

# UTILIZAÇÃO DE CENÁRIOS DE MUDANÇA PARA A PREVISÃO DA EVOLUÇÃO DAS PRESSÕES E DO ESTADO DAS MASSAS DE ÁGUA SUBTERRÂNEAS E EDAS. Caso de estudo: Melides. Cenários de Alterações Climáticas.

Emília NOVO <sup>(1)</sup>;Luís G. S. OLIVEIRA <sup>(2)</sup>

## RESUMO

Neste artigo faz-se uma projecção da avaliação da evolução das pressões sobre as águas superficiais e subterrâneas da bacia de Melides sob cenários de alterações climáticas para o horizonte temporal de 2100 e cenários de emissões IS92a, SRES A2 e SRES B2. Os valores de recarga e escoamento superficial para estes cenários e consequente variação do volume médio da lagoa de Melides foram depois cruzados com a evolução das pressões qualitativas e quantitativas. A evolução das pressões quantitativas admitiu uma estabilização da população e das actividades económicas a partir do ano 2030, excepto para a agricultura em que se consideraram dois cenários: (1) manutenção da área agrícola e culturas actuais, (2) redução da área agrícola. Para as pressões qualitativas admitiu-se a manutenção das cargas poluentes pecuárias e domésticas aos níveis de 2030; para a agricultura considerou-se a manutenção da carga por unidade de área. Do cruzamento das cargas poluentes futuras com a provável evolução do volume médio na lagoa (que depende do escoamento superficial e das descargas do aquífero), obtiveram-se cenários prováveis de evolução da concentração de poluentes. Admitindo alteração das necessidades hídricas e manutenção da área agrícola, as taxas de exploração poderão variar entre 62 e cerca de 110%.

**Palavras-chave:** alterações climáticas, pressões sobre massas de água, EDAS, relações águas superficiais/subterrâneas, gestão de recursos hídricos

---

<sup>1</sup> Dra. Engenharia do Ambiente, Investigadora auxiliar, LNEC-NRE, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, [enovo@lnec.pt](mailto:enovo@lnec.pt)

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia do Ambiente, Bolseiro de projeto, LNEC-NRE, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, [lgsoliveira@gmail.com](mailto:lgsoliveira@gmail.com)

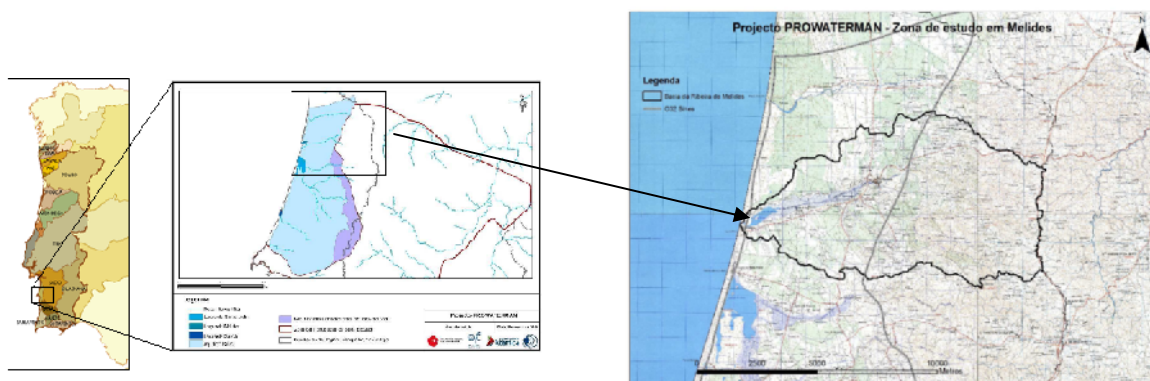
## 1. INTRODUÇÃO

As alterações climáticas são uma das pressões a que estarão sujeitos os recursos hídricos e os ecossistemas, podendo gerar problemas de escassez de recursos e sensíveis alterações no funcionamento e composição de espécies dos ecossistemas dependentes da água superficial ou subterrânea. A competição pelo recurso hídrico entre utilizadores humanos e ecossistemas será assim um fator de stress acrescido sobre as massas de água, em particular nas áreas mediterrânicas, onde se prevê uma redução geral dos recursos hídricos.

No caso dos ecossistemas lagunares dependentes de águas subterrâneas que constituam as zonas de foz de uma rede hidrográfica, tal significa que esse ecossistema lagunar será afectado por todas e quaisquer alterações que ocorram na área da bacia hidrográfica e no caso destas massas de água se situarem na zona litoral, sofrerão ainda os impactos das alterações do nível do mar e dinâmica costeira, geradas pelas alterações climáticas. Para analisar o modo como as alterações climáticas podem afectar este tipo de ecossistemas, foi criada uma metodologia para a sua avaliação, a qual foi aplicada à lagoa de Melides, sendo esta e seus resultados aqui apresentados.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

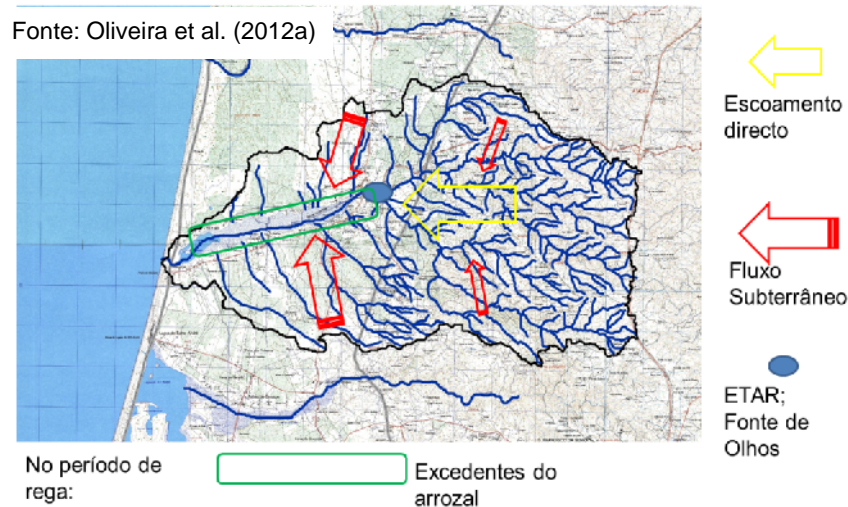
A lagoa de Melides, situada no litoral alentejano (Figura 1), é um ecossistema lagunar costeiro parcialmente dependente de águas subterrâneas (Lobo Ferreira et al., 2013), sendo ao mesmo tempo o meio receptor de toda a carga poluente de origem superficial colectada colectada pela rede de drenagem da ribeira de Melides, dado constituir a zona vestibular desta pequena bacia hidrográfica (60,84 km<sup>2</sup>), assim como da carga poluente de origem subterrânea gerada na bacia e que acaba por atingir a rede hidrográfica. Esta bacia está dividida num sector de cabeceira, desenvolvido nas formações pouco permeáveis de xistos e grauvaques paleozóicos de baixa permeabilidade, e num sector de jusante, que inclina suavemente em direcção ao mar e inclui sobretudo formações arenosas terciárias e quaternárias sobrejacentes às unidades carbonatadas jurássicas do sistema aquífero de Sines, tendo em consequência uma densidade de drenagem moderada a baixa. Os dois sectores estão separados pela Falha de Santo André.



**Figura 1.** Localização da área de estudo

No sector de cabeceira dominam os matos e florestas, dando-se a ocupação agrícola e urbana sobretudo no sector jusante da bacia, onde se situa a lagoa de Melides. A actividade pecuária tem uma distribuição um pouco mais homogénea, ocorrendo unidades tanto na zona de cabeceira (embora na zona mais de jusante) como na zona de jusante (Novo e Oliveira, 2013a). O escoamento superficial predomina no sector de cabeceira, reduzindo-se

no sector de jusante a algumas linhas de água que transportam essencialmente o escoamento gerado no sector de cabeceira, dado que no de jusante predomina a recarga. A conexão entre a rede de drenagem e o aquífero profundo carbonatado faz-se apenas pela zona de descarga da Fonte dos Olhos, sendo o aquífero superficial aquele que se encontra em conexão directa com estas massas de água tendo um carácter essencialmente influente sobre a rede hidrográfica (Monteiro et al., 2006). O balanço hídrico realizado por Oliveira et al. (2011) estima em cerca de 26,5% o volume que entra no meio hídrico superficial a partir do meio subterrâneo. As diferentes origens da água que alimentam a lagoa de Melides apresentam-se na Figura 3 e os respectivos valores – da ordem de 19 a 20 hm<sup>3</sup>/ano – no Quadro 1.



**Figura 3.** Origens da água que alimentam a Lagoa e sua importância relativa

**Quadro 1.** Volumes de água de diferentes origens que alimentam a lagoa de Melides

	Escoamento (m <sup>3</sup> /ano)		Contribuição subterrânea (m <sup>3</sup> /ano) *		ETAR (m <sup>3</sup> /ano)	Total (hm <sup>3</sup> /ano)
	Zona de areias	Zona de xistos	Recarga Zona de areias	Vol. méd. cedido		
Volume	2 594 876	11 225 082	5 269 858	4 998 456	40 956	19 – 20
%	12,9 – 13,8	56,1 – 59,5	27,5	26,5	0,2	100

\* Para o cálculo do volume total de água cedido à lagoa considera-se apenas um dos valores de contribuição subterrânea, sendo os intervalos de contribuição percentual do escoamento resultantes da adopção do valor máximo ou mínimo da contribuição subterrânea no cálculo do volume total.

Adaptado de Oliveira et al. (2012a)

### 3. METODOLOGIA DESENVOLVIDA

Para prever a evolução das pressões sobre o meio hídrico em cenários de alterações climáticas faz-se primeiramente a projecção da evolução do escoamento superficial e recarga, ou seja calculam-se os balanços hídricos para as novas condições climáticas. Uma vez obtidos estes valores fazem-se projecções sobre a evolução das cargas poluentes e dos consumos e consequentes taxas de exploração para os novos recursos hídricos disponíveis nos horizontes temporais dos cenários de alterações climáticas, sendo estes resultados a expressão das novas pressões estimadas.

Os cenários climáticos utilizados para a área de estudo foram os do estudo SIAM (Santos e Miranda, 2006), a partir dos quais se construíram as séries de precipitação e temperatura de acordo com a metodologia explanada em Oliveira et al. (2012b), para poderem ser usados

como dados de entrada no modelo de balanço hídrico sequencial diário BALSEQ\_MOD (Oliveira, 2004).

Para a avaliação da variação das pressões quantitativas e sendo os consumos abastecidos por água da ribeira, para o caso dos arrozais, e por água subterrânea para a generalidade dos outros consumos, calcularam-se as taxas de exploração para os recursos hídricos superficiais (arrozais) e para os subterrâneos (todos os demais consumos). Dada a grande incerteza na evolução dos consumos, que depende da variação demográfica, áreas agrícolas, culturas e calendários de cultivo adoptadas como estratégias de adaptação às alterações climáticas, alteração das necessidades hídricas de plantas, animais e seres humanos, decidiu-se considerar dois cenários base:

- ❖ **Manutenção das necessidades hídricas de animais, pessoas e plantas** – que basicamente reflectirá alterações demográficas e produtivas que contrabalançam as expectáveis alterações dos consumos por parte de pessoas, animais e plantas. Consideram-se duas situações:
  - Manutenção das áreas agrícolas – os consumos agrícolas, pecuários e domésticos são considerados constantes entre 2030 e 2100, sendo os valores de 2030 calculados a partir das projecções dos cenários sócio-económicos de Lourenço et al. (2012) segundo a metodologia descrita em Novo et al. (2013a). Este cenário representa o limiar minorante da variação de consumos até 2100.
  - Alteração das áreas agrícolas – os cenários de variação da área agrícola são os definidos por Rounsevell et al. (2006) e as dotações de rega são similares às actuais; os consumos pecuários e domésticos são os projectados para 2030 pelos cenários sócio-económicos acima citados.
- ❖ **Alteração das necessidades hídricas de animais, pessoas e plantas** – este cenário pretende retratar as alterações expectáveis nos consumos de plantas, pessoas e animais devido às alterações da temperatura, humidade atmosférica e concentrações em CO<sub>2</sub> atmosférico associadas às alterações climáticas. A base de partida de variação dos consumos são as projecções dos consumos em 2030, obtidas em função dos cenários sócio-económicos de Lourenço et al. (2012). No caso da agricultura consideram-se ainda dois sub-cenários: (1) Manutenção da área agrícola e culturas actuais, (2) redução da área agrícola (o que pode também reflectir a aposta dos agricultores em culturas mais eficientes em termos de necessidades hídricas). Consideram-se as seguintes situações:
  - Alteração da área agrícola – o consumo dos arrozais é calculado com base nas variações de consumos em arrozais obtidas por Silva et al. (2007) para os cenários A2 e B2, pelo que não se realizam cálculos para o cenário IS92a e as taxas de exploração são calculadas apenas para as águas superficiais dado que esta cultura faz regadio a partir da ribeira de Melides; os consumos das restantes culturas são calculados pela metodologia de Diaz et al. (2007) que foi desenvolvida para a área do Guadalquivir, após transformação para as condições climáticas da área de estudo, e as taxas de exploração são calculadas apenas para as águas subterrâneas que são a origem da água de rega da restante agricultura da região.
  - Pecuária – na ausência de estudos dos consumos animais no sul de Portugal em cenários de alterações climáticas, adoptaram-se os resultados de estudos desenvolvidos doutras regiões do globo com climas mediterrânicos. As respostas fisiológicas dos animais variam em função do tipo de animal, raça, forma de estabulamento, qualidade dos pastos e até da acessibilidade mais ou menos facilitada à água, tendo-se adoptado os seguintes métodos: (1)

*Bovinos* – aplicaram-se os métodos e valores de Masike e Ulrich (2009) e Howden e Turnpenny (1988) para climas semi-áridos africanos; (2) *Suínos* – adotou-se a metodologia de Schiavon e Emmans (2000; in Patience, 2012); (3) *Ovinos* – na ausência de informação suficiente para o cálculo da variação dos consumos de ovinos em cenários de alterações climáticas, sendo a capitação de suínos e ovinos muito similar nas condições actuais e tendo os ovinos moderadas necessidades de água, optou-se por aplicar a metodologia dos suínos.

- o Consumos domésticos – aplicou-se a metodologia de Walid (2009) que calcula a variação dos consumos domésticos em ambientes semi-áridos perante subidas de temperatura de 1°C a 5°C, intervalo em que se situam as projecções de aumento de temperatura nos cenários de alterações climáticas adoptados para a área de estudo.

Para a avaliação da variação das pressões qualitativas, e dadas as grandes incertezas relativas à sua evolução, consideraram-se os seguintes cenários base:

- ❖ **Manutenção das cargas poluentes agrícolas, domésticas e pecuárias** – admite-se que as cargas poluentes de origem doméstica, pecuária e agrícola se manterão em 2100 similares às previstas para 2030 pela metodologia desenvolvida por Novo et al. (2013b) a partir dos cenários sócio-económicos de Lourenço et al. (2012); no caso das cargas poluentes agrícolas, este cenário reflecte uma manutenção das áreas agrícolas e das cargas poluentes por unidade de área em patamares similares aos actuais. Este cenário representa uma condição minorante da variação das cargas poluentes.
- ❖ **Alteração das cargas agrícolas** – considera-se que as cargas poluentes por tipo de cultura e unidade de área agrícola se mantêm aos níveis projectados para 2030, mas que a área total ocupada pela agricultura sofre uma evolução – no caso de redução – em conformidade com os cenários de Rounsevell et al. (2006), os quais sugerem para esta região uma redução da área agrícola de 47% para o cenário A2 e de 36% para o cenário B2; o cenário IS92a, que regista um maior aumento de temperatura mas uma menor redução da precipitação, foi equiparado ao cenário B2 e em consequência a redução de área agrícola adoptada foi de 54%.

O reflexo da evolução das pressões sobre a lagoa tem de considerar ainda a evolução futura do seu volume de água, os processos de remoção de poluentes e a proporção e carga poluente gerada, determinada pelos cenários acima, que atinge a lagoa. Dada a redução de recarga de 60%, 46% e 26% nos cenários A2, B2 e IS92a respectivamente (Oliveira et al., 2012b) foi admitido para o cenário IS92a uma redução de cerca 20% da carga poluente subterrânea que atinge a lagoa e uma carga poluente subterrânea nula no caso dos cenários A2 e B2. Os cenários adoptados de variação do volume da lagoa são:

- **Volume da lagoa igual ao actual para os três cenários climáticos considerados** – ocorrerá apenas se houver alimentação artificial da lagoa (ex.: injeção a partir de águas do oceano e/ou aquífero) que compense as perdas por evaporação e por redução dos aportes superficiais e subterrâneos.
- **Volume da lagoa varia mas mantém a proporção de água descarregada para o oceano similar à actual** – cenário que pretende retratar a situação pouco provável, e que representaria uma situação em que a dinâmica costeira se manteria em equilíbrio dinâmico com a lagoa.
- **Volume da lagoa varia somente em função das variações do escoamento superficial e recarga** – nestas condições não se manterá nem o volume actual nem a actual proporção de água descarregada para o oceano.

Os cenários de remoção de poluentes são por seu turno os seguintes:

- **Cenário 0% de remoção** – esta situação ocorre quando a lagoa não sofre abertura ao oceano.
- **Cenário 5% de remoção** – esta situação ocorrerá em se a lagoa sofrer uma redução acentuada do seu volume e o mar não galgar o cordão litoral com frequência.
- **Cenário 50% de remoção** – corresponderia a uma situação de abertura intermédia entre as condições actuais e a situação de isolamento progressivo da lagoa face ao oceano dos cenários anteriores.
- **Cenário 95% de remoção** – situação admissivelmente similar à actual (em que são perdidos ao longo do ano cerca de 92% do total de água que esta recebe) ou seja, de alguma forma manter-se-ia o volume de descarga da lagoa.

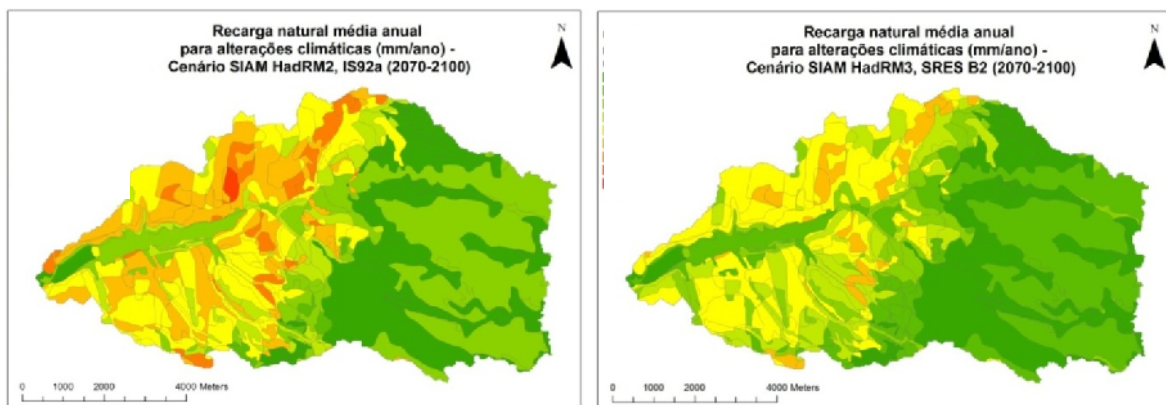
#### 4. RESULTADOS

As recargas e escoamento superficiais em cenários de alterações climáticas foram calculados por Oliveira et al. (2012b) para os cenários HadRM2/IS92a, HaRM3/SRES A2 e HaRM3/SRES B2, considerando as condições que estes prevêem para a área de estudo. Os resultados obtidos por estes autores são resumidos no Quadro 2 e Figura 4. A variação dos volumes da lagoa para os cenários climáticos considerados é a que se apresenta no Quadro 3.

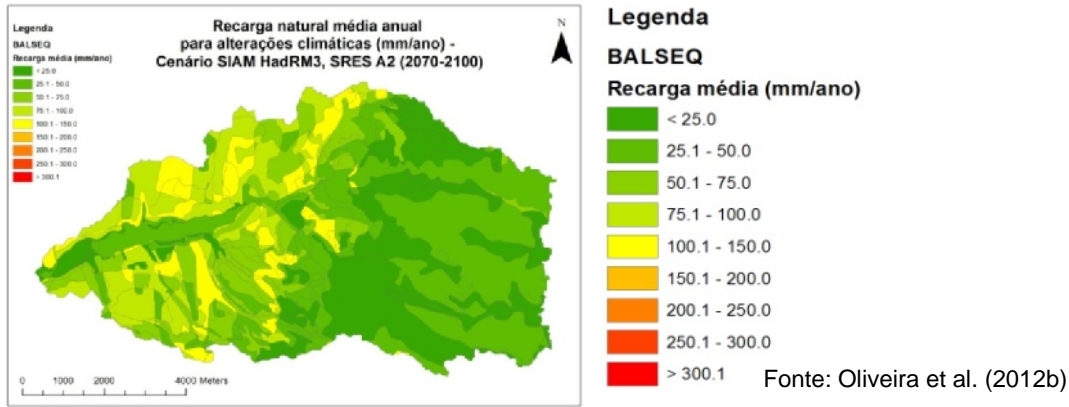
**Quadro 2.** Volumes de recarga e de escoamento directo na bacia de Melides

Cenário emissões/ modelo climático	Escoamento (mm/ano)	Recarga (mm/ano)	Redução face actual		Volume médio (hm <sup>3</sup> /ano)		Recarga
			Escoamento	Recarga	Escoamento		
					Xistos	Areias	
<i>Condições actuais</i>	199	119	0%	0%	11,226	2,595	5,270
HadRM2/IS92a	179	88	10,2%	26,3%	10,098	2,327	3,884
HadRM3/SRES A2	114	47	42,5%	60,1%	6,431	1,492	2,103
HadRM3/SRES B2	142	64	28,5%	46,4%	8,011	1,850	2,825

Adaptado de Novo et al. (2013c)







**Figura 4.** Recarga natural média anual, a) cenário HadRM2/IS92a; b) cenário HadRM3/SRES A2; c) cenário HadRM3/SRES B2

**Quadro 3.** Variação dos volumes da lagoa para diferentes cenários de evolução

Cenário emissões/ modelo climático	Vol. médio da lagoa (hm <sup>3</sup> )		
	Vol. igual actual	Descarga para o oceano igual à actual	Volume e descarga variáveis
<i>Condições actuais</i>	1,5	1,5	1,5
HadRM2/IS92a	1,5	1,23	1,35
HadRM3/SRES A2	1,5	0,64	0,86
HadRM3/SRES B2	1,5	0,80	1,07

Adaptado de Novo et al. (2013c)

A evolução dos consumos e taxas de exploração dos recursos hídricos em cenários de alterações climáticas para condições de manutenção das necessidades hídricas/consumos ao nível dos projectados para 2027 segundo cenários sócio-económicos (área agrícola mantêm-se igual à projectada para 2027) é a apresentada no Quadro 4. O período de regadio é admitido como sendo similar ao actual.

**Quadro 4.** Variação dos consumos para diferentes cenários de alterações climáticas considerando consumos e necessidades hídricas similares às actuais

Data	Modelo climático e cenário emissões	Volumen de consumos (m <sup>3</sup> /ano)				Recarga (m <sup>3</sup> /ano)	Taxas de exploração (%)
		Doméstico	Arrozais	Restante agricultura	Pecuária		
Actual		525 288	640 000	1 521 414	1 568	5 269 858	38,87
Ano 2027		564 947	585 845	1 424 951	1 568	5 269 858	37,79
2100	HadRM2/IS92a	564 947	585 845	1 424 951	1 568	3 884 381	51,27
	HadRM3/SRES A2	564 947	585 845	1 424 951	1 568	2 103 058	94,69
	HadRM3/SRES B2	564 947	585 845	1 424 951	1 568	2 825 267	70,49
Data	Modelo climático e cenário emissões	Taxas de consumo por atividade económica (%)				Escoamento superficial (m <sup>3</sup> )	
		Doméstico	Arrozais*	Restante agricultura	Pecuária		
Actual		9,97	23,18	28,87	0,03	2 761 310	
Ano 2027		10,72	21,22	27,04	0,03	2 761 310	
2100	HadRM2/IS92a	14,54	25,17	36,68	0,04	2 327 715	
	HadRM3/SRES A2	26,86	39,26	67,76	0,07	1 492 125	
	HadRM3/SRES B2	20,00	31,66	50,44	0,06	1 850 235	

\*taxas calculadas em função do escoamento superficial e avaliadas apenas à época de regas

Fonte: Novo et al. (2013c)

Para a situação em que ocorre a manutenção das necessidades hídricas mas havendo redução da área agrícola por efeito das alterações climáticas, a evolução dos consumos e taxas de exploração é apresentada no Quadro 5.

**Quadro 5.** Variação dos consumos considerando necessidades hídricas similares às actuais e redução da área agrícola em função das alterações climáticas

Data	Modelo climático e cenário emissões	Volumes de consumos (m <sup>3</sup> /ano)				Recarga (m <sup>3</sup> /ano)	Taxas de exploração (%)
		Doméstico	Arrozais	Restante agricultura	Pecuária		
	Actual	525 288	640 000	1 521 414	1 568,1	5 269 858	38,87
	Ano 2027	564 947	585 845	1 424 951	1 568,1	5 269 858	37,79
2100	HadRM2/IS92a	564 947	269 489	655 478	1 568	3 884 381	31,46
	HadRM3/SRES A2	564 947	310 499	755 224	1 568	2 103 058	62,85
	HadRM3/SRES B2	564 947	433 525	1 054 464	1 568	2 825 267	57,37
Data	Modelo climático e cenário emissões	Taxas de consumo por atividade económica (%)					Escoamento superficial (m <sup>3</sup> )
		Doméstico	Arrozais*	Restante agricultura	Pecuária		
	Actual	9,97	23,18	28,87	0,03	2 761 310	
	Ano 2027	10,72	21,22	27,04	0,03	2 761 310	
2100	HadRM2/IS92a	14,54	11,58	16,87	0,04	1 593 682	
	HadRM3/SRES A2	26,86	20,81	35,91	0,07	1 174 555	
	HadRM3/SRES B2	20,00	23,43	37,32	0,06	1 820 780	

\*taxas calculadas em função do escoamento superficial e avaliadas apenas à época de regas

Fonte: Novo et al. (2013c)

No caso em que se considerou a alteração das necessidades hídricas, com a manutenção da área agrícola, a evolução dos consumos e taxas de exploração dos recursos hídricos é a que se apresenta no Quadro 6.

**Quadro 6.** Variação dos consumos considerando a alteração das necessidades hídricas em função das alterações climáticas e manutenção das áreas agrícolas (valores de 2027)

Data	Modelo climático e cenário emissões	Volumes de consumos (m <sup>3</sup> /ano)				Recarga (m <sup>3</sup> /ano)	Taxas de exploração (%)
		Doméstico	Arrozais	Restante agricultura	Pecuária		
	Actual	525 288	640 000	1 521 414	1 568,1	5 269 858	38,87
	Ano 2027	564 947	585 845	1 424 951	1 568,1	5 269 858	37,79
2100	HadRM2/IS92a	723 132	--	1 709 941	2 336	3 884 381	62,70
	HadRM3/SRES A2	658 163	679 580	1 652 943	1 991	2 103 058	109,99
	HadRM3/SRES B2	632 740	662 005	1 610 195	1 917	2 825 267	79,46
Data	Modelo climático e cenário emissões	Taxas de consumo por atividade económica (%)					Escoamento superficial (m <sup>3</sup> )
		Doméstico	Arrozais*	Restante agricultura	Pecuária		
	Actual	9,97	23,18	28,87	0,03	2 761 310	
	Ano 2027	10,72	21,22	27,04	0,03	2 761 310	
2100	HadRM2/IS92a	18,62	--	44,02	0,06	2 327 715	
	HadRM3/SRES A2	31,30	45,54	78,60	0,09	1 492 125	
	HadRM3/SRES B2	22,40	35,78	56,99	0,07	1 850 235	

\*taxas calculadas em função do escoamento superficial e avaliadas apenas à época de regas

Fonte: Novo et al. (2013c)

No caso em que se considerou a alteração das necessidades hídricas e a alteração das áreas agrícolas por efeito das alterações climáticas, a evolução é a que se apresenta no Quadro 7.

**Quadro 7.** Variação dos consumos considerando a alteração das necessidades hídricas e das áreas agrícolas em função das alterações climáticas



Data	Modelo climático e cenário emissões	Volumes de consumos (m <sup>3</sup> /ano)				Recarga (m <sup>3</sup> /ano)	Taxas de exploração (%)
		Doméstico	Arrozais	Restante agricultura	Pecuária		
Actual		525 288	640 000	1 521 414	1 568,1	5 269 858	38,87
Ano 2027		564 947	585 845	1 424 951	1 568,1	5 269 858	37,79
2100	HadRM2/IS92a	723 132	--	786 573	2 336	3 884 381	38,93
	HadRM3/SRES A2	658 163	679 580	876 060	1 991	2 103 058	73,05
	HadRM3/SRES B2	632 740	662 005	1 191 544	1 917	2 825 267	64,64
Data	Modelo climático e cenário emissões	Taxas de consumo por atividade económica (%)					Escoamento superficial (m <sup>3</sup> )
		Doméstico	Arrozais *	Restante agricultura	Pecuária		
Actual		9,97	23,18	28,87	0,03	2 761 310	
Ano 2027		10,72	21,22	27,04	0,03	2 761 310	
2100	HadRM2/IS92a	18,62	--	20,25	0,06	2 327 715	
	HadRM3/SRES A2	31,30	45,54	41,46	0,09	1 492 125	
	HadRM3/SRES B2	22,40	35,78	42,17	0,07	1 850 235	

\*taxas calculadas em função do escoamento superficial e avaliadas apenas à época de regas

Fonte: Novo et al. (2013c)

A análise da variação dos consumos em função das necessidades hídricas em cenários de alterações climáticas, para situação de manutenção da área agrícola de 2027 é apresentada no Quadro 8, mostra um aumento para todos os cenários climáticos, especialmente marcado para os consumos domésticos de bovinos. Os consumos mostram-se mais elevados para o cenário climático que prevê a maior subida da temperatura média anual, mas que é ao mesmo tempo o que terá menor redução da precipitação, o que pode de algum modo minorar as potenciais situações de défice hídrico (cf. taxas de exploração nos Quadros 4 a 8). Note-se que para o cenário com menor subida de temperatura as variações dos consumos são as menores mas, dada a redução na recarga, as taxas de exploração tornam-se muito superiores às actuais (Novo et al., 2013c).

**Quadro 8.** Evolução das taxas de consumos hídricos face aos valores actuais considerando o efeito das alterações climáticas sobre as necessidades hídricas dos organismos (manutenção da área agrícola)

Modelo climático e cenário emissões	Variação da Temperatura (°C)	Variação dos volumes de consumos face aos actuais (%)					
		Doméstico	Arrozais	Restante agricultura	Pecuária		
					Suínos	Bovinos	Ovinos
HadRM2/IS92a	+5,6	37,66	--	12,39	9,88	55,00	14,75
HadRM3/SRES A2	+3,3	25,30	6,18	8,65	5,99	30,20	8,95
HadRM3/SRES B2	+2,4	20,46	3,44	5,84	4,35	25,00	6,50

Fonte: Novo et al. (2013c)

No que se refere à potencial evolução da carga poluente na lagoa, em termos de concentração, foi considerada toda a carga poluente que atinge a lagoa nos horizontes temporais de 2015, 2027, 2050 e 2100, tendo as concentrações para os dois primeiros horizontes, sido definidas em conformidade com as projecções dos cenários sócio-económicos (Novo et al., 2013c) e as concentrações para 2050 e 2100 sem considerar alterações climáticas (2100 s/alter.clima) admitindo que as áreas agrícolas se mantêm iguais às do ano 2027. Para os cenários de redução das áreas agrícolas, como esta redução é uma das respostas previsíveis às alterações climáticas, não se considerou a situação 2100 sem alterações climáticas. A evolução para diferentes cenários climáticos e condições de manutenção do volume da lagoa é apresentado no Quadro 9. Para a situação de manutenção da proporção das descargas similar às actuais a evolução das cargas é apresentada no Quadro 10; note-se que neste caso, e sendo que nos cenários climáticos considerados se prevê uma redução do escoamento superficial e da recarga (e em consequência das descargas do aquífero), ocorrerá uma redução dos volumes saídos da

lagoa, mantendo-se somente a proporção de água de escoamento superficial e de recarga que é expelida para o oceano.

**Quadro 9.** Variação potencial das cargas poluentes superficiais + subterrâneas, passíveis de atingir a lagoa, em condições de manutenção do volume da lagoa

Na lagoa		S/ remoção de carga		Remoção 5% carga		Remoção 50% carga		Remoção 95% carga	
Área agrícola	Anos	Constante	Redução	Constante	Redução	Constante	Redução	Constante	Redução
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
	Atual	6,41	--	6,09	--	3,21	--	0,32	--
	2015	7,41	--	7,04	--	3,71	--	0,37	--
	2027	8,39	--	7,96	--	4,19	--	0,42	--
	2050	9,22	--	8,76	--	4,61	--	0,46	--
	2100 s/ clima	10,20	--	9,69	--	5,10	--	0,51	--
2100	IS92a	8,16	5,58	7,76	5,30	4,08	2,79	0,41	0,28
	A2	1,05	0,75	1,00	0,71	0,53	0,37	0,05	0,04
	B2	1,05	0,88	1,00	0,84	0,53	0,44	0,05	0,04

Fonte: Novo et al. (2013c)

**Quadro 10.** Variação potencial das cargas poluentes superficiais + subterrâneas, passíveis de atingir a lagoa, em condições de manutenção da proporção de descarga para o oceano

Na lagoa		S/ remoção de carga		Remoção 5% carga		Remoção 50% carga		Remoção 95% carga	
Área agrícola	Anos	Constante	Redução	Constante	Redução	Constante	Redução	Constante	Redução
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
	Atual	6,41	--	6,09	--	3,21	--	0,32	--
	2015	7,41	--	7,04	--	3,71	--	0,37	--
	2027	8,39	--	7,96	--	4,19	--	0,42	--
	2050	9,22	--	8,76	--	4,61	--	0,46	--
	2100 s/ clima	10,20	--	9,69	--	5,10	--	0,51	--
2100	IS92a	10,57	7,22	10,04	6,86	5,29	3,61	0,53	0,36
	A2	2,61	1,86	2,48	1,77	1,31	0,93	0,13	0,09
	B2	2,09	1,76	1,99	1,67	1,05	0,88	0,10	0,09

Fonte: Novo et al. (2013c)

Para as condições de variação do volume da lagoa e das descargas para o oceano, a variação das cargas poluentes é apresentada no Quadro 11.

**Quadro 11.** Variação potencial das cargas poluentes superficiais + subterrâneas, passíveis de atingir a lagoa em condições de variação do volume da lagoa e das descargas para o oceano

Na lagoa		S/ remoção de carga		Remoção 5% carga		Remoção 50% carga		Remoção 95% carga	
Área agrícola	Anos	Constante	Redução	Constante	Redução	Constante	Redução	Constante	Redução
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
	Atual	6,41	--	6,09	--	3,21	--	0,32	--
	2015	7,41	--	7,04	--	3,71	--	0,37	--
	2027	8,39	--	7,96	--	4,19	--	0,42	--
	2050	9,22	--	8,76	--	4,61	--	0,46	--
	2100 s/ clima	10,20	--	9,69	--	5,10	--	0,51	--
2100	IS92a	9,63	6,58	9,15	6,25	4,82	3,29	0,48	0,33
	A2	1,95	1,39	1,85	1,32	0,97	0,69	0,10	0,07
	B2	1,56	1,32	1,49	1,25	0,78	0,66	0,08	0,07

Fonte: Novo et al. (2013c)

## 5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A presente análise sofre de algumas limitações que se prendem com a limitação de dados sobre a evolução das necessidades hídricas em condições de aumento da temperatura e dos teores de CO<sub>2</sub> na zona sul da Europa atlântica. Para ultrapassar este problema foram

utilizados estudos desenvolvidos em actuais zonas semi-áridas (ex.: Walid, 2009) ou outras regiões do planeta com actual clima mediterrânico, opção que será na melhor das hipóteses um proxy das condições da área de estudo. Ocorre ainda que para um sector pecuário importante na região – a dos ovinos – não se encontrou literatura que informasse sobre a evolução das necessidades hídricas em condições de alterações climáticas em áreas mediterrânicas. Na análise da variação das necessidades hídricas das plantas considerou-se apenas a variação devida ao aumento da temperatura, embora as necessidades hídricas das plantas sejam fortemente controladas pelas concentrações de CO<sub>2</sub> atmosférico mas não existiam dados suficientes para analisar este aspecto do problema para a área de estudo. Além disso poderá ocorrer modificação dos calendários agrícolas, que nalguns casos podem passar a incluir mais de uma colheita por ano, gerando aumentos dos consumos hídricos mesmo para culturas que de per si tenham uma melhor eficiência hídrica; alteração das culturas exploradas e/ou das técnicas de irrigação e de cultivo são outros aspectos determinantes do consumo em água; no que se refere às cargas poluentes a possível opção por culturas mais tropicais que podem precisar de outros tipos e calendários de tratamento, alteração dos calendários de desenvolvimento vegetativo e consequente alteração dos calendários de períodos de adubagem e de aplicação de fitossanitários, surgimento de novos tipos de pragas, alteração das técnicas de rega e em consequência a modificação dos volumes de perdas por rega e consequente lixiviação dos poluentes, novas formas de produção industrial e tratamento de esgotos, são também aspectos bastante pouco estudados. Dada então a grande incerteza relativa a estes temas, optou-se por considerar tais factores como similares aos actuais ao longo de todo o século XXI.

Os resultados desta metodologia indicam que haverá um aumento das taxas de exploração tanto dos recursos hídricos superficiais como subterrâneos. A única excepção é o cenário IS92a, caso ocorra redução da área agrícola e se mantenham as necessidades hídricas ao nível actual (31,5% vs. os actuais cerca de 39%; cf. Quadro 5). Na situação mais provável – alteração das necessidades hídricas e área agrícola – as taxas de exploração têm muito ligeiro aumento no caso do cenário IS92a mas no caso do cenário A2 quase duplicam face às taxas actuais (73% vs. cerca de 39%). Situações de sobre-exploração ocorrerão apenas no cenário A2, caso haja manutenção das áreas agrícolas e alteração das necessidades hídricas de plantas, pessoas e animais (taxa de exploração 110%) ou ocorra manutenção da área agrícola e necessidades hídricas (taxa de exploração 95%), sendo este último caso uma situação pouco provável. As taxas de exploração no cenário B2 situam-se sempre acima dos 50%, sendo quase o dobro (=79,5%) das actuais para a manutenção das áreas agrícolas e alteração das necessidades hídricas.

Quanto à evolução da concentração potencial de nitratos na lagoa, e admitindo que estes não sofrem degradação nem retenção durante o seu percurso ao longo do aquífero, se não ocorressem os efeitos devidos às alterações climáticas, estas tenderiam a aumentar ao longo do tempo, devido sobretudo à chegada das cargas associadas a longos tempos de percurso. Como porém as alterações climáticas induzirão modificações no escoamento superficial e recarga de aquíferos e em consequência nas relações hidráulicas entre o meio superficial e subterrâneo e respectivas descargas do segundo no primeiro, a situação depende da evolução do volume de água na lagoa e das descargas dos poluentes de origem subterrânea. Verifica-se assim que, com a excepção da manutenção artificial do volume da lagoa, em que as cargas poluentes se reduzem nos três cenários climáticos (Quadro 9), para os restantes cenários de evolução do volume da lagoa a evolução das concentrações é a seguinte: (1) cenário climático IS92a – ocorre sempre um aumento da carga poluente (as descargas do aquífero assumiram-se como 20% abaixo dos valores actuais); (2) cenários A2 e B2 – ocorre sempre uma importante redução da carga poluente pois nestes cenários foi considerado que a redução da recarga impede a ocorrência de descargas do aquífero. A situação de aumento de carga, no cenário climático IS92a e para qualquer dos cenários de evolução da lagoa e de taxa de remoção de poluentes, é

especialmente significativa no caso da manutenção das áreas agrícolas. Em qualquer situação as cargas poluentes são inferiores às previstas para 2100 caso não ocorressem alterações climáticas; do mesmo modo se verifica que a alteração das concentrações no caso de taxas de remoção de poluentes da lagoa da ordem 95% é pouco significativa em cenários de alteração climática e diferentes cenários de evolução do volume da lagoa face aos valores actuais para a mesma taxa de remoção. Assim a evolução da carga poluente na lagoa dependerá de:

- Descargas do aquífero – cenários climáticos sem descargas do aquífero (cenários A2 e B2) têm sempre cargas poluentes significativamente inferiores às actuais.
- Variação da área agrícola – embora as concentrações calculadas sejam o somatório das cargas agrícola, urbana e pecuária, a redução da área agrícola implica sempre redução da carga poluente, menos significativa no caso dos cenários A2 e B2 dada a sua reduzida contribuição subterrânea para a lagoa.
- Variação do volume da lagoa – a situação mais favorável é a de manutenção artificial do volume da lagoa aos níveis actuais (Quadro 9).
- Condições de remoção da carga poluente da lagoa, isto é, os regimes de abertura da lagoa ao oceano.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado no âmbito do estudo PROWATERMAN financiado pela FCT - Projeto PTDC/AAC-AMB/105061/2008.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Diaz, J.A.R., Weatherhead, E.K., Knox, J.W., Camacho, E., (2007). Climate Change Impacts on Irrigation Water Requirements in the Guadalquivir River Basin in Spain. *Regional Environmental Change*, (7), 149-159.

Howden, S.M, Turnpenny, J. (1988). *Modelling Heat Stress and Water Loses of Beef Cattle in Subtropical Queensland under Current Climates and Climate Change*. CSIRO Wildlife & Ecology, Resource Futures Program, Integrated Global Change Impact Assessment Project. Working Document 98/03.

Lourenço, N., Machado, C.R., Rodrigues, L., Vilhena, J., Pires, A., Norberto, S., Esteves, L. (2012). *Água, Ecossistemas Aquáticos e Actividade Humana. Uma Abordagem Integrada e Participativa na Definição de Estratégias Inovadoras e Prospectivas de Gestão Integrada de Recursos Hídricos no Sul de Portugal – PROWATERMAN. Relatório da Task n.º 2 – Analysis of Environmental and Socio-Economic Driving Forces*. Universidade Atlântica, Barcarena.

Lobo Ferreira, J.P., Novo, M.E., Oliveira, L. (2013). Análise da Contribuição das Fontes Poluentes para a Carga Total de Nitratos e Fosfatos que Afluem à Lagoa de Melides por Transporte Subterrâneo. *11º SILUSBA “A Cooperação para a Água”*, Maputo, Moçambique.

Masike, S, Ulrich, P. (2009). The Projected Cost of Climate Change to Livestock Water Supply and Implications in Kgatleng District, Botswana. *World Journal of Agricultural Sciences*, (5), 597-603.

Novo, M.E., Oliveira, L., Lobo Ferreira, J.P. (2013a). *Água, Ecossistemas Aquáticos e Actividade Humana – Projecto PROWATERMAN. Estratégias e Medidas de Gestão dos*

*Recursos Hídricos da Bacia de Melides (Quantidade e Qualidade Química e Biológica)*. Relatório 128/2013 – DHA/NAS, LNEC, Lisboa.

Novo, M.E., Lourenço, N., Machado, C.R. (2013b). Utilização de Cenários de Mudança para a Previsão da Evolução das Pressões e do Estado das Massas de Água Subterrânea e EDAS. Caso de estudo: Melides. Parte I. Cenários sócio-económicos. *10ª Conferência Nacional do Ambiente/XII Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente*, Aveiro.

Novo, M.E., Oliveira, L., Henriques (2013c). *Água, Ecossistemas Aquáticos e Actividade Humana – Projecto PROWATERMAN. Estratégias e Medidas de Gestão dos Recursos Hídricos da Bacia de Melides (Quantidade e Qualidade Química e Biológica)*. Lisboa, LNEC, Relatório 128/2013-DHA/NAS, pp. 278.

Oliveira, L., Leitão, T.L., Lobo Ferreira, J.P., Oliveira, M.M., Novo, M.E. (2011). *Água, Ecossistemas Aquáticos e Actividade Humana – Projecto PROWATERMAN. Terceiro Relatório Temático – Resultados Quantitativos e Qualitativos das Campanhas de 2011 e Balanços Hídricos*. Relatório 291/2011-DHA/NAS, LNEC, Lisboa.

Oliveira, L., Novo, M. E., Lobo Ferreira, J.P. (2012a). *Água, Ecossistemas Aquáticos e Actividade Humana – Projecto PROWATERMAN. Componente do Núcleo de Águas Subterrâneas para o Desenvolvimento de Medidas de Mitigação em Melides*. Relatório 182/2011-DHA/NAS, LNEC, Lisboa.

Oliveira, L., Martins, T., Lobo Ferreira, J.P., Oliveira, M. M., Novo, M. E., Leitão, T. E. (2012b). *Água, Ecossistemas Aquáticos e Actividade Humana – Projecto PROWATERMAN. Quarto Relatório Temático – Contributos para o Desenvolvimento de Medidas para uma Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos no Sul de Portugal*. Relatório 153/2012-DHA/NAS, LNEC, Lisboa.

Oliveira, M.M. (2004). *Recarga de Águas Subterrâneas: Métodos de Avaliação*. Dissertação de Doutoramento em Geologia (Hidrogeologia), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa.

Rounsevell, M.D.A., Reginster, I., Araújo, M.B., Carter, T.R., Dendoncker, N., Ewert, F., House, J.I., Kankaapää, S., Leemans, R., Metzger, M.J., Schmit, C., Smith, P., Tuck, G., (2006). A Coherent Set of Future Land Use Change Scenarios for Europe. *Agricultural Ecosystems & Environment*, (114), 57-68.

Santos, F.D. e Miranda, P. (2006). *Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação*. Projecto SIAM II. Editora Gradiva, Lisboa.

Silva, C.S., Weatherhead, E.K., Knox, J.W., Rodriguez-Diaz, J.A. (2007). Predicting the impacts of climate change – A case study of paddy irrigation water requirements in Sri Lanka. *Agricultural Water Management*, (93), 19-29.

Schavion S., Emmans G. C. (2000). A Model to Predict Water Intake of a Pig Growing in a Known Environment on a Known Diet. *The British Journal of Nutrition*, Vol. 84, 873–883.

Walid, A. (2009). *Assessment of Climate Changes on Water Resources in Kingdom of Saudi Arabia* <http://portal.worldwaterforum5.org/wwf5/enus/worldregions/MENA%20Arab%20region/Consultation%20Library/Climate%20Change%20Saudi%20Arabia.doc> (acedido a 11 de Maio de 2012).