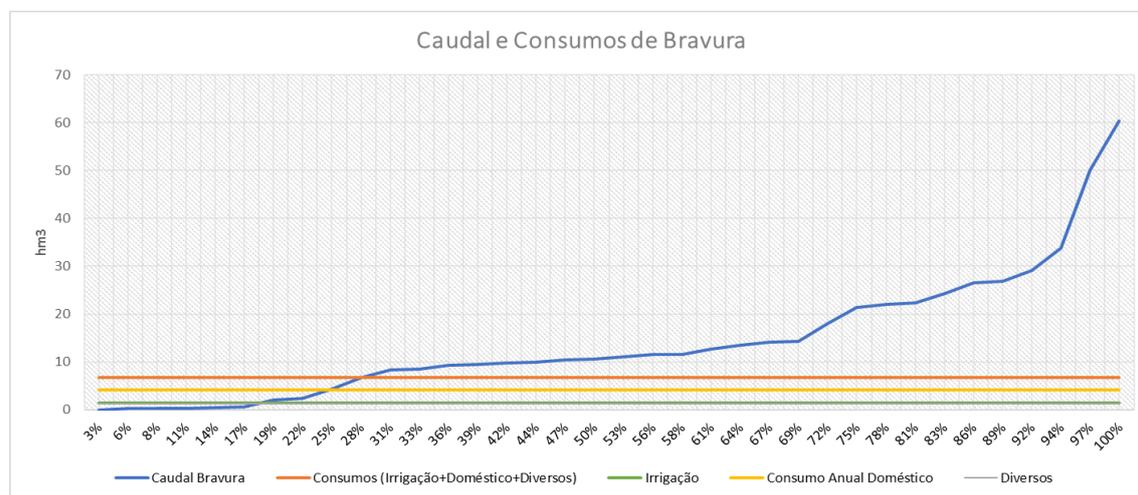


### 3.1 IDENTIFICAÇÃO DE IMPACTOS NÃO CLIMÁTICOS

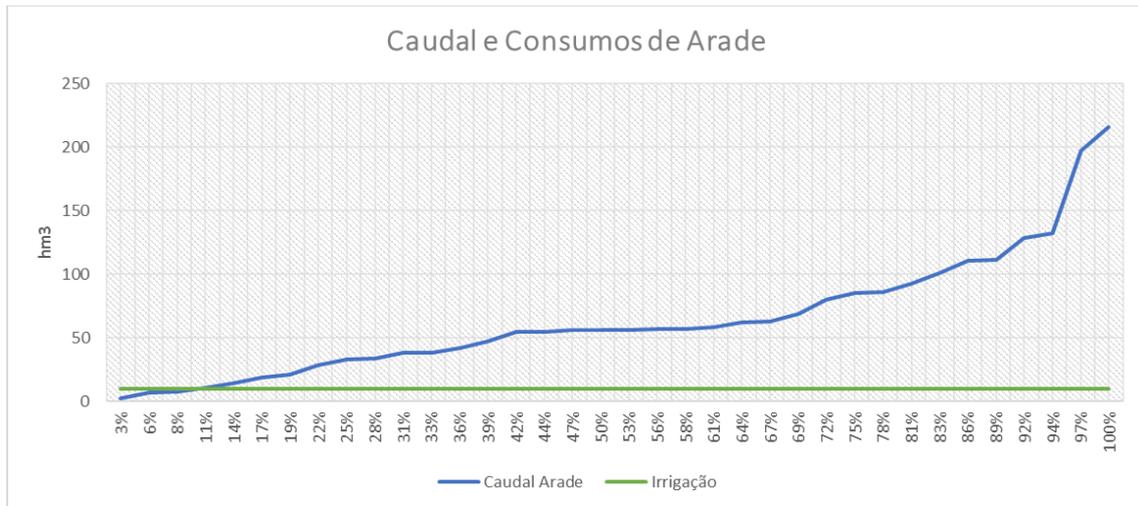
A utilização excessiva dos recursos hídricos pode promover o que é designado de stress hídrico. Esta pressão pode ocorrer devido a vários fatores, maioritariamente, não climáticos. A irrigação, por exemplo, é o principal consumo hídrico no Algarve e tem elevada importância, como acontece na maioria das regiões hidrográficas (APA 2016a). Um dos impactos a curto prazo poderá ser a escassez de água para a agricultura, consequência do provável aumento das áreas irrigadas. Devido à crescente afluência turística, principalmente no verão em que existe maior escassez de água, outro impacto a considerar será a falta de oferta de recursos hídricos para consumo humano nos períodos em que a procura é maior.

### 3.2 IDENTIFICAÇÃO DE IMPACTOS CLIMÁTICOS

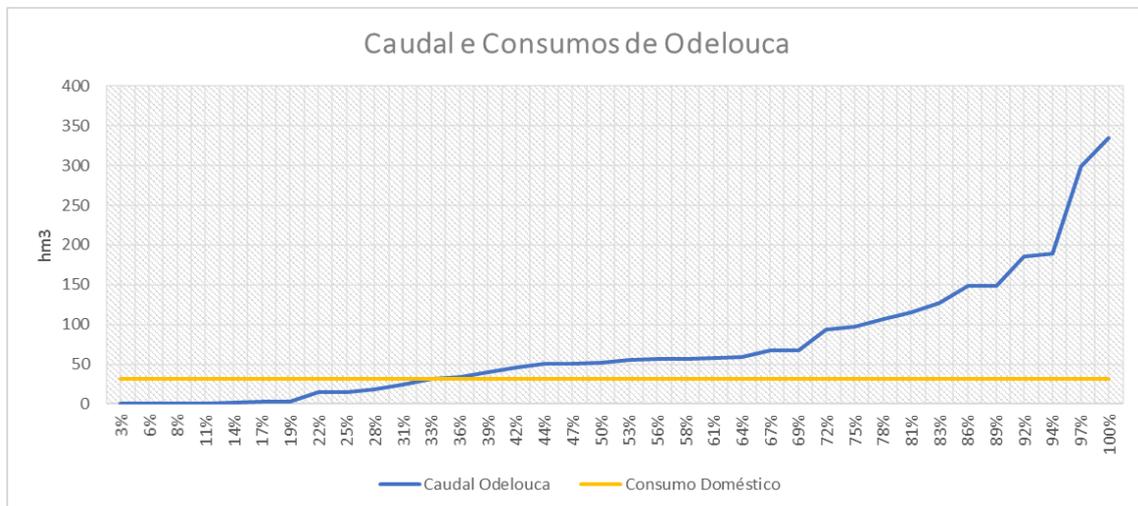
As Figuras seguintes (Figura 13 a Figura 17) representam a percentagem de ocorrência do caudal afluente anual (ordenado por ordem crescente) no período de 1970-2005 (i.e. no período de referência), comparada com o consumo médio anual que se verifica atualmente. Através destas representações pode-se concluir também a percentagem de anos, dentro da normal 1970-2005, em que ocorreram eventos de seca hidrológica, ou seja, em que a oferta de recursos hídricos não acompanhou a sua procura. Por exemplo, no gráfico referente à bacia hidrográfica da Bravura (Figura 13) verifica-se que cerca de 28% dos anos apresentaram escassez de água, uma vez que o caudal disponível foi inferior ao consumo médio total. Adicionalmente, pode-se concluir que as bacias de Odelouca (Figura 15) e Bravura (Figura 13) foram aquelas onde se verificou maior percentagem de anos de seca (ver também a Tabela 11).



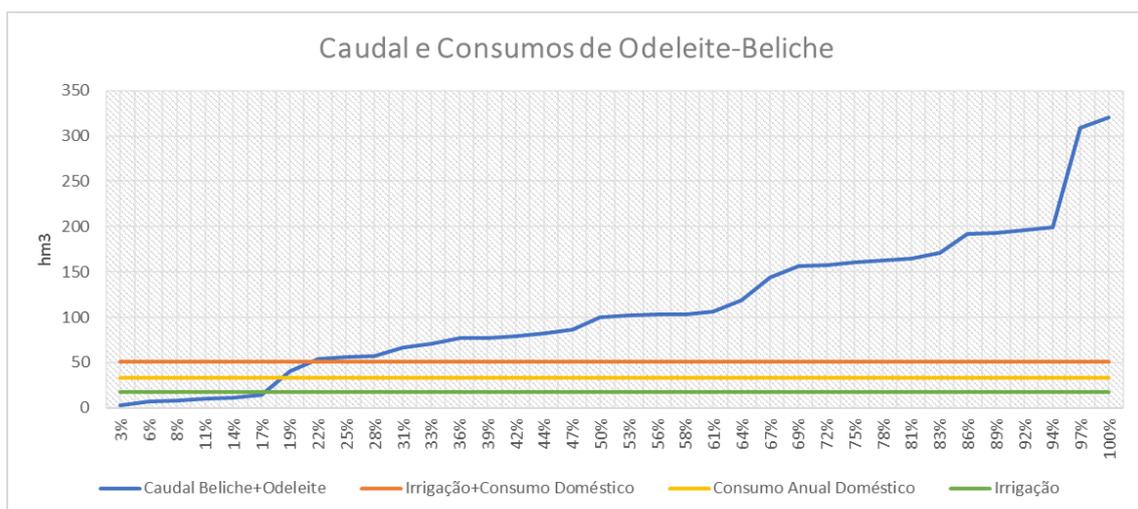
**Figura 13** Médias de caudal por ano hidrológico e média de consumos na Bravura no período de 1970-2005 (as linhas da irrigação e do consumo diverso coincidem por terem valores semelhantes)



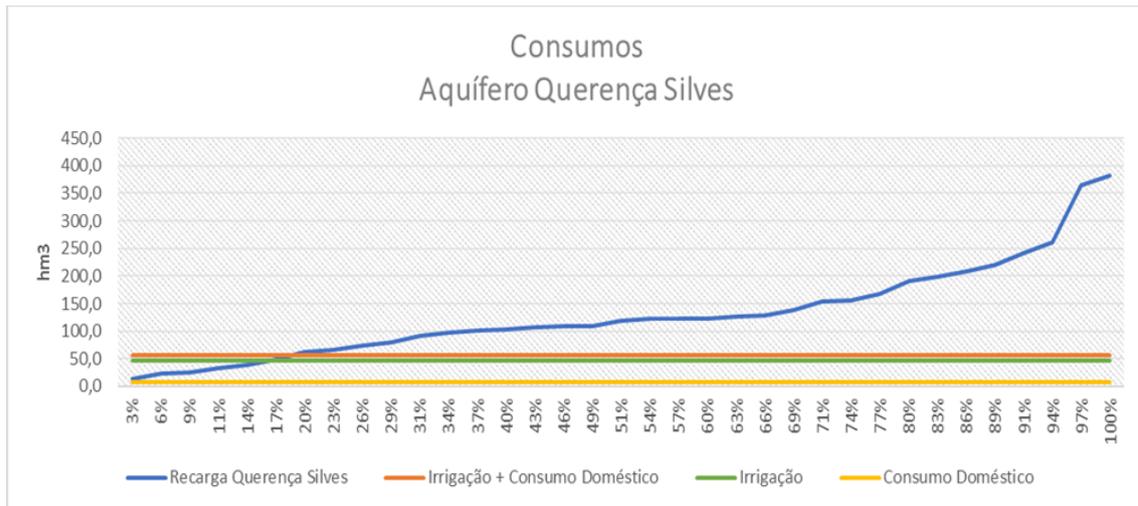
**Figura 14** Médias de caudal por ano hidrológico e média de consumos no Arade no período de 1970-2005



**Figura 15** Médias de caudal por ano hidrológico e média de consumos em Odelouca no período de 1970-2005



**Figura 16** Médias de caudal por ano hidrológico e média de consumos em Odeleite-Beliche no período de 1970-2005



**Figura 17** Médias de caudal por ano hidrológico e média de consumos no Aquífero Querença-Silves no período de 1970-2005

	Sistema Bravura-Lagos	Sistema Arade-Funcho e Silves, Lagoa e Portimão	Sistema Odelouca	Sistema Odeleite-Beliche e Tavira	Aquífero Querença-Silves
% de anos hidrológicos com seca hidrológica	≈28	≈10	≈36	≈22	≈18

**Tabela 11** Percentagem de anos hidrológicos em situação de seca para cada sistema, na normal 1970-2005

4.

---

## Impactos e Vulnerabilidades Futuras no Algarve

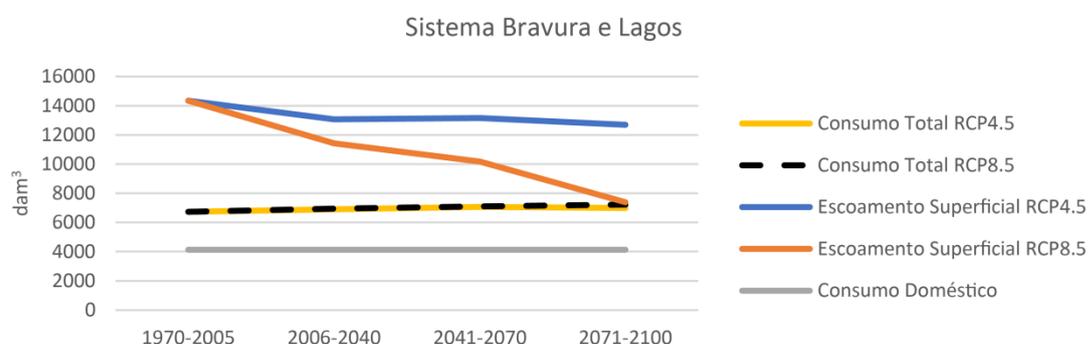
---



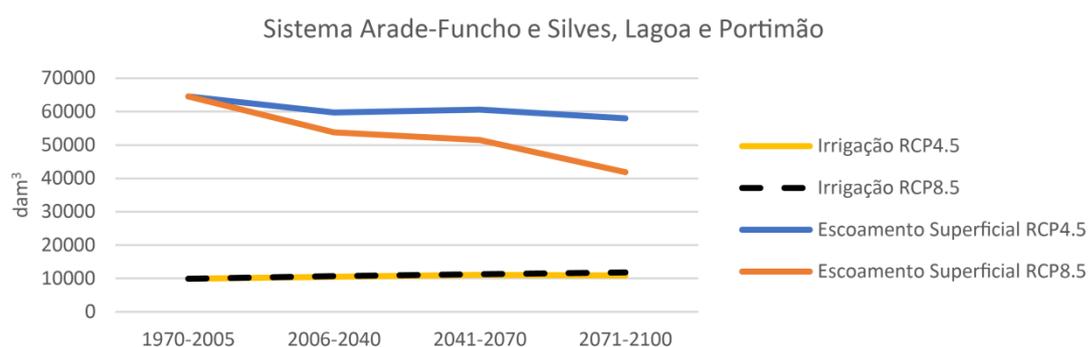
## 4.1 IMPACTOS POR SISTEMA DE RECOLHA E ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Na Figura 18, Figura 19, Figura 20, Figura 21 e na Figura 22, encontram-se as medianas dos caudais e das necessidades de irrigação simulados para os cenários RCP4.5 e RCP8.5, separados por sistema. Estas projeções resultam da mediana das 9 aplicações correspondentes a cada um dos modelos climáticos enumerado anteriormente (Tabela 3).

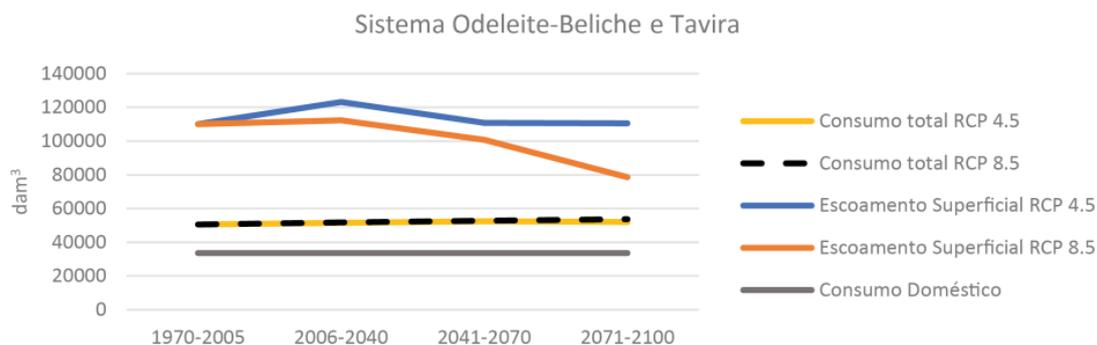
Como esperado, é no cenário RCP8.5 e para o final do século (2071-2100) onde os impactos são maiores. Neste cenário e período verifica-se que o sistema Bravura e Lagos tem consumos semelhantes à oferta. Isto significa que a oferta pode não ser suficiente para satisfazer as necessidades totais, levando ao colapso do sistema (Figura 18). Por outro lado, o aquífero de Querença-Silves, os sistemas de Odeleite-Beliche e Tavira e de Odelouca encontram-se numa fase intermédia. Todavia, no final do século e no cenário de RCP8.5, os impactos prevêem-se significativos. Estes impactos surgem principalmente devido à diminuição do escoamento nas bacias hidrográficas e da recarga no aquífero.



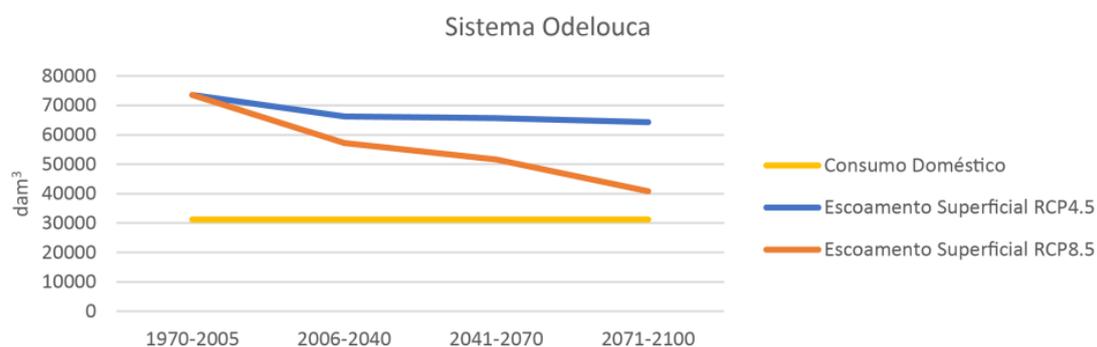
**Figura 18** Medianas de escoamento superficial e necessidade de irrigação para o período de 1970 a 2100, no sistema de Bravura e Lagos



**Figura 19** Medianas de escoamento superficial e necessidade de irrigação para o período de 1970 a 2100, no sistema de Arade-Funcho e Silves, Lagoa e Portimão



**Figura 20** Medianas de escoamento superficial e necessidade de irrigação para o período de 1970 a 2100, no sistema de Odeleite-Beliche e Tavira



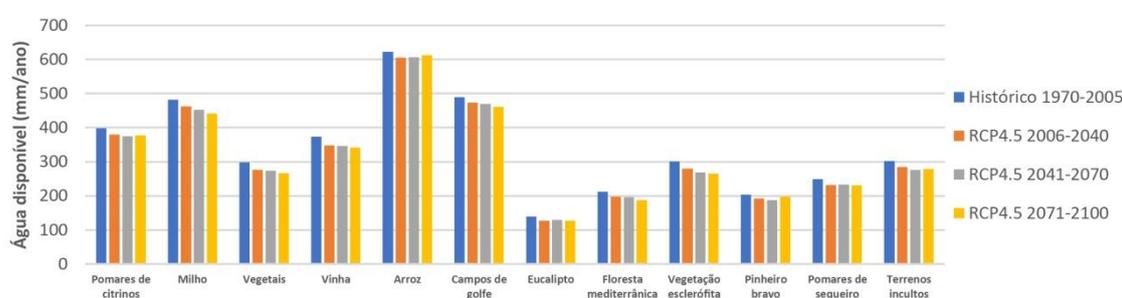
**Figura 21** Medianas de Escoamento Superficial e consumo doméstico para o período de 1970 a 2100, no sistema de Odelouca (o consumo doméstico foi considerado constante ao longo do século)



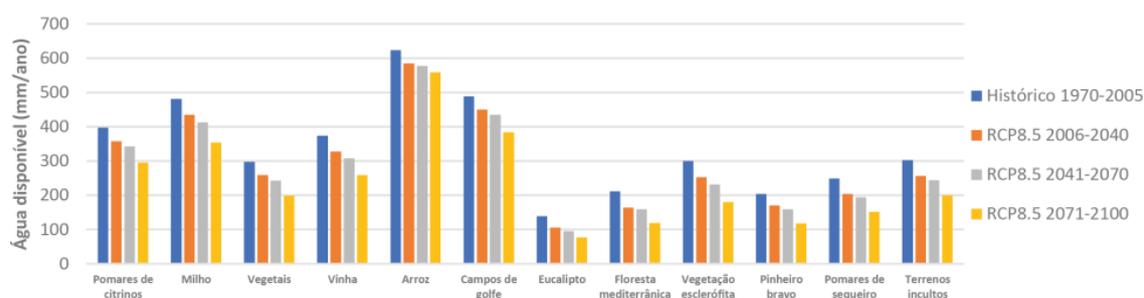
**Figura 22** Medianas de Recarga e Consumos para o período de 1970 a 2100, no Aquífero Querença-Silves (o consumo doméstico foi considerado constante ao longo do século)

## 4.2 EXTRAPOLAÇÃO DE IMPACTOS PARA A ÁREA DA CI-AMAL

A extrapolação dos resultados anteriormente apresentados para a área da CI-AMAL permitiu, numa primeira instância, estimar a água disponível e as necessidades de irrigação por uso de solo. Os valores de água disponível (soma da contribuição para o caudal dos rios e para a recarga dos aquíferos) ao longo do século XXI e em cada um dos cenários considerados, encontram-se descritos na Figura 23 e na Figura 24. Independentemente do cenário considerado, observa-se uma diminuição progressiva da água disponível em cada uso de solo ao longo do século, existindo uma tendência para a estabilização na maioria dos usos de solo, para o final do século no cenário RCP4.5 (Figura 23). A diminuição da água disponibilizada é mais acentuada no cenário RCP8.5 e no final do século, sendo mais pronunciado, em termos relativos, nos cobertos de solo naturais (floresta e matos - Figura 24).

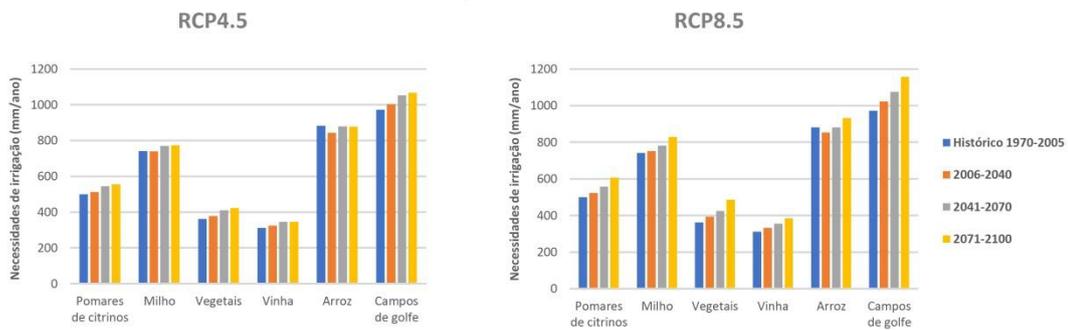


**Figura 23** Resultados médios de todas as zonas modeladas, por uso de solo, para a água disponível (precipitação depois de excluída a evapotranspiração) no cenário RCP4.5



**Figura 24** Resultados médios de todas as zonas modeladas, por uso de solo, para a água disponível (precipitação depois de excluída a evapotranspiração) no cenário RCP8.5

Da mesma forma, os resultados indicam um aumento das necessidades de irrigação ao longo do século, para todas as culturas exceto o arroz. Estas são mais acentuadas no cenário RCP8.5 e no final do século, e em termos relativos são mais pronunciadas para a irrigação de vegetais e de campos de golfe (Figura 25).

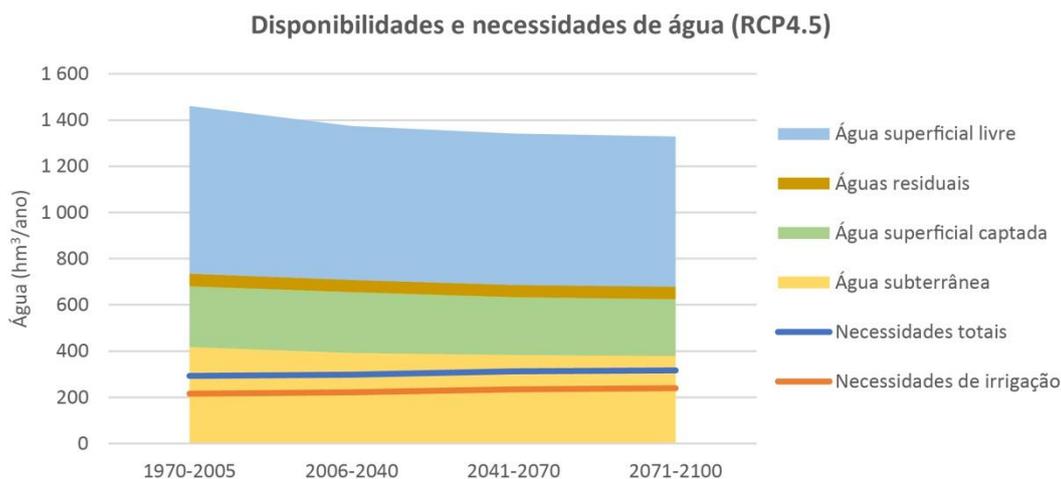


**Figura 25** Resultados médios de todas as zonas modeladas, por uso de solo, para as necessidades de irrigação no cenário RCP4.5 e RCP8.5

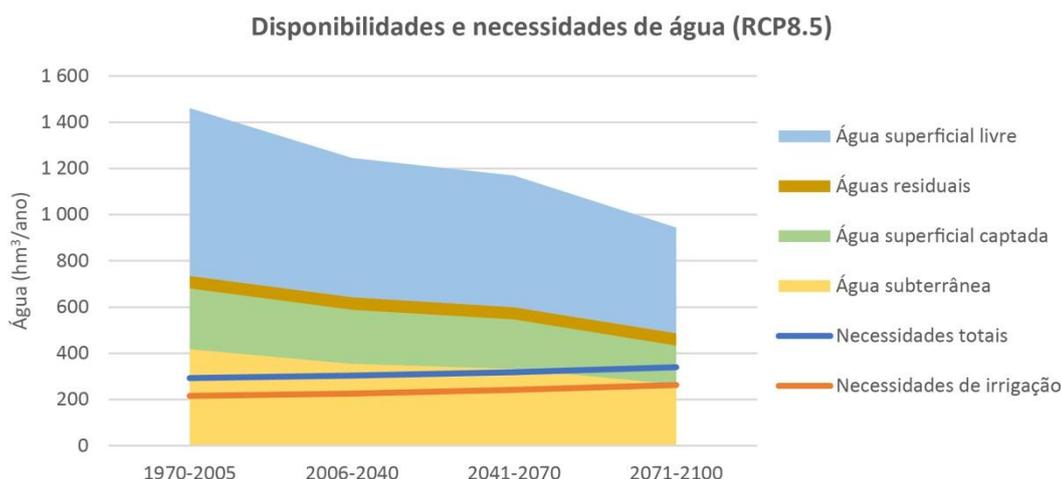
Os resultados dos cálculos de necessidades e disponibilidades de água para toda a área da CI-AMAL são apresentados na Tabela 12. Os valores para a situação atual coincidem em boa medida com os resultados de outras fontes (ver Tabela 1 e Tabela 2 ). A Figura 26 e Figura 27 ilustram os resultados globais da Tabela 12 para os cenários RCP4.5 e RCP8.5, adicionando as águas residuais domésticas potencialmente disponíveis para reutilização em toda a área da CI-AMAL. As figuras ilustram que a maior parte do consumo é para irrigação. Deste consumo, cerca de 10% destina-se à irrigação de campos de golfe, sendo os restantes 90% utilizados para irrigação agrícola. Através da análise da Figura 27 é possível observar que, no cenário RCP8.5 e no final do século, deverá ser necessário utilizar a maior parte da água subterrânea e superficial que é atualmente captada em barragens para satisfazer as necessidades de consumo. É ainda possível observar que o potencial de reutilização de águas residuais é pequeno, quando comparado com as necessidades totais de água na CI-AMAL. Esta situação está de acordo com a predominância de utilização de água para irrigação, que não produz águas residuais.

Parâmetro	Origem da água	Tipo de uso/fonte	Histórico	RCP4.5			RCP8.5		
			1970 - 2005	2006 - 2040	2041 - 2070	2071 - 2100	2006 - 2040	2041 - 2070	2071 - 2100
Necessidades de água (hm <sup>3</sup> /ano)	Superfície	Agricultura	27,6	28,3	30,1	30,7	29,0	30,9	33,7
		Campos de golfe	1,4	1,4	1,5	1,5	1,4	1,5	1,6
		Irrigação total	29,0	29,7	31,6	32,2	30,4	32,4	35,4
		Abastecimento público	68,9	68,9	68,9	68,9	68,9	68,9	68,9
		<b>Total</b>	<b>97,9</b>	<b>98,6</b>	<b>100,5</b>	<b>101,1</b>	<b>99,3</b>	<b>101,3</b>	<b>104,3</b>
	Subterrânea	Agricultura	165,6	169,5	180,6	184,2	173,7	185,2	202,3
		Campos de golfe	21,1	21,7	22,8	23,1	22,1	23,3	25,1
		Irrigação total	186,7	191,2	203,4	207,3	195,8	208,5	227,3
		Abastecimento público	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
		<b>Total</b>	<b>194,6</b>	<b>199,2</b>	<b>211,4</b>	<b>215,3</b>	<b>203,8</b>	<b>216,5</b>	<b>235,3</b>
	Total	Agricultura	193,2	197,7	210,7	214,9	202,6	216,1	236,0
		Campos de golfe	22,4	23,1	24,3	24,6	23,6	24,8	26,7
		Irrigação total	215,6	220,8	235,0	239,5	226,2	240,9	262,7
		Abastecimento público	76,9	76,9	76,9	76,9	76,9	76,9	76,9
		<b>Total</b>	<b>292,5</b>	<b>297,7</b>	<b>311,8</b>	<b>316,4</b>	<b>303,1</b>	<b>317,8</b>	<b>339,6</b>
Água disponível (hm <sup>3</sup> /ano)	Superfície	Captado em barragens	262,5	262,3	250,3	245,6	234,7	214,0	168,7
	Subterrânea	Reserva hídrica total	418,3	392,3	382,5	378,9	354,1	331,6	264,9
	<b>Total</b>	<b>Total</b>	<b>680,8</b>	<b>654,6</b>	<b>632,8</b>	<b>624,5</b>	<b>588,8</b>	<b>545,6</b>	<b>433,6</b>
	Superfície livre	Teoricamente disponível	726,0	664,9	653,7	649,9	602,3	569,7	457,3
	<b>Total</b>	<b>Total</b>	<b>1.406,8</b>	<b>1.319,5</b>	<b>1.286,5</b>	<b>1.274,4</b>	<b>1.191,0</b>	<b>1.115,4</b>	<b>890,8</b>

**Tabela 12** Estimativa de necessidades e disponibilidades atuais e futuras para a área da CI-AMAL



**Figura 26** Resultados agregados de necessidades e disponibilidades de água para a CI-AMAL no cenário RCP4.5



**Figura 27** Resultados agregados de necessidades e disponibilidades de água para a CI-AMAL no cenário RCP8.5

Apesar de tanto a Figura 26 como a Figura 27 ilustrarem uma grande quantidade de água superficial livre teoricamente disponível para satisfazer necessidades de consumo, deve-se notar que esta água pode ser difícil de captar, uma vez que uma grande parte pode estar associada a ribeiros intermitentes de pequena dimensão, ou a rios maiores, mas sem as características topográficas e geológicas apropriadas à construção de uma barragem. Desta forma, a análise do stress hídrico da região deve ter em conta a água superficial já captada por barragens, e a água subterrânea cuja utilização está facilitada pela construção de furos. Para se proceder a esta análise foi utilizado o Índice de Exploração da Água adaptado de Pedro-Monzonís et al. (2015), cujos resultados são apresentados no capítulo seguinte.

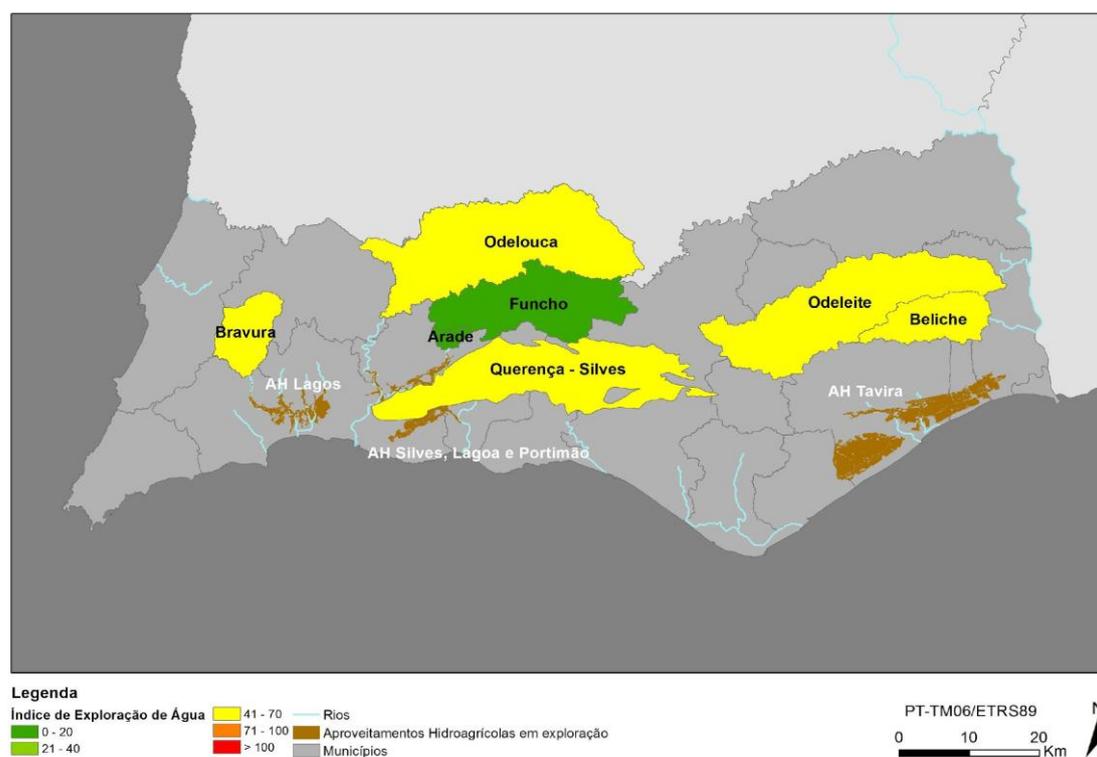
### 4.3 TERRITORIALIZAÇÃO DAS VULNERABILIDADES NOS RECURSOS HÍDRICOS

O Índice de Exploração da Água (Water Exploitation Index) é a 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. Segundo Pedro-Monzonís et al. (2015), uma bacia hidrográfica com um índice de 0% a 20%, não tem stress hídrico, de 21% a 40% tem stress hídrico e mais de 40% tem stress hídrico severo. O aumento do valor do índice ao longo dos períodos de cada cenário até ao final do século, implicou uma adaptação destes intervalos, de modo a apresentar uma escala adequada à análise. Deste modo, a escala aplicada é constituída por 5 classes, conforme Tabela 13.

Intervalo do Índice (%)	Classificação
0-20	Sem stress
21-40	Stress moderado
41-70	Stress severo
71-100	Stress extremo
>100	Escassez

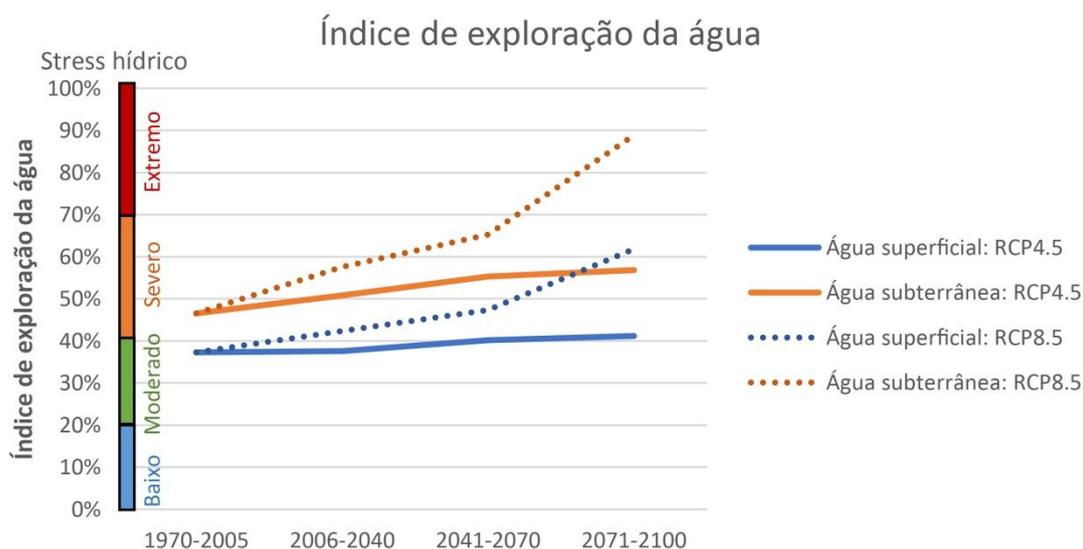
**Tabela 13** Índice aplicado na caracterização do stress hídrico dos sistemas. Adaptado de Pedro-Monzonís et al. 2015

Como se observa na Figura 28, as únicas bacias hidrográficas que não se encontram atualmente em stress hídrico são Funcho-Arade.



**Figura 28** Índice de Exploração da Água em cada um dos sistemas

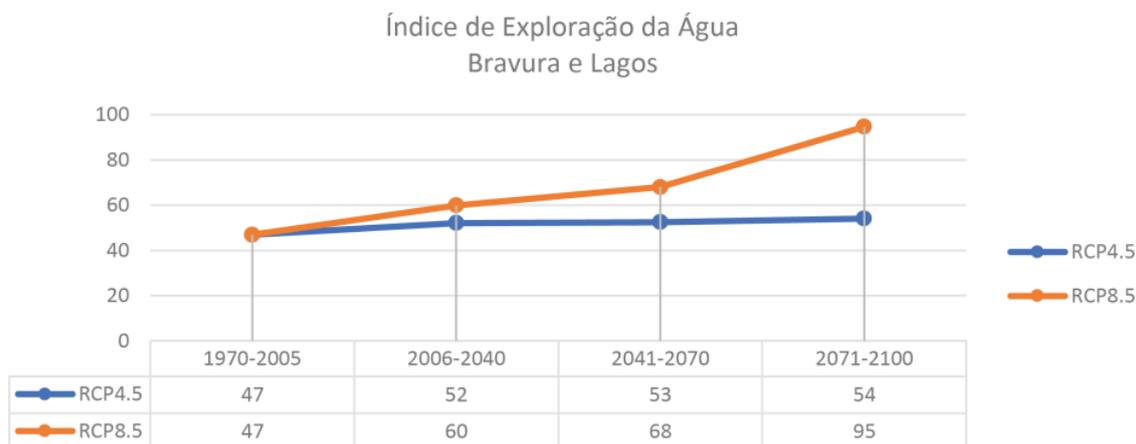
A Figura 29 ilustra a evolução deste índice até ao final do século. Conforme se pode observar, o cenário RCP4.5 preconiza algum agravamento, mas sem alterar a situação atual substancialmente, em que o consumo de água superficial apresenta um stress hídrico moderado e o subterrâneo um stress hídrico severo. Já no cenário RCP8.5, projeta-se uma alteração substancial da situação atual, com o stress hídrico do consumo superficial a passar de moderado a severo, e o do consumo subterrâneo de severo a extremo.



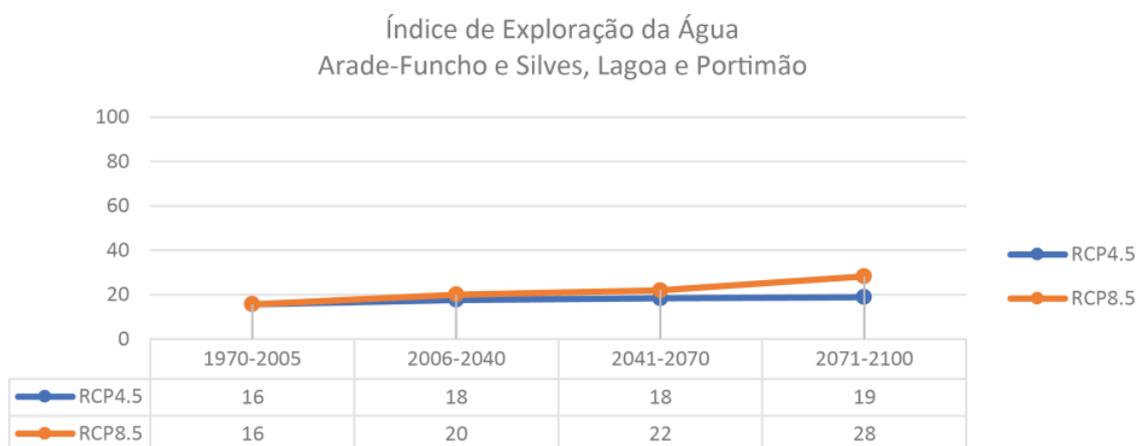
**Figura 29** Índice de Exploração da Água agregado para a área da CI-AMAL nos cenários RCP4.5 e RCP8.5

A Figura 30, Figura 31, Figura 32, Figura 33 e a Figura 34 demonstram a evolução do Índice de Exploração da Água nos respetivos sistemas.

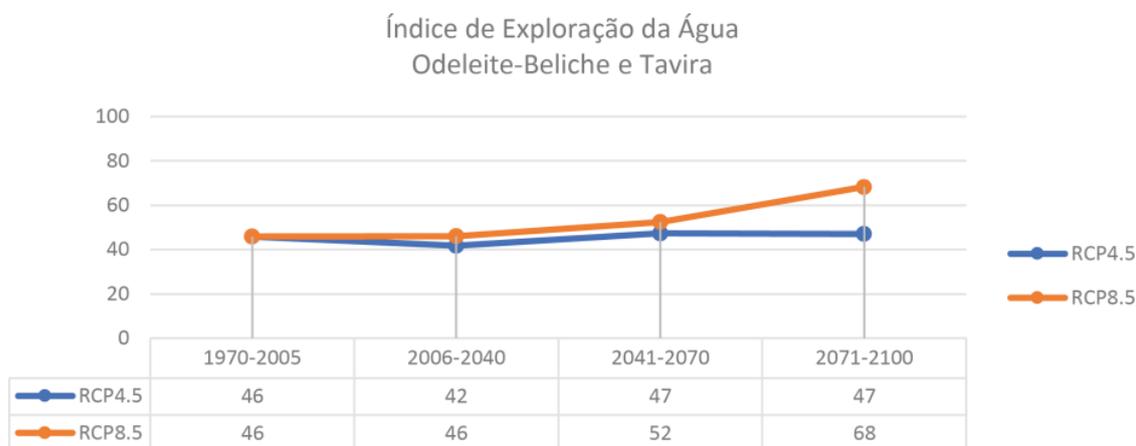
Numa nota geral, o sistema Arade-Funcho e Silves, Lagoa e Portimão é o único sistema que possivelmente se irá manter a longo prazo nas condições razoáveis de stress moderado, fazendo grande contraste com os sistemas de Bravura e Lagos, de Odelouca e o Aquífero de Querença-Silves, que se encontrarão em stress extremo no cenário de RCP 8.5.



**Figura 30** Índice de Exploração da Água no sistema Bravura e Lagos (1970 a 2100)

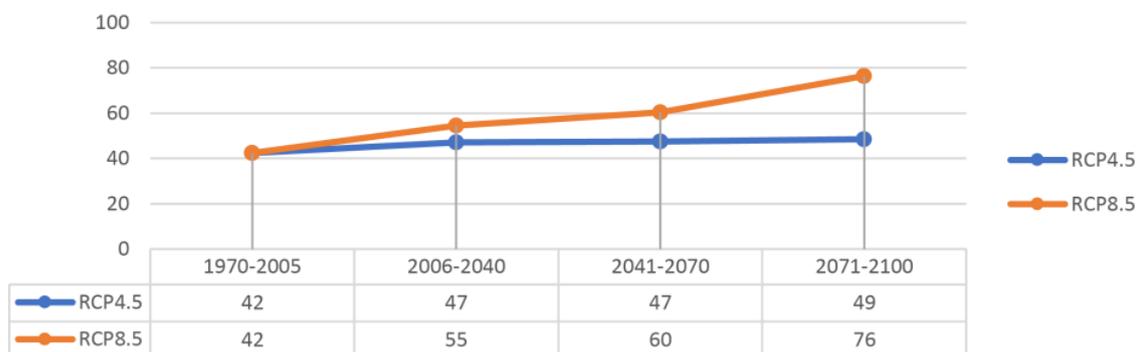


**Figura 31** Índice de Exploração da Água no sistema Arade-Funcho e Silves, Lagoa e Portimão (1970 a 2100)



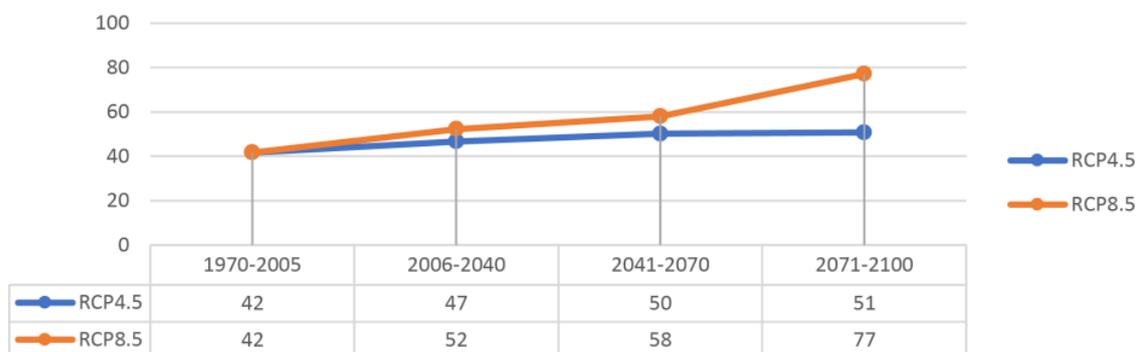
**Figura 32** Índice de Exploração da Água no sistema Odeleite-Beliche e Tavira (1970 a 2100)

### Índice de Exploração da Água Odelouca



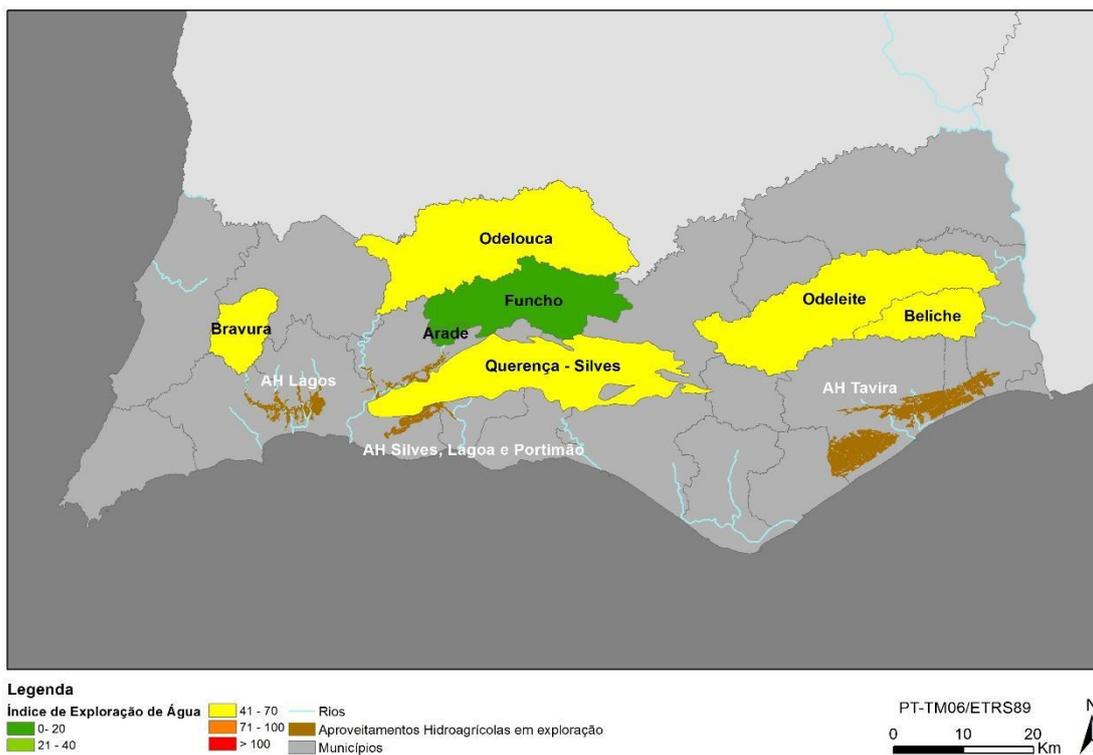
**Figura 33** Índice de Exploração da Água no sistema Odelouca (1970 a 2100)

### Índice de Exploração da Água Aquífero Querença-Silves

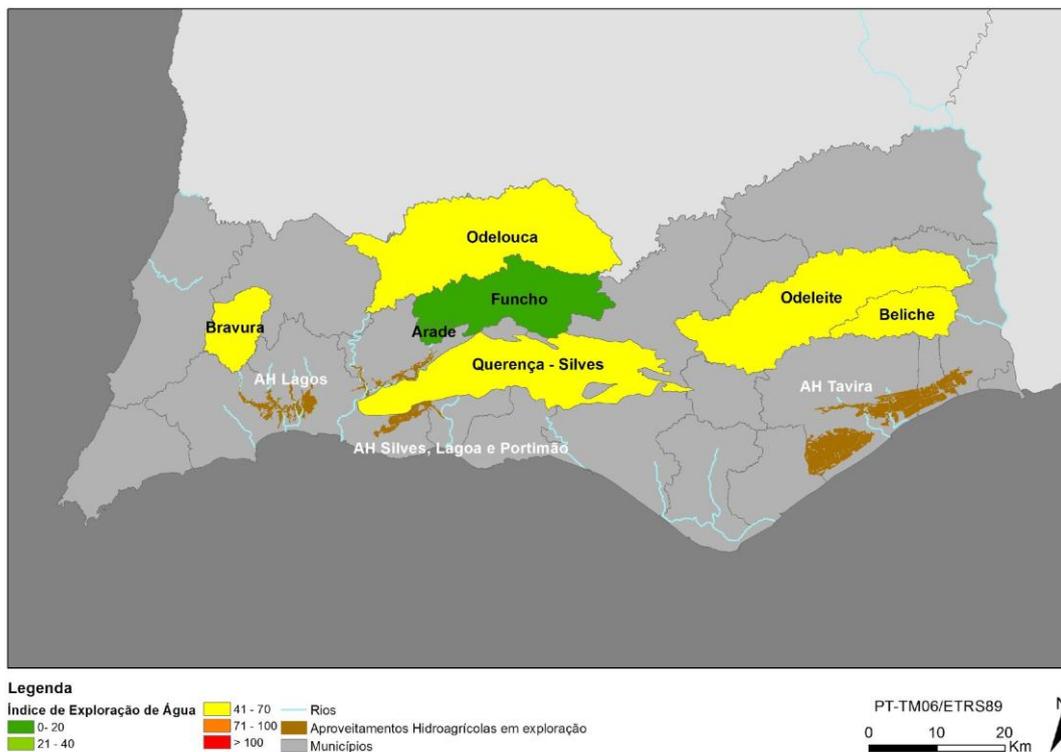


**Figura 34** Índice de Exploração da Água no sistema Aquífero Querença-Silves (1970 a 2100)

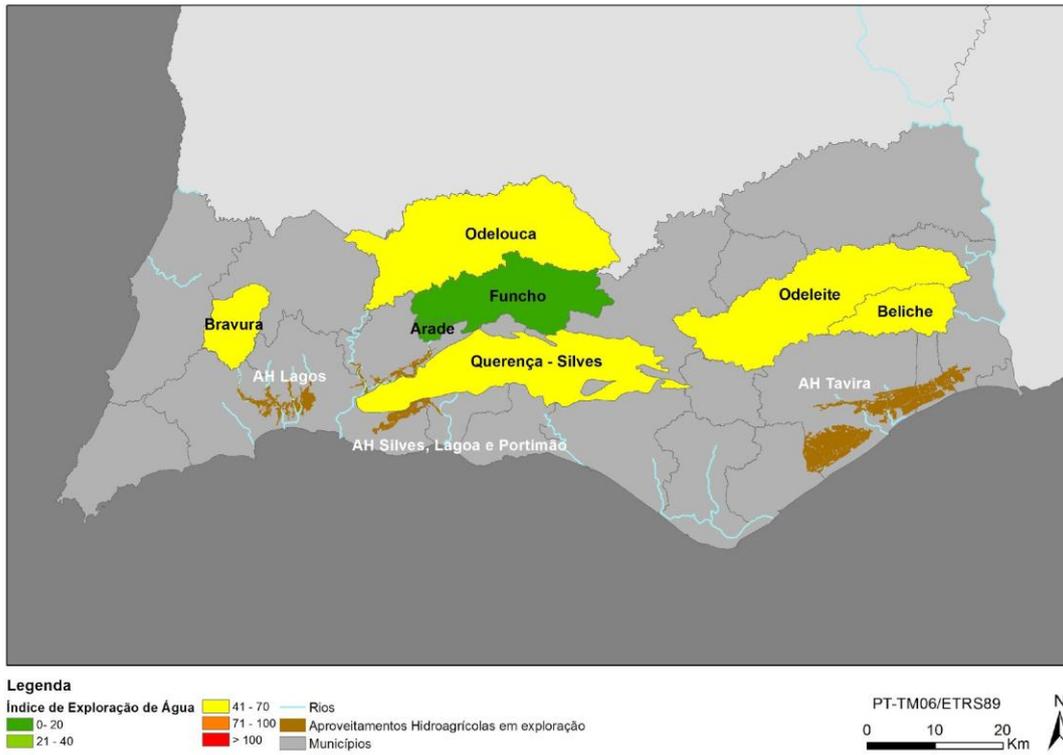
A territorialização das projeções do Índice de Exploração da Água é apresentada na Figura 35, Figura 36, Figura 37, Figura 38, Figura 39 e Figura 40.



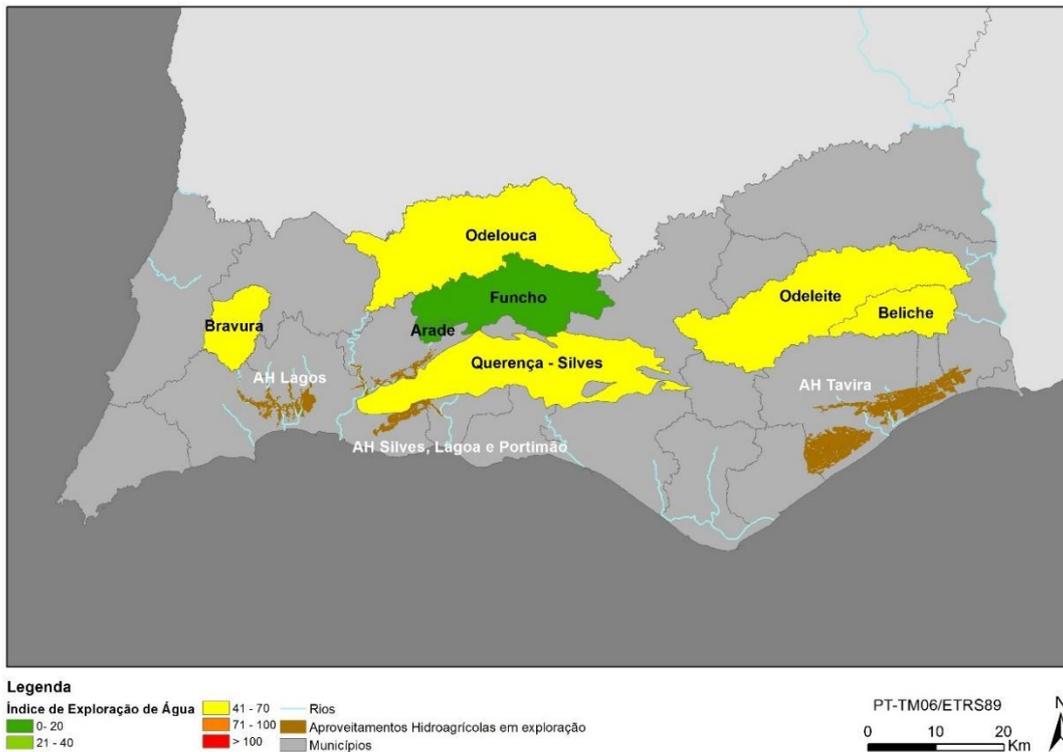
**Figura 35** Índice de Exploração da Água no cenário de RCP4.5 para o período de 2006-2040



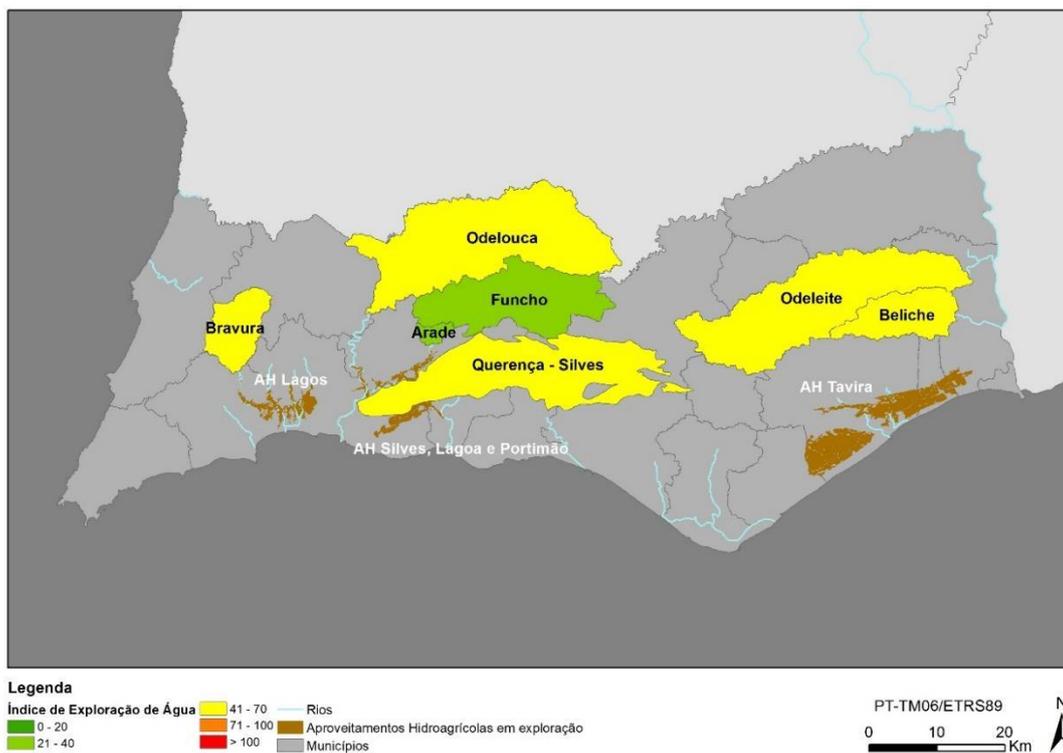
**Figura 36** Índice de Exploração da Água no cenário de RCP4.5 para o período de 2041-2070



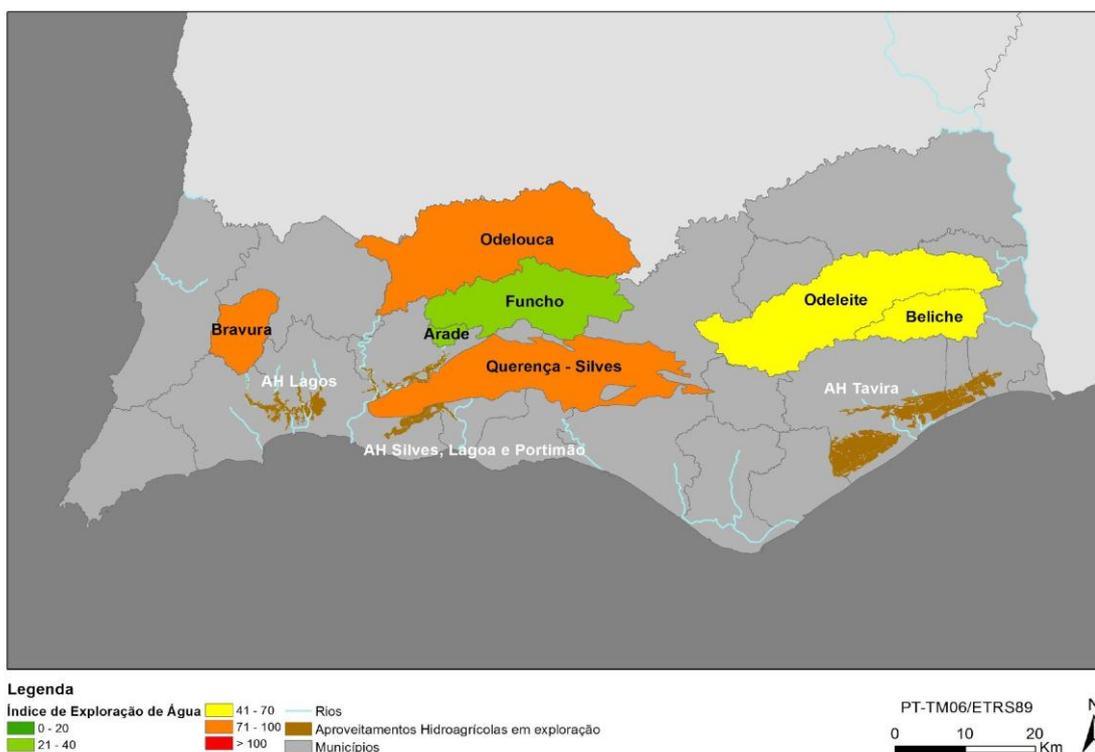
**Figura 37** Índice de Exploração da Água no cenário de RCP4.5 para o período de 2071-2100



**Figura 38** Índice de Exploração da Água no cenário de RCP8.5 para o período de 2006-2040



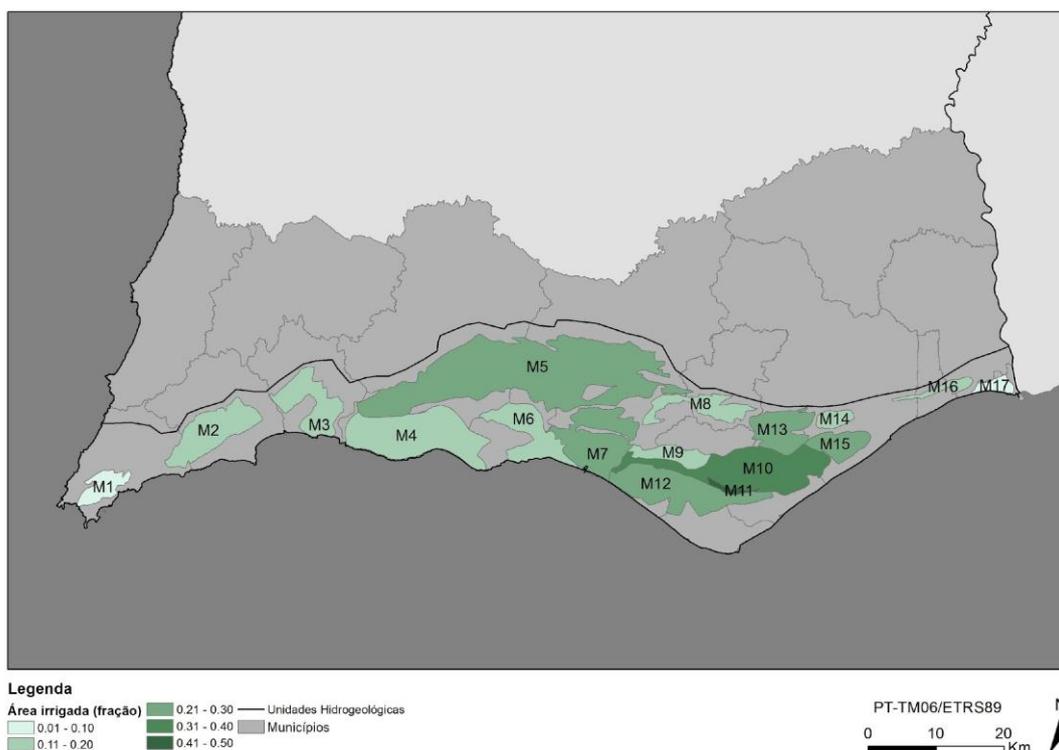
**Figura 39** Índice de Exploração da Água no cenário de RCP8.5 para o período de 2041-2070



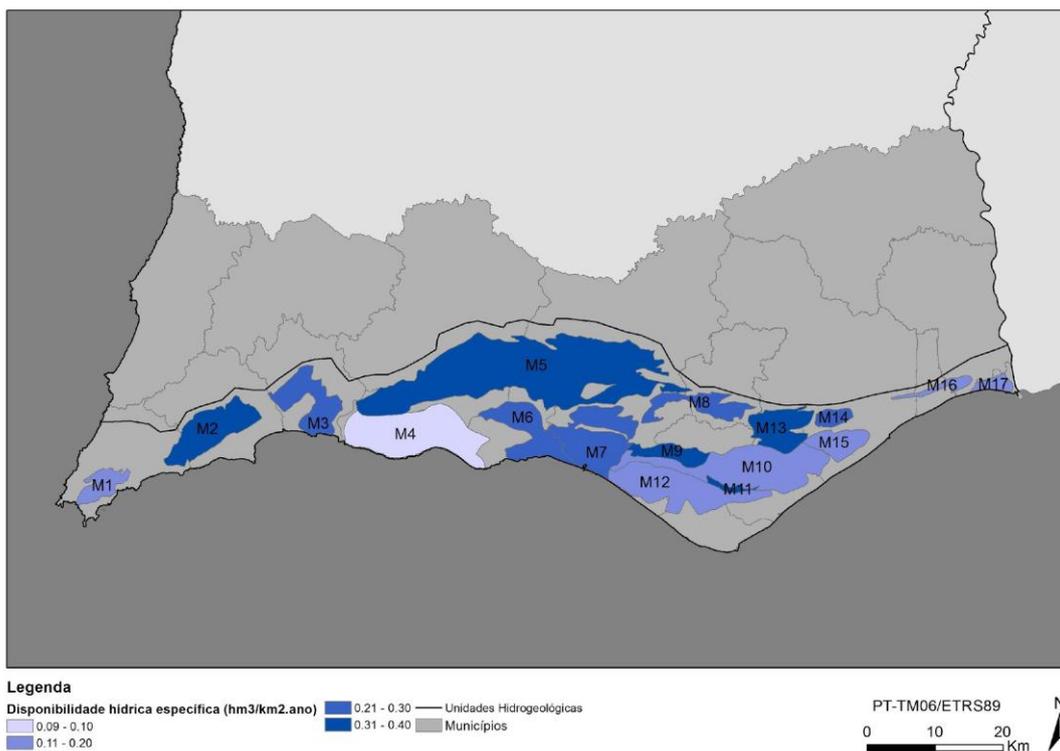
**Figura 40** Índice de Exploração da Água no cenário de RCP8.5 para o período de 2071-2100

Finalmente, a Figura 41 e Figura 42 apresentam as necessidades e disponibilidades de água para cada aquífero da área da CI-AMAL, enquanto a Figura 43 mostra o índice de pressão sobre os recursos hídricos subterrâneos. Pode-se observar que os aquíferos com maior índice de pressão e, portanto, mais vulneráveis a diminuições de recarga futura, são os aquíferos M4 (Ferragudo – Albufeira), devido à sua baixa disponibilidade hídrica; e os aquíferos M10 (S. João da Venda – Quelfes) e M12 (Campina de Faro), devido à combinação entre a elevada ocupação por culturas irrigadas e a disponibilidade hídrica mediana. A parte ocidental do aquífero M12 foi já sinalizada no PGRH8 (APA 2016a) como tendo problemas quantitativos, com extrações acima de 90% da recarga. O aquífero M15 (Luz – Tavira) não possui uma vulnerabilidade tão elevada como os restantes devido à grande parte das necessidades de irrigação serem suprimidas pelas albufeiras de Beliche e Odeleite, através do aproveitamento hidroagrícola do Sotavento. Deve-se notar que os aquíferos M5 (Querença-Silves) e M11 (Chão de Cevada - Quinta de João de Ourém) possuem uma vulnerabilidade mais baixa apesar da presença importante de áreas irrigadas, devido à sua elevada disponibilidade hídrica.

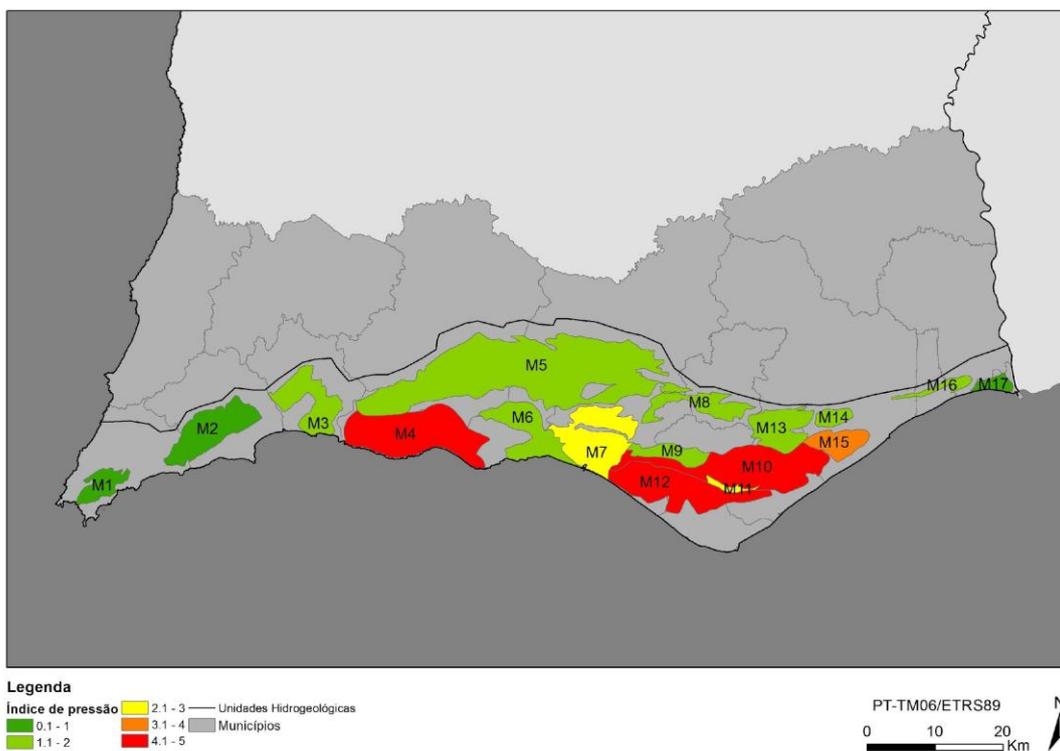
Por último, deve-se acrescentar que estes mapas não refletem a vulnerabilidade adicional dos aquíferos localizados próximo da linha de costa, ou até de secções dos aquíferos mais perto da linha de costa, devido à sua maior suscetibilidade à intrusão salina. Um exemplo é a maior vulnerabilidade da secção ocidental do aquífero M5 devido à sua proximidade com o estuário do Arade (Hugman et al. 2012). Uma análise de vulnerabilidade mais completa necessitará do apoio de modelação hidrogeológica para os aquíferos identificados como mais vulneráveis nesta análise.



**Figura 41** Fração de área irrigada por águas subterrâneas, por aquífero, estimado de acordo com a COS2010



**Figura 42** Disponibilidade hídrica específica por aquífero (hm<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>.ano), segundo o PGRH8 (APA 2016a)



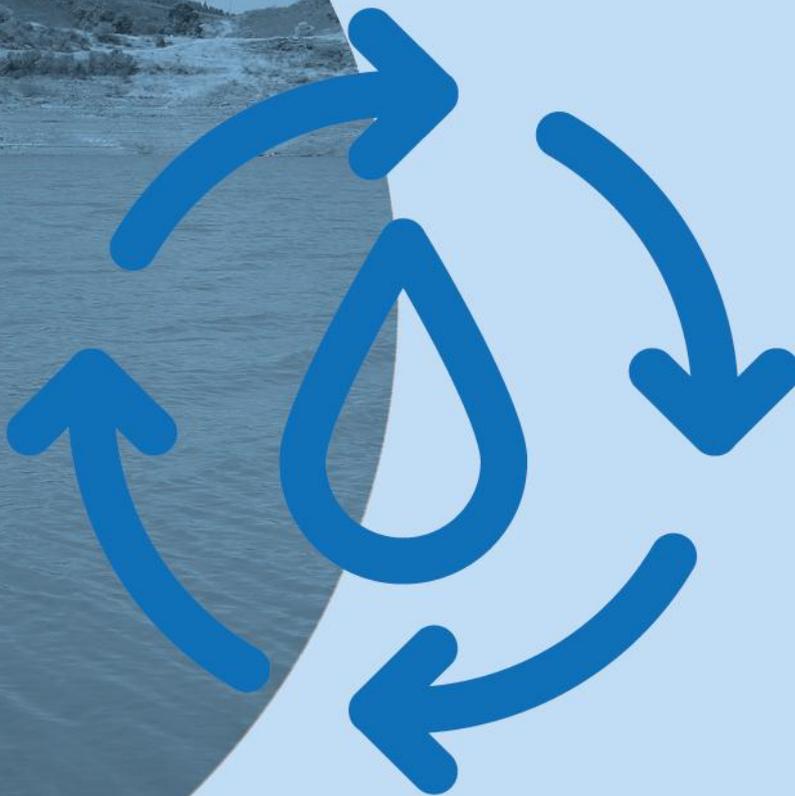
**Figura 43** Índice de pressão sobre os recursos hídricos subterrâneos, por aquífero, calculado de acordo com a Equação 2

**5.**

---

# Considerações Finais

---



Os recursos de água superficiais e subterrâneos estão sujeitos a pressões, especialmente devido à sua exploração para consumos agrícolas, domésticos e/ou industriais. Atendendo aos modelos climáticos, é projetada uma diminuição da precipitação para a região do Algarve, que reduzirá a disponibilidade de água superficial e subterrânea. Também o aumento da frequência e durabilidade das secas pode criar vários desafios na gestão dos recursos hídricos. Simultaneamente, observa-se atualmente indícios de intrusão de água salobra marinha nas águas subterrâneas, problema que pode vir a ser agravado pelas alterações climáticas, devido à combinação entre o aumento do nível médio do mar e a redução da recarga dos aquíferos, associada à diminuição da precipitação e ao aumento da temperatura.

Através de metodologias específicas de modelação, foi possível simular os caudais nas bacias hidrográficas e as necessidades de irrigação, tanto para o período histórico, como no futuro, tendo em conta as alterações climáticas.

No que diz respeito à vulnerabilidade atual, entre 1970 e 2005, todos os sistemas algarvios enfrentaram seca hidrológica em pelo menos 10% dos anos, sendo que os sistemas onde se verificou uma maior percentagem foram Odelouca (36%) e Bravura-Lagos (28%).

Para o futuro, no cenário mais severo e para o final do século XXI, o sistema Bravura-Lagos tem consumos semelhantes à oferta. Isto significa que a oferta pode não ser suficiente para satisfazer as necessidades totais, levando ao colapso do sistema, sendo este o caso mais preocupante. O aquífero de Querença-Silves e os sistemas de Odeleite-Beliche e Tavira e de Odelouca encontram-se numa fase intermédia, no entanto, os impactos prevêem-se substanciais devido à diminuição do escoamento nas bacias hidrográficas e da recarga no aquífero.

Extrapolando os resultados para o total da área do Algarve, espera-se uma diminuição da água disponibilizada para todos os tipos de usos de solo ao longo do século XXI, sendo mais acentuada no cenário mais severo e no final deste século. A diminuição é mais pronunciada nos cobertos de solo naturais (floresta e matos). Da mesma forma, os resultados indicam uma subida das necessidades de irrigação para todas as culturas, sendo essa necessidade mais pronunciada para a irrigação de vegetais e de campos de golfe. Cerca de 10% das necessidades de irrigação destinam-se a campos de golfe e os restantes 90% para irrigação agrícola. Também no cenário mais severo e no final do século, deverá ser necessário utilizar a maior parte da água subterrânea e a superficial atualmente captada em barragens para satisfazer as necessidades de consumo. O potencial de reutilização de águas residuais é pequeno, quando comparado com as necessidades totais de água no Algarve, o que está de acordo com a predominância de utilização de água para irrigação, que não produz águas residuais. Antevê-se que o stress hídrico do consumo superficial passe de moderado a severo, e que o do consumo subterrâneo passe de severo a extremo.

Finalmente, quanto à vulnerabilidade dos aquíferos da área da CI-AMAL, concluiu-se que o índice de pressão é superior no aquífero de Ferragudo – Albufeira (devido à sua baixa disponibilidade hídrica) e nos aquíferos de S. João da Venda – Quelfes e Campina de Faro (ambos devido à combinação entre a elevada ocupação por culturas irrigadas e a disponibilidade hídrica mediana).

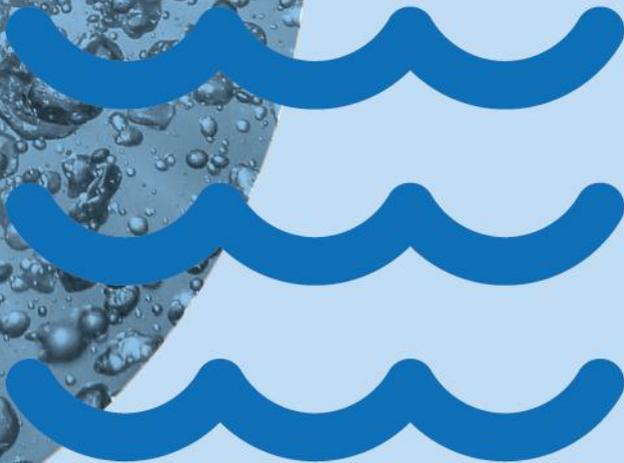
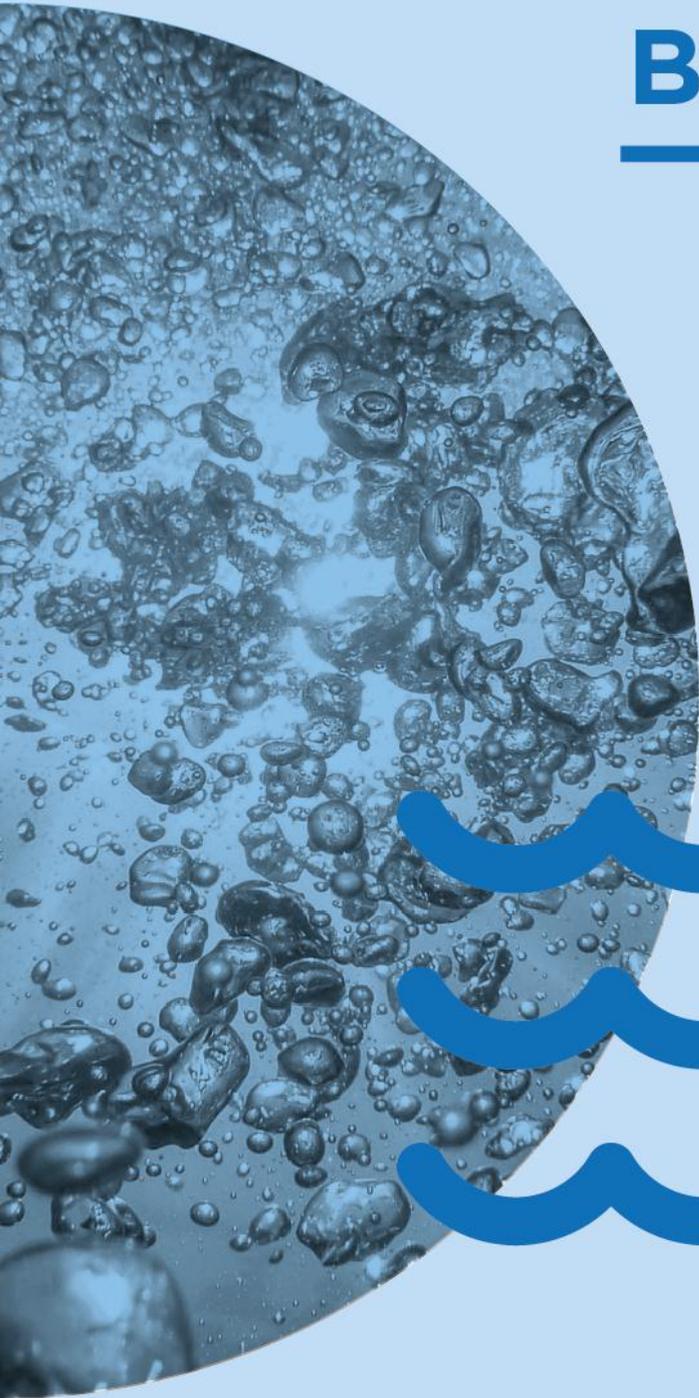
Atendendo aos resultados apresentados e discutidos no presente documento, torna-se evidente a necessidade de adoção de medidas de adaptação às alterações climáticas que permitam reduzir o stress hídrico que já hoje se observa sobre os recursos da área da CI-AMAL, e que será exacerbado pelas alterações climáticas.

**6.**

---

# **Bibliografia**

---



Allen, Richard G, Luis Santos Pereira, Dirk Raes, and Martin Smith. 1998. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56: Crop Evapotranspiration*.

APA. 2016a. *Plano de Gestão de Região Hidrográfica. Região Hidrográfica Das Ribeiras Do Algarve (RH8). Parte 2: Caracterização e Diagnóstico*. Lisboa: Agência Portuguesa do Ambiente (APA).

APA. 2016b. *Plano de Gestão de Região Hidrográfica. Região Hidrográfica Do Guadiana (RH7). Parte 2: Caracterização e Diagnóstico*. Lisboa: Agência Portuguesa do Ambiente (APA).

APA. 2018. “Sistema Nacional de Informação de Ambiente.” <https://sniamb.apambiente.pt/>.

DGT. 2017. “Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP).” [http://www.dgterritorio.pt/dados\\_abertos/caop/](http://www.dgterritorio.pt/dados_abertos/caop/).

DGT. 2018. “Especificações Técnicas Da Carta de Uso e Ocupação Do Solo de Portugal Continental Para 1995, 2007, 2010 e 2015. Relatório Técnico.”

Hugman, Rui, Tibor Y. Stigter, José Paulo Monteiro, and Luís Nunes. 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.

Krause, P, and D P Boyle. 2005. “Advances in Geosciences Comparison of Different Efficiency Criteria for Hydrological Model Assessment.” *Advances In Geosciences* 5(89): 89–97.

LNEC. 2011. *Água, Ecossistemas Aquáticos e Actividade Humana-Projeto PROWATERMAN. Terceiro Relatório Temático- Resultados Quantitativos e Qualitativos*.

Moriasi, D N et al. 2007. “Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations.” *Transactions of the ASABE* 50(3): 885–900.

Motovilov, Yuri G, Lars Gottschalk, Kolbjørn Engeland, and Allan Rodhe. 1999. “Validation of a Distributed Hydrological Model against Spatial Observations.” *Agricultural and Forest Meteorology* 98–99: 257–77.

Paul, Pranesh Kumar et al. 2018. “Implementation of Cell-to-Cell Routing Scheme in a Large Scale Conceptual Hydrological Model.” *Environmental Modelling & Software* 101: 23–33.

Pedro-Monzonís, María et al. 2015. “A Review of Water Scarcity and Drought Indexes in Water Resources Planning and Management.” *Journal of Hydrology* 527: 482–93.

Salvador, Núria et al. 2007. “Contribuição Para a Quantificação Das Relações Rio- Aquífero No Sistema Aquífero Querença-Silves.” *Seminário sobre Águas Subterrâneas, Portugal*: 1–15.

Stigter, T Y et al. 2009. “Screening of Sustainable Groundwater Sources for Integration into a Regional Drought-Prone Water Supply System.” *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 13(7): 1185–99.

Stigter, T Y et al. 2014. “Comparative Assessment of Climate Change and Its Impacts on Three Coastal Aquifers in the Mediterranean.” *Regional Environmental Change* 14(SUPPL.1): 41–56.

7.

---

## Equipa Técnica

---



### **Coordenação Executiva/Científica**

Luís Filipe Dias (CCIAM/cE3c/FCUL)

### **Coordenação Não Executiva**

Filipe Duarte Santos (CCIAM/cE3c/FCUL)

#### CCIAM/cE3c/FCUL:

Ana Lúcia Fonseca (*Stakeholder Engagement*)

André Oliveira (Saúde humana, Segurança de Pessoas e Bens)

Andreia Ferreira (Segurança de Pessoas e Bens)

Bruno Aparício (Biodiversidade, Clima)

Helena Santos (Agricultura, Florestas)

Hugo Costa (Turismo)

Inês Moraes (Recursos Hídricos)

João Pedro Nunes (Recursos Hídricos, Fogos Florestais)

Luís Filipe Dias (Clima, Recursos Hídricos, Segurança de Pessoas e Bens, Ordenamento do Território)

Ricardo Coelho (Energia, Transportes e Comunicações)

Sidney Batista (Clima)

Tomás Calheiros (Fogos Florestais)

#### CIMA/UAlgarve:

Cristina Veiga-Pires (**Coordenação UAlgarve**)

Delminda Moura (Zonas Costeiras)

Erwan Garel (Cunha Salina)

Flávio Martins (Cunha Salina)

Isabel Mendes (Zonas Costeiras)

João Janeiro (Cunha Salina)

Luciano Junior (Cunha Salina)

Rita Carrasco (Zonas Costeiras)

Ruwan Sampath (Zonas Costeiras)

Susana Costas (Zonas Costeiras)

#### Bentley Systems Portugal:

David Brito (Cheias e Inundações)

Frank Braunschweig (**Coordenação Bentley**)

Luís Fernandes (Cheias e Inundações)

