

# 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. Parte II. Cenários de Alterações Climáticas.

**Maria Emília NOVO**

*Geóloga, Dr. Engenharia do Ambiente, Investigadora auxiliar, Núcleo de Águas Subterrâneas, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa,*  
[enovo@lnec.pt](mailto:enovo@lnec.pt)

**Manuel M. OLIVEIRA**

*Geólogo, Dr. Hidrogeologia, Investigador auxiliar, Núcleo de Águas Subterrâneas, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa*  
[moliveira@lnec.pt](mailto:moliveira@lnec.pt)

**Luís G. S. OLIVEIRA**

*Engenheiro do ambiente, Bolseiro de projecto, Núcleo de Águas Subterrâneas, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa,*  
[loliveira@lnec.pt](mailto:loliveira@lnec.pt)

## RESUMO

Neste artigo é apresentada a metodologia utilizada para a avaliação da evolução das pressões sobre o meio hídrico superficial e subterrâneo da região de Melides sob cenários de alterações climáticas (cenários de longo prazo). Os cenários considerados foram os cenários climáticos IS92a, SRES A2 e SRES B2, desenvolvidos no âmbito do estudo SIAM e o horizonte temporal de 2100. Com base nos valores de recarga e escoamento superficial nestes cenários climáticos é avaliada a evolução possível da lagoa de Melides em termos de volume médio anual, o que terá efeitos sobre a quantidade e qualidade das suas águas. A evolução das pressões quantitativas foi avaliada admitindo 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 (ou utilização de culturas mais eficientes em termos de necessidades hídricas). Quanto às cargas poluentes e dada a grande incerteza associada à sua evolução futura, considerou-se a hipótese teórica de manutenção das cargas poluentes pecuárias e domésticas aos níveis do ano 2030, sendo que para a agricultura se consideraram os mesmos dois cenários de variação da área agrícola (manutenção e redução). A metodologia aqui apresentada permitiu assim obter valores de carga poluente que serão admissivelmente valores majorantes dos que se verificarão em 2011. Do cruzamento das cargas poluentes assim avaliadas com a provável evolução do volume médio anual de água armazenado na lagoa (que depende do escoamento superficial e das descargas do aquífero), obtiveram-se cenários prováveis de evolução da concentração de poluentes para cada um dos cenários de alteração climática.

## 1. INTRODUÇÃO

As alterações climáticas são uma realidade que irá determinar a eclosão e/ou agravamento de conflitos entre utilizadores da água e a necessidade de novas formas de gestão, mais cuidadas, holísticas e abrangendo todos os actores, com vista à salvaguarda do recurso hídrico e fornecimento das populações e suas actividades económicas, entre as quais se devem incluir a preservação dos ecossistemas pois o bom funcionamento destes é uma mais-valia muitas vezes dificilmente mensurável em termos monetários mas que tem custos adversos quando estes se degradam e por seu lado pode trazer contrapartidas económicas (ex.: turismo ecológico) quando devidamente salvaguardados. Acresce ainda que o bom funcionamento Fonte: Oliveira et al. (2012a) garante para a qualidade de vida das populações, assegurando em muito a sua sobrevivência

física e espiritual/de lazer/de identidade (ex.: preservação dos ecossistemas ribeirinhos para as populações locais de pescadores).

As alterações climáticas são assim mais uma pressão a que estão sujeitos os recursos hídricos e os ecossistemas, sendo que neste último caso tais alterações podem trazer alterações significativas da sua composição em termos de n.º de indivíduos, de espécies, de equilíbrios de competição entre espécies, com a extinção eventual de algumas, a migração de outras para zonas diversas das suas áreas de distribuição actuais e a implantação de novas espécies cujo potencial competidor com as espécies autóctones é mal conhecido e pode resultar na sua extinção pelo menos ao nível local. Ou seja, as alterações climáticas irão engendrar alterações mais ou menos profundas no funcionamento e resiliência dos ecossistemas actuais. Por sua vez a competição pelo recurso hídrico por parte da população humana – sendo que nas áreas mediterrânicas se projecta uma redução generalizada deste recurso tanto em termos de recarga de aquíferos como de volumes médios anuais de escoamento – será um factor de stress acrescido sobre os ecossistemas e originará uma maior competição pela água entre seres humanos e ecossistemas por um lado, e entre utilizadores humanos por outro.

No caso dos ecossistemas dependentes total ou parcialmente de águas subterrâneas a sua susceptibilidade às alterações climáticas é dupla no sentido em que quaisquer alterações nos regimes hídricos superficiais e nos regimes de recarga e funcionamento dos aquíferos terão impactos directos sobre estes ecossistemas. 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. No caso dos sistemas lagunares costeiros que funcionam como bacias de recepção de uma rede hidrográfica, além dos impactos dos eventos que ocorram na área da bacia, há ainda a considerar os impactos decorrentes da espectável subida do nível médio das águas do mar e alterações concomitantes dos regimes de correntes, ondulação e actividade erosiva do oceano, determinando os regimes de construção, assoreamento, abertura e fecho ao oceano destes corpos aquáticos costeiros, com todas as implicações que isto tem em termos de funcionamento dos ecossistemas locais, da resiliência no que se refere à capacidade de recepção dos poluentes que tenham sido produzidos a montante, da resiliência, enfim, de todas as pressões humanas e acções do mar sobre estes ecossistemas. Por esta razão considera-se importante analisar o modo como as alterações climáticas podem afectar este tipo de ecossistemas, tendo sido criada uma metodologia para avaliação destes impactos, a qual, embora apenas numa vertente teórica, foi aplicada à lagoa de Melides.

## **2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

A lagoa de Melides, situada no litoral alentejano (Fig. 1), e incluída na Região Hidrográfica 6, 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 que é descarregada à superfície e é colectada pela rede de drenagem da ribeira de Melides, dado constituir a zona vestibular desta pequena bacia hidrográfica (60,84 km<sup>2</sup>).

Esta bacia está dividida em (Fig. 2; Novo, 2010; Novo e Oliveira, 2013a): (1) sector de cabeceira, de maior declive, desenvolvido nas formações pouco permeáveis de xistos e grauvaques carbónicos e apresentando uma elevada densidade de drenagem face à densidade de jusante, (2) sector vestibular ou de jusante, de baixo declive, inclinando suavemente em direcção ao mar, desenvolvido nas formações essencialmente arenosas terciárias e quaternárias – arenitos e areias de origem marinha e litoral, por vezes com seixos e com níveis locais intercalados de argilitos ou carbonatado – sobrejacentes às unidades carbonatadas jurássicas (que correspondem ao sistema aquífero de Sines), tendo em consequência uma densidade de

drenagem moderada a baixa. As formações paleozóicas estão separadas das formações jurássicas e terciárias-quadernárias pelo acidente tectónico regional da Falha de Santo André.

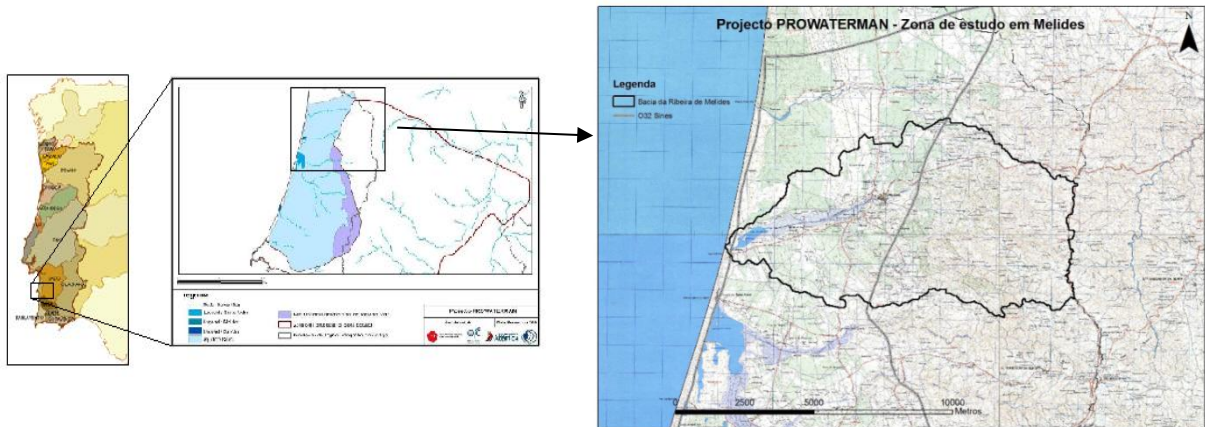
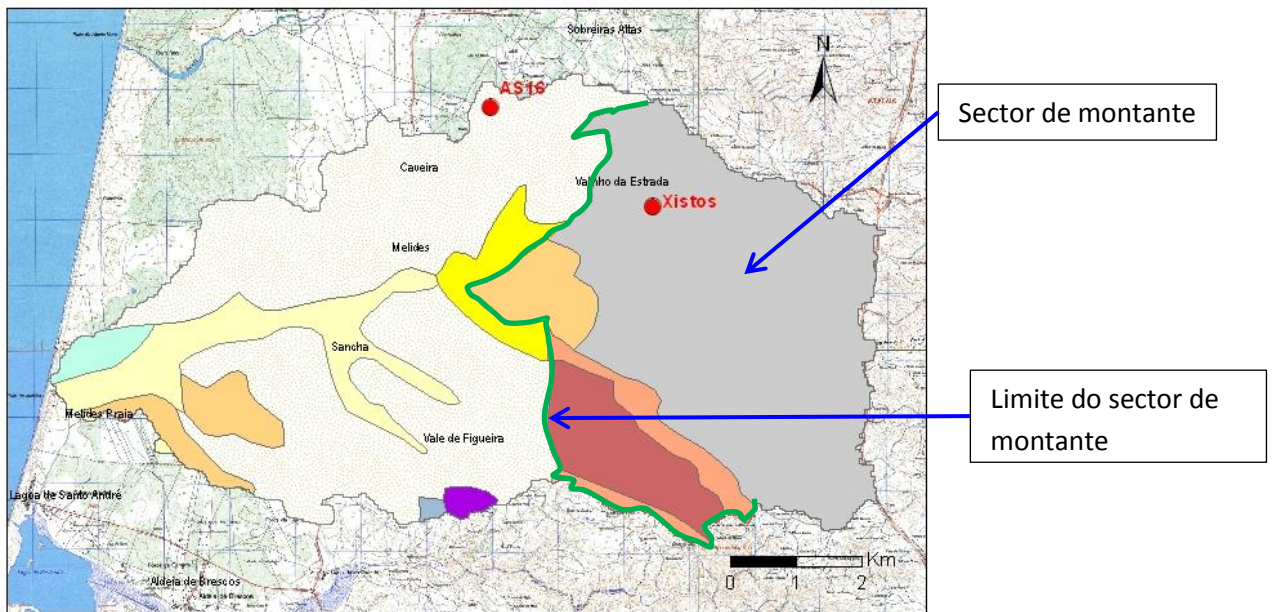


Fig. 1 – Localização da área de estudo

No sector de cabeceira dominam os matos e florestas, dando-se a ocupação agrícola e urbana sobretudo no sector vestibular da bacia, o qual termina no litoral, por intermédio da 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 vestibular (Novo e Oliveira, 2013b).



Enquadramento litoestratigráfico

- Aluviões - Quaternário
- Dunas - Quaternário
- Formação de Marateca - Pliocénico
- Formação de Esbarradoiro - Miocénico
- Complexo Vulcano-Sedimentar - Jurássico inf.
- Formações de Dagorda, Pereiros e Grés de Silves - Triásico
- Formação Filito-Quartzítica: filitos, siltitos e quartzitos - Devónico sup.
- Xistos, siltitos, tufitos e jaspes (Complexo Vulcano-Sedimentar da Faixa Piritosa) - Devónico sup.-Carbónico inf.
- Turbiditos (Fm. Mértola) - Carbónico inf.

Fonte: Henriques e Martins (2012)

Fig. 2 – Geologia da bacia de Melides

Na bacia hidrográfica de Melides o meio hídrico superficial – rede hidrográfica e lagoa de Melides – está em ligação hidráulica com o meio hídrico subterrâneo (Novo et al., 2013a; Lobo Ferreira et

al., 2013), podendo definir-se neste ultimo dois grandes domínios: (1) soco cristalino – pouco permeável, pouco produtivo, localizado nos terrenos paleozóicos de montante da bacia; (2) sistema aquífero de Sines – constituído por um aquífero profundo cársico desenvolvido nas formações jurássicas, e por um aquífero superficial multicamada desenvolvido nas formações detríticas terciárias e quaternárias, sendo o seu nível aquífero mais superficial o que se encontra em ligação hidráulica com a rede hidrográfica e a lagoa. O aquífero profundo, cársico, tem na área da bacia hidrográfica um ponto de descarga, conhecido, no meio hídrico superficial: a Fonte dos Olhos, sita imediatamente a jusante da vila de Melides.

O balanço hídrico realizado no estudo PROWATERMAN (Oliveira et al., 2011) calcula em cerca de 26,5% o volume que entra no meio hídrico superficial a partir do meio subterrâneo; este volume de água subterrânea é quase inteiramente proveniente (acima de 90%) da zona arenosa da bacia (cf. Oliveira et al., 2012a). A importância da contribuição das fontes superficiais e subterrâneas para a alimentação da Lagoa, no sector xistoso e no sector arenoso da bacia, é apresentada na Fig. 3. Os volumes totais de água que alimentam a Lagoa são da ordem de 19 a 20 hm<sup>3</sup>/ano, no total de contribuições superficiais + e subterrâneas (Quadro 1).

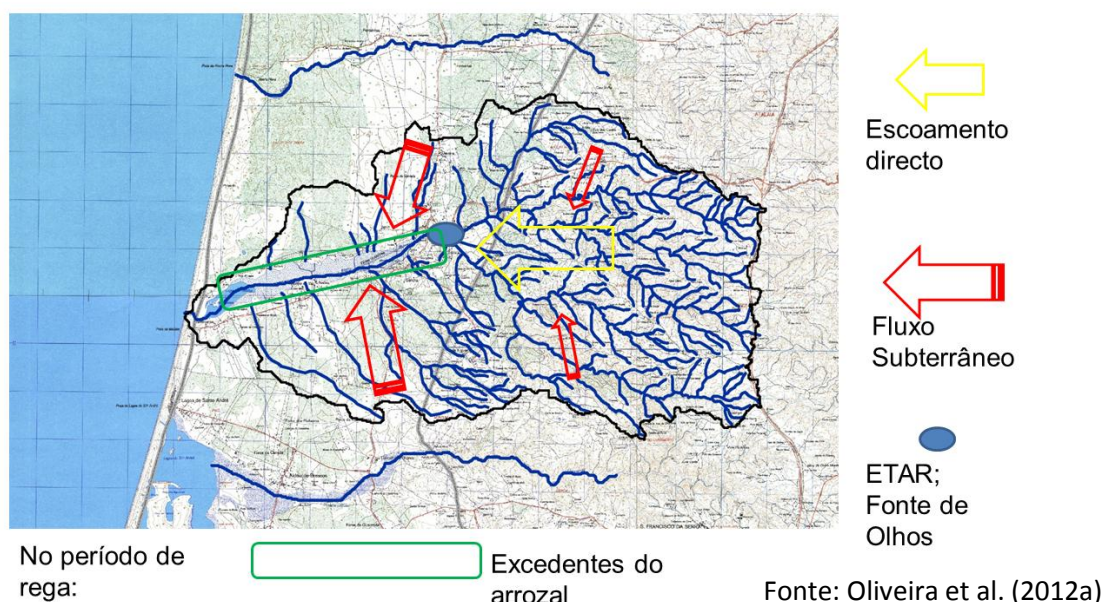


Fig. 3 – Origens da água que alimentam a Lagoa e sua importância relativa

Quadro 1 – Volumes de água de diferentes origens que actualmente alimentam a lagoa de Melides

	Escoamento (m <sup>3</sup> /ano)		Contribuição subterrânea (m <sup>3</sup> /ano) *		ETAR Melides + Vale Figueira (m <sup>3</sup> /ano)	Total (hm <sup>3</sup> /ano)
	Zona arenosa	Zona xistosa	Recarga zona arenosa	Volume médio cedido		
Volume	2 594 876	11 225 082	5 269 858	4 998 456	40 956	19 a 20
Contribuição	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.

Fonte: adaptado de Oliveira et al. (2012a)

### 3. METODOLOGIA DESENVOLVIDA

Para obter uma evolução das pressões sobre o meio hídrico em cenários de alterações climáticas é necessário definir para cada cenário de alterações climáticas: (1) alteração do

escoamento superficial e os novos valores espectáveis de escoamento superficial, (2) alteração da recarga e os novos valores espectáveis de recarga, (3) alteração dos consumos e novos valores expectáveis de consumos, (4) avaliação das taxas de exploração em face dos novos valores de recarga, escoamento superficial e consumos, (5) alteração das pressões no que se refere às cargas poluentes e os novos valores de cargas poluentes.

Os cenários de alterações climáticas utilizados foram os do Projecto SIAM (Santos e Miranda, 2006): HadRM2/IS92A, HaRM3/SRES A2 e HaRM3/SRES B2. A avaliação das recargas e escoamentos superficiais sob estes cenários fez-se utilizando o modelo BALSEQ\_MOD. Os dados de entrada para este modelo foram as séries de precipitação, modificadas para as condições previstas em cada um destes cenários, e as séries de evapotranspiração de referência; o cálculo desta evapotranspiração de referência utilizou os valores das séries de temperatura modificados para as condições previstas por estes três cenários.

Os resultados obtidos de recarga e escoamento superficial para estes três cenários foram apresentados em Oliveira et al. (2012b) e a avaliação das variações destas duas componentes do ciclo hidrológico apresentaram-se em Oliveira et al. (2012 b) e Novo et al. (2013c).

Para a avaliação da variação das pressões quantitativas em cenários de alterações climáticas consideraram-se duas situações:

- ❖ **Manutenção das necessidades hídricas de animais, pessoas e plantas** – pretendendo reflectir condições de redução da população e dos efectivos pecuários e alguma contracção da actividade agrícola, dado que é de supor que um aumento da temperatura e do CO<sub>2</sub> atmosférico irá gerar aumentos do consumo de água de pessoas e animais; no que se refere às plantas algumas espécies irão ver aumentadas as suas necessidades hídricas ao passo que outras, tirando partido dos teores mais elevados de CO<sub>2</sub> atmosférico irão reduzir o seu consumo efectivo em água, pelo que o balanço final dos consumos dependerá da proporção entre culturas com melhores capacidades para lidar com o stress hídrico (plantas de tipo C4) e as menos favorecidas neste aspecto (plantas de tipo C3) – cf. <http://www.co2science.org/subject/b/summaries/biodivc3vsc4.php> – e das áreas de cultivo alocadas a cada uma. Os valores de necessidades hídricas são os calculados para o ano 2030 em conformidade com os cenários sócio-económicos (Novo et al., 2013d; 2013e).
- ❖ **Alteração das necessidades hídricas de animais, pessoas e plantas** - reflectindo a resposta dos organismos ao aumento de temperatura. 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).

Para a avaliação da variação das pressões qualitativas, e dadas as grandes incertezas associadas a esta problemática, tal como aliás no que concerne às pressões quantitativas, a metodologia adoptada considerou as seguintes situações teóricas:

- ❖ **Manutenção das cargas poluentes domésticas e pecuárias** – pretende representar a manutenção até ao final do século XXI da população turística e residente, assim como o número de efectivos de cabeças de gado e tipo de estabulamento aos níveis do ano 2030, em conformidade com as projecções dos cenários sócio-económicos. Dadas as condições de maior aridez que os cenários climáticos sugerem para a zona de estudo, é de prever na realidade uma redução da população pecuária e humana (a menos que evoluções sócio-económicas imprevistas contrariem esta tendência) pelo que estas condições serão um limite majorante das cargas poluentes expectáveis.
- ❖ **Cargas agrícolas** – consideram-se dois cenários: (1) Manutenção das áreas agrícolas; (2) Redução das áreas agrícolas.

Do cruzamento dos consumos com as recargas para os diferentes cenários climáticos obtêm-se as novas taxas de exploração e, deste modo uma quantificação das pressões quantitativas, tanto no seu conjunto como por actividade económica para os cenários climáticos considerados.

Do cruzamento das cargas poluentes assim avaliadas com a provável evolução do volume médio anual de água armazenado na lagoa, obtiveram-se cenários prováveis de evolução da sua qualidade química sob diferentes condições de alteração climática.

Deve referir-se que esta abordagem tem diversas limitações, que têm que ver com as incertezas não apenas das previsões mas sobretudo com a resposta dos seres humanos a estas novas condições, de que se destacam o desconhecimento das estratégias de adaptação dos agricultores, como sejam por exemplo, no aspecto quantitativo: adoptarem mais do que um ciclo de cultivo no mesmo ano (o que implicará aumentos nos consumos de água), optarem por culturas menos exigentes em termos de necessidades hídricas, alterações nas tecnologias de cultivo e irrigação, alteração dos calendários agrícolas, nestes se incluindo a alteração dos calendários de rega (ex.: suspender culturas nos períodos de maior sequia, proceder às regas exclusivamente durante os períodos de menor evapotranspiração, etc.).

Do mesmo modo, para a análise dos aspectos qualitativos, existem as mesmas limitações devidas às incertezas, como sejam: novas formas de produção e em consequências distintas cargas poluentes, opção dos agricultores por culturas mais tropicas (que podem precisar de outros tipos de tratamento, calendários de tratamento diferentes, etc.), alteração dos calendários agrícolas (incluindo os períodos de adubagem e de aplicação de fitossanitários, alterações na tecnologia de cultivo, surgimento de novos tipos de pragas e consequente necessidade de utilizar novos fitossanitários e/ou técnicas de dosagem e aplicação, alteração das técnicas de rega e em consequência a modificação dos volumes de perdas por rega e da capacidade de lixiviação dos poluentes e sue transporte para os aquíferos.

#### 4. APLICAÇÃO AO CASO DE ESTUDO

Para a previsão a evolução das pressões em cenários de alterações climáticas é necessário possuir projecções da evolução da recarga, escoamento superficial, consumos e cargas poluentes para os horizontes temporais dos cenários de alterações climáticas.

Os cenários climáticos utilizados para a área de estudo são os apresentados em Santos e Miranda (2006): HadRM2/IS92A, HaRM3/SRES A2 e HaRM3/SRES B2.

A partir dos resultados destes cenários para a precipitação e temperatura foram criadas as séries de dados de entrada para o modelo BALSEQ\_MOD (Oliveira, 2004; 2006), o qual calculou as recargas e escoamentos superficiais em cada cenário climático. A metodologia utilizada para a determinação destes valores foi apresentada em Oliveira et al. (2012b).

Uma vez que os consumos são abastecidos por água proveniente da ribeira, para o caso dos arrozais, e proveniente do aquífero para a generalidade dos outros consumos, é necessário conhecer os valores da recarga e do escoamento superficial, de forma a determinar as futuras taxas de exploração e a consequente pressão quantitativa sobre os recursos hídricos. Para tal é necessário ter cenários de evolução dos consumos. Dada a grande incerteza na evolução destes 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 dos consumos a níveis similares aos actuais** – os valores considerados são os previstos para 2027 com base nos modelos sócio-económicos (Lourenço et al.,

2011; 2012) e assumindo o pressuposto de que estes consumos se mantêm com muito reduzidas alterações até 2100 (Novo et al., 2013d; 2013b). Este cenário pretende retratar uma situação teórica de redução da população e da agricultura de modo a que, apesar dos previsíveis aumentos dos consumos *per capita* e por cultura devido às novas condições climáticas, os consumos globais se mantenham similares aos actuais. Será assim um cenário que pode constituir o limiar minorante da variação de consumos até 2100 em condições de alteração climática. Foram escolhidos os valores de consumos previstos para 2027 porque é a projecção que se tem a mais longo prazo para um cenário climático que se pode considerar semelhante ao actual, representando deste modo o ponto de partida para as projecções de consumos no final do século XXI.

- **Manutenção dos consumos de pessoas, plantas e animais e alteração dos consumos por variação da área agrícola por efeito das alterações climáticas** – este cenário representa uma situação intermédia em que a desertificação humana é de algum modo compensada pela ocupação turística mas é suficientemente marcada para ter efeitos ao nível da redução de área agrícola. Os cenários de variação da área agrícola são os definidos por Rounsevell et al., (2005; 2006)
- **Alteração das necessidades hídricas de plantas, animais e pessoas em resultado do aumento da temperatura** – 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, que forçosamente ocorrerão em resultado das alterações climáticas, admitindo que a densidade populacional e pecuária se manterá inalterada até ao ano 2100. Para a agricultura considerou-se para base de cálculo as variações expectáveis em área agrícola para 2027, obtidas a partir dos cenários sócio-económicos de Lourenço et al. (2011; 2012) e que correspondem a uma redução média dos consumos, da ordem dos 6,43% para o conjunto de culturas da região, com excepção dos arrozais; para estes a redução em área implicaria uma redução da ordem dos 8,46% nos consumos em 2027 face aos valores actuais. Os cenários considerados para avaliar destas alterações nos consumos foram os seguintes:
  - **Manutenção da área agrícola nos valores projectados para 2027**
  - **Alteração da área agrícola em função das projecções de Rounsevell et al. (2005; 2006)**: consideram-se tal como para o cenário da manutenção da área agrícola as seguintes situações, correspondentes a duas fontes de abastecimento distintas:
    - *Arrozais* – são abastecidos por águas superficiais (águas da ribeira de Melides); aplicaram-se às condições de 2027 as variações de consumos obtidas por Silva et al. (2007) para os cenários A2 e B2. O cenário IS92a não foi considerado pois estes autores não fizeram projecções para as condições deste cenário de emissões.
    - *Restantes culturas* – são abastecidas por águas subterrâneas na generalidade dos casos; aplicaram-se às condições de 2027 os valores de variação dos consumos agrícolas resultantes da metodologia de Diaz et al. (2007), que avalia a variação dos consumos de um conjunto de culturas em clima mediterrânico. Estas variações foram recalculadas para as condições climáticas de Melides (variação da temperatura para os cenários IS92a, A2 e B2) sendo depois aplicadas para a determinação dos consumos médios globais agrícolas.
  - **Pecuária**: na ausência de estudos de evolução dos consumos animais na bacia do Mediterrâneo ou no sul da Península Ibérica, recorreu-se a estudos desenvolvidos noutras regiões do globo também de 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. Considerando apenas o tipo de gado, visto pouca informação existir no respeitante aos demais factores, adoptou-se:

- *Bovinos* – aplicaram-se os métodos e valores de Masike e Ulrich (2009) e Howden e Turnpenny (1988) da variação dos consumos de água para bovinos em condições semi-áridas de climas mediterrânicos africanos, dado que o clima de Melides se deverá aproximar no futuro deste tipo de condições.
  - *Suínos* – para o cálculo da alteração dos consumos dos suínos adoptou-se a metodologia de Schiavon e Emmans (2000; in Patience, 2012).
  - *Ovinos* – na ausência de informação suficiente para o cálculo da variação dos consumos de ovinos em cenários de alterações climáticas, e sendo a capitação de suínos e ovinos muito similar nas condições de Melides e tendo os ovinos moderadas necessidades de água, optou-se por aplicar a metodologia dos suínos também ao cálculo dos consumos de ovinos.
- **Consumos domésticos:** aplicou-se a metodologia de Walid (2009) que calcula a variação dos consumos domésticos em ambientes semi-áridos perante subidas de temperatura entre 1°C a 5°C, intervalo em que se situam as projecções de aumentos de temperatura para a região de Melides nos cenários de alterações climáticas considerados neste estudo.

Para as pressões qualitativas consideraram-se duas situações:

- **Manutenção das cargas poluentes** – admite-se que as cargas poluentes em 2100 se manterão similares às previstas para 2027 para as cargas de origem doméstica, pecuária e agrícola. Estas condições pretendem representar uma condição de progressiva desertificação humana e abandono agrícola mas com um aumento do turismo que contrabalance as perdas de carga poluente (nitratos) das origens agrícolas, pecuárias e da população local.
- **Alteração das cargas poluentes** – considera-se uma manutenção da população e da actividade pecuária aos níveis de 2027, dado serem já taxas de ocupação humana e pecuária baixas se se exceptuar a ocupação turística sazonal; a área agrícola considera-se como sofrendo uma redução, em conformidade com as projecções para esta região do sul da Europa apresentadas em Rounsevell et al. (2005; 2006) e que indicam para Portugal e para o cenário A2, reduções da área agrícola de 47% e para o cenário B2 uma redução de 36%; para o cenário IS92a, mais desfavorável em termos de aumento da temperatura, mas em que não ocorre uma diminuição tão acentuada da recarga optou-se por considerar o cenário B1 para o qual se prevêem reduções da ordem dos 54%. Para os arrozais calcularam-se valores para duas situações distintas: perda de área agrícola similar à registada para as demais culturas; manutenção da contribuição agrícola dos arrozais na carga poluente superficial (valores a negrito nos Quadros 9, 10 e 11). Este último caso foi considerado porque, dada a sua natureza particular em termos sócio-económicos, o facto de ser uma cultura adaptada climas quentes, e ser possível na região o acesso a água subterrânea mesmo se a maior profundidade (no aquífero cársico), poderá acontecer que as áreas agrícolas de arrozal se mantenham relativamente pouco alteradas.

O reflexo destas pressões na qualidade das águas da Lagoa exige que se considerem ainda o volume desta, o qual depende, em condições naturais, do somatório do escoamento superficial, descarga do aquífero, água debitada pela Fonte dos Olhos e caudais da ETAR. Considerando as



variações na recarga dos aquíferos nos cenários IS92a, A2 e B2, considerou-se que nos cenários A2 e B2 não havia descargas subterrâneas para o meio hídrico superficial dada a redução de 60% e 46,4% respectivamente para os cenários A2 e B2 Oliveira et al., 2012; Novo et al., 2013c; 2013d); para o cenário IS92a, dada a menor redução da recarga (26%; cf. Oliveira et al., 2012; Novo et al., 2013c), admite-se uma descarga para o meio hídrico superficial de apenas 80% do volume actual (Novo et al., 2013b). Estas alterações terão impactos nos volumes de água na lagoa, e deste modo na sua capacidade receptora das cargas poluentes, podendo levar a acções antrópicas no sentido de contrariar situações desfavoráveis. Assim consideraram-se três cenários de variação do volume da lagoa para o horizonte temporal de 2100:

- **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). Para o volume se manter constante terá de ocorrer uma menor saída de água para o mar durante os períodos de abertura da barra, ou esta terá de ser artificialmente reforçada pois é de admitir que, em cenários de alteração climática, a subida do nível do mar e a alteração nos padrões de circulação oceânica favoreçam a erosão e uma mais frequente abertura do cordão litoral, não por parte acumulação de águas na da lagoa como actualmente é mais comum, mas por galgamento do cordão litoral por parte do oceano. Para que se mantivesse o volume da lagoa idêntico ao actual, sem contribuição acrescida de água cedida pelo oceano, seria necessária uma redução da água descarregada pela lagoa. No caso dos cenários em que não se considera que ocorra descarga do aquífero para o meio hídrico superficial esta redução poderia corresponder a variação dos actuais 92% do volume da lagoa para apenas 82% (cenário A2: cfr. Novo et al., 2013d).
- **Volume da Lagoa distinto do actual, variando em função dos cenários climáticos mas mantendo a proporção de água descarregada da lagoa idêntica à actual** – cenário que pretende retratar a situação pouco provável, e que representaria uma situação limite favorável, em que a dinâmica costeira (subida do nível do mar, agitação marítima, erosão costeira) se manteria em equilíbrio dinâmico com a lagoa (ex.: por uma afluência considerável de água à lagoa por intermédio de descargas de campos agrícolas regados com águas subterrâneas). Nestas condições de equilíbrio dinâmico a proporção de água que sai da Lagoa é igual à actual, ou seja 92,2% do total entrado; este volume saído que corresponde a cerca de 12 vezes o volume médio da lagoa (=1,5 hm<sup>3</sup>; cf. Oliveira et al., 2012a). Nestas condições, e na ausência de descargas a partir do aquífero (cenários de emissões A2 e B2), o volume da lagoa sofreria reduções entre 47 e 57%.
- **Volume da Lagoa distinto do actual, variando em função dos cenários climáticos, dependendo apenas das variações da recarga e escoamento superficial** – nestas condições o volume da lagoa depende apenas das contribuições da recarga e escoamento superficial, não se mantendo nem o volume actual por efeito de alguma intervenção artificial, nem se mantém a actual proporção de água descarregada para o oceano e/ou perdida por evapotranspiração (Novo et al., 2013c).

Como além destas condicionantes é necessário conhecer a quantidade de poluente que é removido durante os períodos de abertura ao oceano, aspecto sem quantificação conhecida, sobrepuseram-se às condicionantes descritas os seguintes cenários de remoção de poluentes:

- **Cenário O** – não ocorre remoção da carga poluente. Esta situação ocorre quando a lagoa não sofre abertura ao oceano, situação que poderia ocorrer em condições de acentuada redução do volume de água armazenado na lagoa e em simultâneo o oceano não galgasse o cordão litoral (ex.: anos de menor agitação marítima).

- **Cenário A** – a abertura da lagoa ao oceano promove uma remoção de 5% da carga poluente armazenada; esta situação ocorrerá em se a lagoa sofrer uma redução acentuada do seu volume e o mar não galgar o cordão litoral com frequência. Admite-se que esta seja uma situação pouco provável, dado o expectável aumento da taxa de erosão litoral em cenários de alterações climáticas, devendo ser encarada, tal como a situação do Cenário O como situações limite.
- **Cenário B** – a abertura da lagoa ao oceano promove uma remoção de 50% da carga poluente armazenada; esta situação corresponderia a uma situação de abertura algo intermitente, mais frequente que nos casos dos cenários O e A. Esta situação exigiria uma redução significativa do volume da lagoa e ao mesmo tempo que a erosão costeira não sofresse incrementos significativos.
- **Cenário C** – a abertura da lagoa ao oceano promove uma remoção de 95% da carga poluente armazenada; esta situação corresponderia ao caso em que de alguma forma se mantivesse o volume de descarga da lagoa para o oceano em valores similares aos actuais, isto é, 92% do volume total que ela recebe. Esta situação exigiria que se mantivesse o equilíbrio dinâmico actual de trocas com o oceano, o que poderia ocorrer com a manutenção artificial do volume da lagoa ou com aberturas mais frequentes ao oceano, situação provável em condições de subida do nível do mar, sendo que neste caso se verificaria não o fluxo inicial da lagoa para o oceano mas o do oceano para a lagoa.

Os cálculos foram realizados para:

- **Carga poluente que chega num ano à lagoa** – admitindo: (1) carga poluente em 2100 idêntica à projectada para 2027 pelos modelos sócio-económicos; (2) carga poluente em 2100, considerando a carga poluente projectada para 2027 mas reduzida em função da redução da área agrícola prevista por Rounsevell et al. (2006).
- **Carga poluente que chega num ano à lagoa acrescida de cargas em trânsito** – admitindo: (1) carga poluente com tempo de percurso até 1 ano, sendo em 2100 idêntica à projectada para 2027 pelos modelos sócio-económicos acrescida da carga poluente que tenha entre 2 e 80 anos de tempo de percurso, sem considerar quaisquer reduções futuras da área agrícola, isto é, a carga assume-se como integralmente conservativa e será idêntica à que actualmente entra no meio hídrico; (3) cargas poluentes são o somatório das cargas entre 45 e 90 anos de tempo de percurso (que serão idênticas às que actualmente entram no meio hídrico), com as cargas entre 16 e 45 anos de tempo de percurso que sofrem uma redução compatível com cerca de metade da redução da área agrícola prevista por Rounsevell et al. (2006), mais as cargas com tempos de percurso até 16 anos que sofrem a redução integral prevista por esses mesmos autores.
- **Total da carga subterrânea entrada atualmente e que atingirá a Lagoa até 2100** – admite-se que não ocorre qualquer redução da área agrícola e deste modo as cargas poluentes correspondem ao somatório de todas as cargas com até 90 anos de tempos de percurso que serão idênticas às que actualmente entram no meio hídrico.

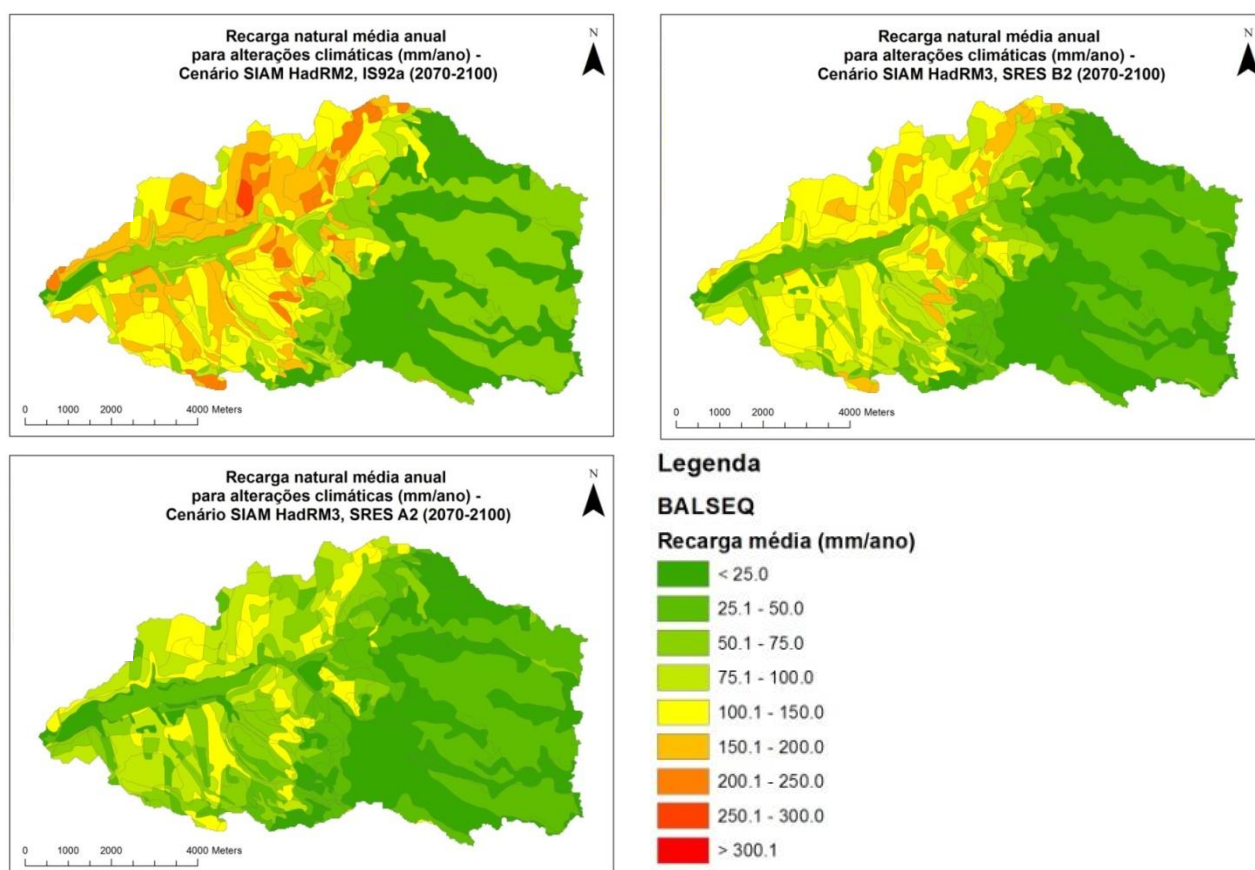
## 5. RESULTADOS

As recargas e escoamento superficiais em cenários de alterações climáticas foram calculados por Oliveira et al. (2012b) tendo também sido apresentados em Novo et al. (2013c), 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 Fig. 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 nos dois sectores da bacia de Melides

		ESC (mm/ano)	RAQ (mm/ano)	Redução		Volume médio (hm <sup>3</sup> /ano)		
				ESC	RAQ	ESC xistos	ESC areias	RAQ
	<i>Condições actuais</i>	199	119	0%	0%	11,226	2,595	5,270
<b>Cenário emissões/modelo climático</b>	HadRM2/IS92a	179	88	10,2%	26,3%	10,098	2,334	3,884
	HadRM3/SRES A2	114	47	42,5%	60,1%	6,431	1,487	2,103
	HadRM3/SRES B2	142	64	28,5%	46,4%	8,011	1,852	2,825

ESC = escoamento directo; RAQ = recarga natural



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

		Vol. médio da lagoa (hm <sup>3</sup> )		
		Volume constante ao actual	Descarga para o oceano constante à actual	Volume e descarga variáveis
	<i>Condições actuais</i>	1,5	1,5	1,5
<b>Cenário emissões/modelo climático</b>	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

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 senários sócio-económicos (área agrícola mantém-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

Horizonte temporal	Modelo	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
Ano 2100	HadRM2, IS92a	585 845	585 845	1 424 951	1 568,1	3 693 381	55,24
	HadRM3, SRES A2	585 845	585 845	1 424 951	1 568,1	1 920 058	103,72
	HadRM3, SRES B2	585 845	585 845	1 424 951	1 568,1	2 607 867	76,36
Horizonte temporal		Taxas de consumo por atividade económica (%)					
		Doméstico	Arrozais*	Restante agricultura	Pecuária	Escoamento superficial (m <sup>3</sup> )	
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	
Ano 2100	HadRM2, IS92a	15,30	36,76	38,58	0,04	1 593 682	
	HadRM3, SRES A2	29,42	49,88	74,21	0,08	1 174 555	
	HadRM3, SRES B2	21,66	32,18	54,64	0,06	1 820 780	

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

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

Horizonte temporal	Modelo	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
Ano 2100	HadRM2, IS92a	564 947	269 489	655 478	1 568,1	3 693 381	33,09
	HadRM3, SRES A2	564 947	310 499	755 224	1 568,1	1 920 058	68,84
	HadRM3, SRES B2	564 947	433 525	1 054 464	1 568,1	2 607 867	62,16
Horizonte temporal		Taxas de consumo por atividade económica (%)					
		Doméstico	Arrozais *	Restante agricultura	Pecuária	Escoamento superficial (m <sup>3</sup> )	
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	
Ano 2100	HadRM2, IS92a	15,30	16,91	17,75	0,04	1 593 682	
	HadRM3, SRES A2	29,42	26,44	39,33	0,08	1 174 555	
	HadRM3, SRES B2	21,66	23,81	40,43	0,06	1 820 780	

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

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)

Horizonte temporal	Modelo	Volumen de consumos (m³/ano)				Recarga (m³/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
Ano 2100	HadRM2, IS92a	723 132	--	1 709 941	2 335,8	3 693 381	65,94
	HadRM3, SRES A2	658 163	679 580	1 652 943	1 991,1	1 920 058	120,47
	HadRM3, SRES B2	632 740	662 005	1 610 195	1 916,7	2 607 867	86,08
Horizonte temporal		Taxas de consumo por atividade económica (%)					
		Doméstico	Arrozais *	Restante agricultura	Pecuária	Escoamento superficial (m³)	
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	
Ano 2100	HadRM2, IS92a	19,58	--	46,30	0,06	1 593 682	
	HadRM3, SRES A2	34,28	57,86	86,09	0,10	1 174 555	
	HadRM3, SRES B2	24,26	36,36	61,74	0,07	1 820 780	

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

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

Horizonte temporal	Modelo	Volumen de consumos (m³/ano)				Recarga (m³/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
Ano 2100	HadRM2, IS92a	723132	--	786 573	2335,8	3 693 381	40,94
	HadRM3, SRES A2	658163	679580	876 060	1991,1	1 920 058	80,01
	HadRM3, SRES B2	632740	662005	1 191 544	1916,7	2 607 867	70,03
Horizonte temporal		Taxas de consumo por atividade económica (%)					
		Doméstico	Arrozais *	Restante agricultura	Pecuária	Escoamento superficial (m³)	
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	
Ano 2100	HadRM2, IS92a	19,58	--	21,30	0,06	1 593 682	
	HadRM3, SRES A2	34,28	30,67	45,63	0,10	1 174 555	
	HadRM3, SRES B2	24,26	26,91	45,69	0,07	1 820 780	

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

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 (cf. ibidem).

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

Modelo	Variação da Temperatura (°C)	Variação dos volumes de consumos face aos atuais (%)					
		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

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., 2013e) 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 →		Não 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/alter. clima	10,20	--	9,69	--	5,10	--	0,51	--
2100	IS92a	8,16	<b>5,90 / 5,58</b>	7,76	<b>5,60 / 5,30</b>	4,08	<b>2,95 / 2,79</b>	0,41	<b>0,29 / 0,28</b>
	A2	1,05	<b>1,05 / 0,75</b>	1,00	<b>1,00 / 0,71</b>	0,53	<b>0,53 / 0,37</b>	0,05	<b>0,05 / 0,04</b>
	B2	1,05	<b>1,05 / 0,88</b>	1,00	<b>1,00 / 0,84</b>	0,53	<b>0,53 / 0,44</b>	0,05	<b>0,05 / 0,04</b>

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 →		< 5% 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/alter. clima	10,20	--	9,69	--	5,10	--	0,51	--
2100	IS92a	10,57	<b>7,58 / 7,22</b>	10,04	<b>7,20 / 6,86</b>	5,29	<b>3,79 / 3,61</b>	0,53	<b>0,38 / 0,36</b>
	A2	2,61	<b>2,61 / 1,86</b>	2,48	<b>2,48 / 1,77</b>	1,31	<b>1,31 / 0,93</b>	0,13	<b>0,13 / 0,09</b>
	B2	2,09	<b>2,09 / 1,76</b>	1,99	<b>1,99 / 1,67</b>	1,05	<b>1,05 / 0,88</b>	0,10	<b>0,10 / 0,09</b>

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 →		Não remoção de carga		Remoção 5% carga		Remoção 50% carga		Remoção 95% carga	
Área agrícola		Constante	Redução	Constante	Redução	Constante	Redução	Constante	Redução
Anos		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/alter. clima		10,20	--	9,69	--	5,10	--	0,51	--
2100	IS92a	9,63	<b>6,91</b> / 6,58	9,15	<b>6,56</b> / 6,25	4,82	<b>3,45</b> / 3,29	0,48	<b>0,35</b> / 0,33
	A2	1,95	<b>1,95</b> / 1,39	1,85	<b>1,85</b> / 1,32	0,97	<b>0,97</b> / 0,69	0,10	<b>0,10</b> / 0,07
	B2	1,56	<b>1,56</b> / 1,32	1,49	<b>1,49</b> / 1,25	0,78	<b>0,78</b> / 0,66	0,08	<b>0,08</b> / 0,07

## 6. 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, em especial da região sul atlântica. Para ultrapassar este problema foram utilizados estudos desenvolvidos em actuais zonas semi-áridas (ex.: Walid, 2009) ou em zonas de actual clima mediterrânico de outras regiões do planeta, opção que poderá não reflectir cabalmente as 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 também controladas pelas concentrações de CO<sub>2</sub> atmosférico; é disto exemplo o caso das plantas do grupo C4, que melhoram a sua eficiência hídrica em condições de subida das concentrações de CO<sub>2</sub> atmosférico. Naturalmente, as alterações climáticas promoverão uma modificação dos calendários agrícolas, nalguns casos podendo potenciar mais do que uma colheita e deste modo podendo exigir aumentos dos consumos hídricos mesmo para culturas que de per si tenham uma melhor eficiência hídrica, pois terá de se alimentar não um mas dois ciclos vegetativos. Também será expectável uma alteração das culturas exploradas e/ou das técnicas de irrigação. Ora dada a grande incerteza no que se refere a estes aspectos em termos da sua evolução ao longo do século XX, optou-se por considerar que os calendários agrícolas, tipos de culturas e métodos de irrigação se manterão similares ao longo de todo o século XXI, o que quase certamente não corresponderá à futura realidade. Assim, as projecções dos consumos apresentadas devem ser consideradas como os valores mínimos de variação dos consumos, em especial para o caso dos cenários que consideram reduções de área agrícola.

No que se refere às projecções da carga poluente na lagoa, partiu-se do pressuposto de que as alterações na lagoa manterão de algum modo o equilíbrio actual com o oceano. Na realidade isto é pouco provável – excepto se em caso de forte intervenção humana no sentido de manter esse equilíbrio – dado que se estimam subidas do nível do mar entre 1,8 mm/ano (série temporal 1920-1990; Antunes e Taborda, 2009) e 2,6 mm/ano (Antunes et al., 2010) e um aumento da intensidade e da frequência das tempestades (Antunes, 2011), o que terá efeitos na erosão do litoral, galgamento do cordão litoral por parte do oceano e regime de abertura da lagoa ao mar. Deste modo não só o volume de água que sai da lagoa, como o que entre nela a partir do oceano se modificará, modificando-se os volumes da lagoa, as suas condições químicas e de taxa de remoção dos poluentes e quiçá mesmo, a evolução deste ecossistema lagunar para um

mais claramente marinho, situação que a verificar-se implicará uma alteração substancial das interacções com as águas continentais que actualmente se verificam e para as quais a análise foi realizada.

Os resultados desta metodologia no que se refere aos consumos indicam que haverá um agravamento da actual situação com aumentos das taxas de exploração tanto dos recursos hídricos superficiais como subterrâneos, com a única excepção do cenário IS92a na situação de redução da área agrícola e manutenção das necessidades hídricas (ao nível actual) dos arrozais. Na situação mais provável – alteração das necessidades hídricas e área agrícola – projecta-se um aumento das taxas de exploração que pode ser ligeiro no caso do cenário IS92a a mais do dobro das taxas actuais, alcançando os 80% no caso do cenário A2; para estas condições prevê-se também uma subida, embora moderada, da taxa de exploração dos recursos hídricos superficiais. A situação mais desfavorável prevê-se para o caso da variação das necessidades hídrica e manutenção das áreas agrícolas, prevendo-se um consumo superior às capacidades de abastecimento do aquífero no caso do cenário A2 (taxa de exploração = 120%) e uma duplicação das actuais taxas de exploração, mesmo no cenário mais favorável (IS92a); nestas condições a subida das taxas de exploração do meio hídrico superficial, embora não tão gravosas, são também significativamente acentuadas. A condição pouco viável de manutenção das actuais necessidades hídricas e das áreas agrícolas prevê também uma situação de sobreexploração do aquífero no cenário A2 (taxa de exploração = 104%), estando esta taxa acima dos 50% nos restantes cenários. A situação mais favorável corresponde à pouco provável manutenção das necessidades hídricas e redução da área agrícola em que as taxas de exploração do aquífero só quase duplicam face às actuais para os cenários A2 e B2, prevendo-se mesmo um leve decréscimo para o cenário IS92a; para as taxas de exploração do recurso hídrico superficial a previsão aponta para taxas de exploração similares às actuais. Deste modo a situação mais gravosa, com potencial sobreexploração do aquífero ocorre para as condições de alteração das necessidades hídricas – se as culturas não sejam favorecidas por uma melhor eficiência hídrica sob aumento do teor de CO<sub>2</sub> atmosférico – e manutenção das áreas agrícolas. A situação mais provável – alteração das necessidades hídricas e áreas agrícolas – é também uma situação de potencial risco dado que para os cenários A2 e B2 as taxas de exploração se situam entre os 70 e 80%.

No que se refere à evolução das concentrações de nitratos, e admitindo que estes não sofrem degradação nem retenção durante o seu percurso ao longo do aquífero, conclui-se que, mesmo considerando as reduções de área agrícola previstas para os cenários de alterações climáticas, tende a ocorrer um aumento da carga poluente ao longo do tempo, devido sobretudo às cargas poluentes já em trânsito no aquífero, excepto na situação de manutenção artificial do volume de água na lagoa, e sobretudo no caso em que as cargas poluentes de origem subterrânea não alcançam a lagoa (cenários de emissões A2 e B2). Com efeito a alteração das descargas subterrâneas terá um impacto muito importante na qualidade das águas da lagoa. Assim, para os cenários A2 e B2, em que se considerou que a recarga não é suficiente para manter os níveis freáticos a cotas que permitam a descarga para a rede hidrográfica e lagoa de Melides, projecta-se uma grande redução da concentração de nitratos, que nunca ultrapassa os 3 mg/l mesmo no cenário de não remoção dos poluentes (não abertura da lagoa ao oceano).

Para o cenário IS92a onde se considerou que a recarga apenas permite uma descarga de 80% do valor actual, a variação da concentração de nitratos é pouco significativa face aos valores actuais, na generalidade das evoluções de volume da lagoa, desde que a taxa de remoção dos poluentes seja inferior a 50%; cima destas taxas de remoção, as descidas na concentração são já muito significativas. É previsto mesmo um aumento da concentração face aos valores previstos para 2015 no caso de manutenção das áreas agrícolas e não remoção/muito reduzida remoção da poluição chegada à lagoa (não abertura ao oceano) sob este cenário IS92a; este aumento é



especialmente significativo quando se projecta uma redução do volume da lagoa quer por alteração dos volumes de escoamento superficial, quer por manutenção artificial da proporção de água descarregado da lagoa para o oceano.

A situação mais favorável (menor concentração de poluentes) é a de manutenção artificial do volume da lagoa ao nível dos volumes actuais. A situação mais desfavorável ocorrerá nas condições manutenção da proporção de descarga, em condições de anos com muito baixo escoamento superficial e descarga do aquífero o que em consequência originará uma muito reduzida saída de água da lagoa (< 5% de remoção de poluentes). A situação mais provável (Quadro 11) mostra uma redução da carga poluente em todas as situações de redução da área agrícola, com especial destaque nas condições em que a remoção de carga da lagoa se torna superior a 50%.

Assim a evolução da carga poluente na lagoa está fortemente condicionada por:

- Descargas do aquífero – cenários climáticos sem descargas do aquífero (cenários A2 e B2) têm sempre cargas poluentes projectadas significativamente inferiores às actuais.
- Condições de remoção da carga poluente da lagoa, isto é, os regimes de abertura da lagoa ao oceano – as taxas de remoção  $\geq 50\%$  têm concentrações projectadas inferiores às actuais, mesmo na condição de manutenção das áreas agrícolas.
- Variação da área agrícola – mesmo sendo as concentrações calculadas resultado do somatório das cargas de origem agrícola, urbana e pecuária, a redução da área agrícola implica sempre uma redução da carga poluente, com excepção dos cenários A2 e B2 onde esta redução é muito pouco significativa a não existente
- Variação do volume da lagoa – a situação mais favorável ocorre no caso de manutenção artificial do volume da lagoa aos níveis actuais (Quadro 9) e a mais desfavorável se se mantiver a proporção de descarga similar à actual (Quadro 10).

Nos 3 cenários de variação do volume da lagoa (Quadros 9, 10 e 11) a situação mais desfavorável é a do cenário IS92a, remoção muito reduzida ou não remoção dos poluentes da lagoa e área agrícola constante, sendo que neste caso a concentração de nitratos é sempre superior à calculada para as condições actuais. No caso da variação (redução do volume da lagoa) as cargas poluentes serão superiores às actuais, quer haja ou não redução da área agrícola, se as taxas de remoção não ultrapassarem os 5% e se verificar o cenário IS92a. No caso da manutenção artificial da lagoa só se projecta um aumento da concentração no caso de não abertura desta ao oceano e manutenção da área agrícola.

Para as condições mais prováveis – variação do volume da lagoa sem manutenção da proporção de descarga (Quadro 11) e taxas de remoção  $\geq 50\%$  – e apesar das cargas poluentes em trânsito, e que por essa razão não reflectem integralmente esta redução da área agrícola, a concentração de nitratos é sempre prevista como inferior às actuais.

### **Bibliografia:**

<http://www.co2science.org/subject/b/summaries/biodivc3vsc4.php> - CO2 Science: Biodiversity (C3 vs C4 Plants) – acedido a 12 Março 2013.

Antunes, C., Taborda, R. (2009). *Sea Level at Cascais Tide Gauge: Data, Analysis and Results*. Journal of Coastal Research, Vol. especial nº 56, pp.218-222.

Antunes, C., Taborda, R., Mendes, V.B. (2010). Analysis of the Most Recent Data of Cascais Tide Gauge. Geophysical Research Abstracts, Vol. 12, EGU General Assembly 2010.

- Antunes, C. (2011). *Monitoring Sea Level Change at Cascais Tide Gauge*. Journal of Coastal Research, Vol. especial nº 64, pp.870-874.
- 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, Vol. 7, pp. 149-159.
- Henriques, M.J., Martins, T.A. (2012). *Água, Ecossistemas Aquáticos e Actividade Humana – Projecto PROWATERMAN. Ensaios Laboratoriais em Amostras de Solos para a Caracterização de Parâmetros Hidráulicos e de Transporte de Solutos*. Nota Técnica 05/2012/DHA. Lisboa, LNEC, pp. 18.
- Howden, S.M., Turnpenney, 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. pp. 8.
- Lourenço, N., Machado, C.R., Vilhena, J., Pires, A., Rodrigues, L., Norberto, S., Esteves, L. (2011). *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 5 - Drinking Water and Irrigation: Competition Over a Scarce Resource*. Barcarena, Universidade Atlântica, pp. 50 (versão draft).
- 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*. Barcarena, Universidade Atlântica, pp. 103.
- 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*. Artigo submetido ao 11º SILUSBA “A Cooperação para a Água”, 20 a 23 de Maio de 2013, Maputo, Moçambique e apresentado ao 9º Seminário das Águas Subterrâneas, APRH; Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Campus da Caparica, 7 e 8 Março, 2013, pp. 21.
- 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. Vol. 5, pp. 597-603.
- Novo, M.E. (2010). *Água, Ecossistemas Aquáticos e Actividade Humana – Projecto PROWATERMAN. Primeiro relatório Temático – Caracterização Geológica e Hidrogeológica das Áreas de Estudo do Alentejo e Algarve*. Lisboa, LNEC, Relatório 285/2012-NAS, pp. 90.
- Novo, M.E., Oliveira, L. (2013a). *Análise da Vulnerabilidade e do Risco à Poluição em Bacias Hidrográficas Costeiras de Pequena Dimensão e com Ecossistemas Dependentes de Águas Subterrâneas. (caso de estudo: Melides)*, 12 pp.
- Novo, M.E., Oliveira, L. (2013b). *Avaliação das Cargas Poluentes e seu Impacto na Lagoa de Melides*, pp. 21 (**in press**).
- Novo, M.E., Oliveira, M.M., Oliveira, L., Martins, T. (2013c). *Impacto das Alterações Climáticas em Ecossistemas Costeiros Dependentes de Águas Subterrâneas. Caso de estudo: Melides*, 16 pp (**in press**).
- Novo, M.E., Oliveira, L., Lobo Ferreira, J.P. (2013d). *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 /2012-NAS, pp. 258 (**in press**).
- Novo, M.E., Lourenço, N., Machado, C.R. (2013e). *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*, pp. 16 (**in press**).
- 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*. Lisboa, LNEC, Relatório 291/2011-NAS, pp. 94.

Oliveira, L., Novo, M.E., 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*. Lisboa, LNEC, Relatório 182/2011-NAS, pp. 30.

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*. Lisboa, LNEC, Relatório 153/2012-NAS. pp. 44.

Oliveira, M.M. (2006). *Recarga de Águas Subterrâneas: Métodos de Avaliação*. Teses e Programas de Investigação – TPI 42, ISBN 972-49-2093-3, Editora LNEC, 2006.

Oliveira, M.M. (2004). *Recarga de Águas Subterrâneas: Métodos de Avaliação*. Doutoramento em Geologia (Hidrogeologia), Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Geologia, pp. 440.

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*, Vol. 114, pp. 57-68. In: <http://www.pik-potsdam.de/ateam>.

Santos, F.D. e Miranda, P. (2006). *Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação*. Projecto SIAM II. Lisboa, Editora Gradiva, pp. 505.

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*, Vol. 93, pp. 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, pp. 873–883.

Walid, A. (2009). *Assessment of Climate Changes on Water Resources in Kingdom of Saudi Arabia*. [http://portal.worldwaterforum5.org/wwf5/en-us/worldregions/MENA%20Arab%20region/Consultation%20Library/Climate%20Change%20\\_Saudi%20Arabia.doc](http://portal.worldwaterforum5.org/wwf5/en-us/worldregions/MENA%20Arab%20region/Consultation%20Library/Climate%20Change%20_Saudi%20Arabia.doc) – acedido em Maio 2012.