



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE  
Núcleo de Águas Subterrâneas

Proc. 0607/14/17372

## **ÁGUA, ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS E ATIVIDADE HUMANA – PROJETO PROWATERMAN**

**Referência do projeto n.º PTDC/AAC-AMB/105061/2008**

**Contributos para o desenvolvimento de medidas para uma gestão  
sustentável dos recursos hídricos no Sul de Portugal**

Lisboa • junho de 2012

**I&D** HIDRÁULICA E AMBIENTE

**RELATÓRIO 153/2012 – DHA/NAS**

**Financiamento**

**FCT** Fundação para a Ciência e a Tecnologia

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR

## **ÁGUA, ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS E ACTIVIDADE HUMANA – PROJECTO PROWATERMAN**

**Referência do projeto n.º PTDC/AAC-AMB/105061/2008**

**Contributos para o desenvolvimento de medidas para uma gestão sustentável dos recursos hídricos no sul de Portugal**

### **Resumo**

O presente relatório relata o efeito das alterações climáticas no balanço hídrico dos casos em estudo do projeto, análises de risco desenvolvidas para os dois casos em estudo – risco à poluição em Melides e risco de impacte de secas no sistema aquífero Querença-Silves – e a descrição do modelo matemático desenvolvido para o caso de estudo de Melides.

## **WATER, AQUATIC ECOSYSTEMS AND HUMAN ACTIVITY – PROJECT PROWATERMAN**

**Contributions to the development of measures for sustainable management of water resources in southern Portugal**

### **Abstract**

The present report describes the effect of the climate changes on the water balance in the two project case-studies, two risk analysis developed for the case-studies – the risk of pollution in Melides and the risk of drought impact in Querença-Silves aquifer system – and the description of the mathematical model developed for the case study of Melides.

## **EAU, ECOSYSTEMES AQUATIQUES ET ACTIVITÉ HUMAINE – PROJET PROWATERMAN**

**Contributions pour l'élaboration des mesures de gestion durable des ressources en eau dans le sud du Portugal**

### **Sommaire**

Ce rapport décrit l'effet du changement climatique sur le bilan hydrique des études de cas, analyse des risque mis au point pour les deux études de cas – le risque de pollution Melides et risque d'impact de la sécheresse dans le système aquifère Querença-Silves – et la description du modèle mathématique développé pour l'étude de cas de Melides.

## ÍNDICE DO TEXTO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ANÁLISE DO IMPACTE DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NO BALANÇO HÍDRICO NOS CASOS EM ESTUDO</b>	<b>4</b>
2.1	INTRODUÇÃO	4
2.2	MODIFICAÇÃO DAS SÉRIES DE PRECIPITAÇÃO	4
2.3	MODIFICAÇÃO DAS SÉRIES DE TEMPERATURA	5
2.4	MODIFICAÇÃO DA SÉRIE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA	6
2.5	CASO DE ESTUDO DO ALGARVE	7
2.6	CASO DE ESTUDO DE MELIDES	12
<b>3</b>	<b>ANÁLISE DO RISCO À POLUIÇÃO E DO RISCO ÀS SECAS</b>	<b>16</b>
3.1	ENQUADRAMENTO DO TEMA	16
3.1.1	ANÁLISE DE RISCO À POLUIÇÃO PELA AGRICULTURA	16
3.1.2	ANÁLISE DE RISCO À SECA	16
3.2	CASO DE ESTUDO DO ALGARVE	17
3.2.1	ENQUADRAMENTO À METODOLOGIA	17
3.2.2	ANÁLISE PERCENTUAL	18
3.2.3	RELAÇÃO ENTRE A PRECIPITAÇÃO ANUAL E A RECARGA NATURAL ANUAL NO SISTEMA AQUÍFERO QUERENÇA-SILVES	20
3.2.4	RELAÇÃO ENTRE A PRECIPITAÇÃO ANUAL E A EXTRAÇÃO NO SISTEMA AQUÍFERO QUERENÇA-SILVES	21
3.2.5	RELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS DO BALANÇO HÍDRICO NO SISTEMA AQUÍFERO QUERENÇA-SILVES	23
3.2.6	ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS	25
3.2.7	ANÁLISE DE RISCO NOS CENÁRIOS DE AUMENTO DE ÁREA AGRÍCOLA	25
3.2.8	PRESSUPOSTOS E QUESTÕES CRÍTICAS DA ANÁLISE DE RISCO APRESENTADA	26
3.3	ANÁLISE DE RISCO EM MELIDES	27
3.3.1	METODOLOGIA USGS DO ÍNDICE DA ZONA VADOSA - CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DO RISCO DE POLUIÇÃO	27
3.3.2	RESULTADOS	31
<b>4</b>	<b>MODELAÇÃO MATEMÁTICA DO CASO DE ESTUDO DE MELIDES</b>	<b>34</b>
4.1	OBJETIVOS DA MODELAÇÃO E CONSIDERAÇÕES GERAIS	34
4.2	LIMITES/ESTRUTURA DOS MODELOS MATEMÁTICOS	34
4.3	DADOS DE ENTRADA	36
4.3.1	DADOS GERAIS DE ENTRADA	36
4.3.2	REGA	37
4.4	RESULTADOS	39
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS / CONCLUSÕES</b>	<b>41</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>43</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Caso de estudo em Melides.....	2
Figura 2 – Caso de estudo no Algarve.....	2
Figura 3 – Representação gráfica da precipitação anual no caso de estudo no Algarve (estação udográfica de São Bartolomeu de Messines (30H/03UG)).....	5
Figura 4 – Recarga natural média anual em cenários de alterações climáticas (mm/ano) para o caso de estudo do sistema aquífero de Querença–Silves – modelo HadRM2, IS92a.....	8
Figura 5 – Recarga natural média anual em cenários de alterações climáticas (mm/ano) para o caso de estudo do sistema aquífero de Querença–Silves – modelo HadRM3, SRES A2.....	9
Figura 6 – Recarga natural média anual em cenários de alterações climáticas (mm/ano) para o caso de estudo do sistema aquífero de Querença–Silves – modelo HadRM3, SRES B2.....	9
Figura 7 – Escoamento direto médio anual em cenários de alterações climáticas (mm/ano) para o caso de estudo da bacia hidrográfica de Odelouca – modelo HadRM2, IS92a.....	10
Figura 8 – Escoamento direto médio anual em cenários de alterações climáticas (mm/ano) para o caso de estudo da bacia hidrográfica de Odelouca – modelo HadRM3, SRES A2.....	11
Figura 9 – Escoamento direto médio anual em cenários de alterações climáticas (mm/ano) para o caso de estudo da bacia hidrográfica de Odelouca – modelo HadRM3, SRES B2.....	11
Figura 10 – Recarga natural média anual (mm/ano) em cenários de alterações climáticas para o caso de estudo de Melides – modelo HadRM2, IS92a.....	13
Figura 11 – Recarga natural média anual (mm/ano) em cenários de alterações climáticas para o caso de estudo de Melides – modelo HadRM3, SRES A2.....	14
Figura 12 – Recarga natural média anual (mm/ano) em cenários de alterações climáticas para o caso de estudo de Melides – modelo HadRM3, SRES B2.....	14
Figura 13 – Relação entre a precipitação anual e a recarga natural anual no sistema aquífero Querença-Silves.....	20
Figura 14 – Relação entre os parâmetros do balanço hídrico no sistema aquífero Querença-Silves....	24
Figura 15 – Distribuição espacial do parâmetro “condutância vertical” no caso de estudo de Melides..	31
Figura 16 – Distribuição espacial do parâmetro “declive da superfície do terreno” no caso de estudo de Melides.....	32
Figura 17 – Distribuição espacial do parâmetro “cobertura de solo” no caso de estudo de Melides.....	32
Figura 18 – Distribuição espacial do parâmetro “uso de solo” no caso de estudo de Melides.....	33
Figura 19 – Mapa final do risco à poluição no caso de estudo de Melides, segundo o método USGS do índice da zona vadosa.....	33
Figura 20 – Malha do modelo do caso de estudo de Melides.....	35
Figura 21 – Modelo digital de terreno do caso em estudo de Melides (imagem TIN oblíqua e com exagero de 10 vezes).....	35
Figura 22 – Distribuição espacial da condutividade hidráulica horizontal.....	36
Figura 23 – Nível piezométrico do caso de estudo de Melides da campanha de 9 a 10 de maio de 2011 .....	37
Figura 24 – Resultado final do modelo de verão do caso de estudo de Melides – Mapa piezométrico e pontos de calibração.....	40

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Variação de precipitação em diferentes cenários de alterações climáticas.....	5
Quadro 2 – Variações de temperatura em diferentes cenários de alterações climáticas.....	6
Quadro 3 – Quadro síntese com os valores – atuais e com cenários de alterações climáticas – de recarga natural e de escoamento direto para o caso de estudo do sistema aquífero Querença-Silves. Comparação entre os valores médios atuais e os valores médios previstos com alterações climáticas.....	10
Quadro 4 – Quadro síntese com os valores – atuais e com cenários de alterações climáticas - de recarga natural, de escoamento direto, de escoamento de base e do escoamento total para o caso de estudo da bacia hidrográfica de Odelouca (mm/ano) .....	12
Quadro 5 – Comparação entre os valores médios atuais e os valores médios previstos com alterações climáticas para o caso de estudo da bacia hidrográfica de Odelouca .....	12
Quadro 6 – Quadro síntese com os valores – atuais e com cenários de alterações climáticas – de recarga natural e de escoamento direto para o caso de estudo de Melides. Comparação entre os valores médios atuais e os valores médios previstos com alterações climáticas .....	15
Quadro 7 – Classificação dos últimos 30 anos hidrológicos em São Bartolomeu de Messines segundo o Método dos Decis .....	19
Quadro 8 – Limites superiores das classes de seca – Precipitação e recarga natural no sistema aquífero Querença-Silves .....	20
Quadro 9 – Extração conhecida do sistema aquífero Querença-Silves – diferentes usos.....	21
Quadro 10 – Necessidades de água por tipo de cultura existentes no sistema aquífero Querença-Silves (em mm) .....	22
Quadro 11 – Precipitação para um ano médio na estação udográfica de São Bartolomeu de Messines (em mm) .....	22
Quadro 12 – Necessidades de irrigação no sistema aquífero Querença-Silves considerando um ano médio (em mm).....	22
Quadro 13 – Necessidade de irrigação para as culturas existentes no sistema aquífero Querença-Silves e para um ano médio (precipitação anual igual a 644 mm/ano) .....	22
Quadro 14 – Balanço hídrico e consequente análise de risco de incumprimento em cenários de alterações climáticas no sistema aquífero Querença-Silves.....	25
Quadro 15 – Análise à previsão para 2030 das necessidades hídricas por cultura no sistema aquífero Querença-Silves .....	26
Quadro 16 – Ponderação dos parâmetros do índice da zona vadosa .....	28
Quadro 17 – Valores de atribuição do parâmetro “condutância vertical” do índice da zona vadosa.....	28
Quadro 18 – Valores de atribuição do parâmetro “declive da superfície do terreno” do índice da zona vadosa .....	29
Quadro 19 – Valores de atribuição do parâmetro “cobertura do solo” do índice da zona vadosa.....	29
Quadro 20 – Valores de atribuição do parâmetro “uso do solo” do índice da zona vadosa .....	30
Quadro 21 – Evapotranspiração de referência em três estações meteorológicas do Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Oeste e em três regimes de precipitação (mm/ano).....	38
Quadro 22 – Necessidades hídricas por cultura na zona abrangida pela estação meteorológica de Sintra (Granja) (mm/ano).....	38
Quadro 23 – Eficiência de referência de diferentes tipos de rega.....	39
Quadro 24 – Tabela resumo com os valores de “recarga artificial” associado a cada tipo de cultura agrícola.....	39

# ÁGUA, ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS E ACTIVIDADE HUMANA – PROJECTO PROWATERMAN

## Referência do projeto n.º PTDC/AAC-AMB/105061/2008

### Contributos para o desenvolvimento de medidas para uma gestão sustentável dos recursos hídricos no sul de Portugal

## 1 Introdução

O projeto PROWATERMAN, em desenvolvimento no sul de Portugal tem a participação das seguintes instituições: Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Universidade do Algarve (UAlg), Universidade Atlântica (UAtla) e Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FFC/FC/UL).

Sendo um projeto que visa a integração de várias matérias da gestão de recursos hídricos, apresenta os seguintes objetivos principais:

- ◆ Analisar e compreender as dimensões ambientais, socioeconómicas e institucionais da sustentabilidade da água para garantir a qualidade deste recurso e aumentar a eficiência e equidade do seu uso, através de uma abordagem integrada da gestão dos recursos hídricos.
- ◆ Definir estratégias locais inovadoras para a gestão sustentável da água.
- ◆ Formular um conjunto de orientações de boas práticas para a conservação da qualidade e quantidade da água.

Neste projeto, além das tarefas de coordenação, o LNEC desenvolve atividade no âmbito da Tarefa 3 – Disponibilidades hídricas e vulnerabilidade, realizando os seguintes estudos:

- ◆ Estimativa da recarga de aquíferos utilizando o modelo BALSEQ\_MOD (balanço hídrico sequencial diário), fazendo a integração de informação cartográfica relativa a: precipitação, evapotranspiração potencial, uso do solo, solos.
- ◆ Mapeamento das disponibilidades hídricas e qualidade da água.
- ◆ Definição de potenciais origens de água alternativas para recarga artificial, incluindo a determinação das áreas mais apropriadas para a recarga artificial – índice GABA-IFI.
- ◆ Produção de mapas de vulnerabilidade e análise de risco.
- ◆ Mapeamento das disponibilidades hídricas considerando as alterações climáticas.
- ◆ Proposta de recomendações de gestão e proteção dos recursos hídricos com base nos resultados obtidos no âmbito desta tarefa.

Como analisado em relatórios anteriores existem duas zonas em estudo no sul de Portugal: bacia hidrográfica da ribeira de Melides (cf. Figura 1) no Alentejo e a zona central do Algarve, que inclui a bacia hidrográfica do Arade e o sistema aquífero Querença-Silves (cf. Figura 2).

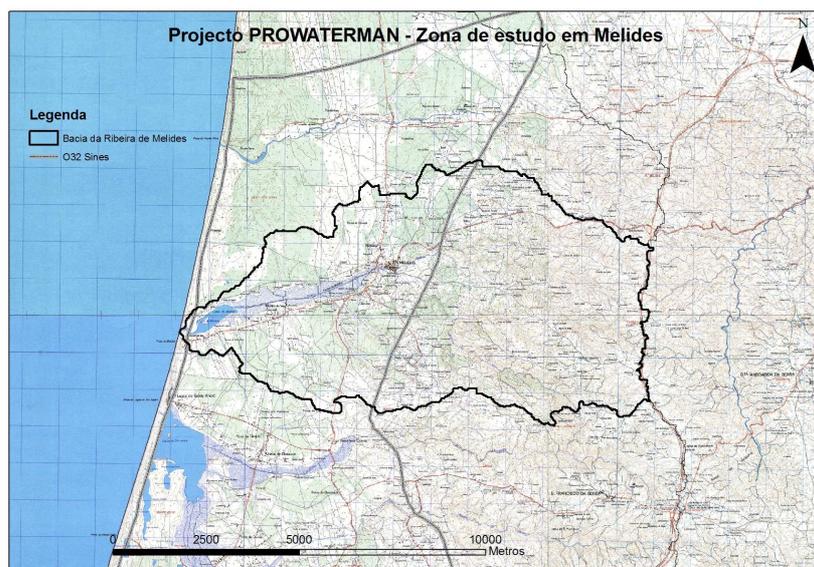


Figura 1 – Caso de estudo em Melides

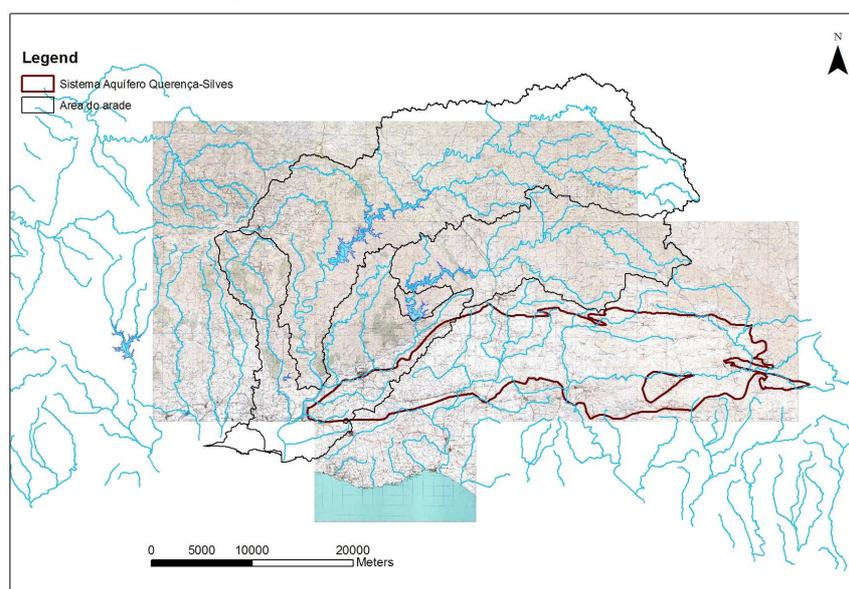


Figura 2 – Caso de estudo no Algarve

De um modo geral, os objetivos principais para cada zona de estudo são:

- Para o Algarve: Analisar de forma integrada a possibilidade de aplicação de recarga artificial no sistema aquífero Querença-Silves com o intuito de diminuir o risco de impacte de secas no Algarve.
- Para Melides: Desenvolver um conjunto de propostas de medidas integradas que visam o melhoramento da qualidade da lagoa de Melides.

O presente relatório relata o efeito das alterações climáticas no balanço hídrico dos casos em estudo, análises de risco nos dois casos em estudo – risco à poluição em Melides e risco de impacte de secas no sistema aquífero Querença-Silves – e a descrição do modelo matemático desenvolvido para o caso de estudo de Melides.

Este relatório pretende servir de suporte principal para a conclusão dos objetivos principais do projeto pois:

1. Com a análise do impacte das alterações climáticas nos recursos hídricos obteve-se um conjunto de cenários futuros que são a base onde deverão assentar as medidas propostas;

2. As análises de risco desenvolvidas permitiram verificar a importância da aplicação de medidas nos dois casos em estudo.  
É dado especial relevo ao facto de a zona arenosa de Melides se encontrar maioritariamente em elevado risco de poluição e para o facto de, em alguns cenários de alterações climáticas, o sistema aquífero Querença-Silves apresentar risco de incumprimento devido à relação entre a extração e a recarga;
3. A modelação matemática do caso de estudo de Melides será utilizada na verificação de viabilidade das medidas de mitigação no caso em estudo.

Com o trabalho desenvolvido no presente relatório e os desenvolvimentos das outras instituições parceiras do projeto será possível alcançar os objetivos finais do projeto PROWATERMAN, nomeadamente os delineados para a última tarefa (Tarefa 7), ou seja, “Definição de diretrizes e melhores práticas que suportem a identificação de opções sobre políticas e estratégias de gestão com vista à gestão sustentável dos recursos hídricos no sul de Portugal” e “Desenvolvimento de uma estrutura, baseada num conjunto de diretrizes e num compêndio de boas práticas, realçando o conhecimento científico e tradicional sobre a conservação da qualidade e quantidade dos recursos hídricos, em particular no que respeita a: água para consumo humano, água para rega, reutilização e reciclagem da água”.

## **2 Análise do impacte das alterações climáticas no balanço hídrico nos casos em estudo**

### **2.1 Introdução**

O fenómeno das alterações climáticas é um facto cientificamente comprovado que tem afetado as condições climáticas em todo o Mundo. Os regimes de precipitação, temperatura, humidade relativa, entre outras, influenciam de forma direta a recarga natural dos sistemas aquíferos. Os parâmetros climáticos estão a ser alterados com as mudanças climáticas.

Em Portugal existem diferentes modelos que pretendem simular o efeito das alterações climáticas no País a longo prazo. Um dos projetos que pretende modelar cenários de alterações climáticas é o projeto SIAM II (Santos e Miranda, 2006).

Em Oliveira et al. (2010) apresentou-se um estado da arte sobre a modelação da recarga de aquíferos em cenário de alterações climáticas à escala regional e as relações entre as alterações climáticas, os ecossistemas e os recursos hídricos.

O presente capítulo analisa para os dois casos em estudo: no Algarve – sistema aquífero Querença-Silves e bacia hidrográfica de Odelouca – e no Alentejo – bacia hidrográfica da ribeira de Melides – o efeito das alterações climáticas ao nível da recarga natural e do escoamento direto.

Em complemento analisou-se o impacte ao nível do escoamento de base na bacia hidrográfica de Odelouca. Esta análise permite prever os futuros volumes de água afluentes à barragem de Odelouca.

O objetivo deste capítulo é definir uma base de cenários futuros, cientificamente baseados, para a aplicação das medidas de mitigação (objetivo principal e final do projeto) a propor no âmbito do projeto PROWATERMAN.

### **2.2 Modificação das séries de precipitação**

As séries de precipitação atuais foram modificadas, por estação do ano, tendo em conta três modelos do projeto SIAM II (Santos e Miranda, 2006): 1) HadRM2, IS92a, 2) HadRM3, SRES A2 e 3) HadRM3, SRES B2. Todos os três cenários modelam alterações de precipitação e de temperaturas para o horizonte de 2100.

De forma a alterar estas séries procedeu-se à subtração (ou soma, em alguns casos) do valor da variação média correspondente à estação do ano (inverno, primavera, verão e outono) a que o mês pertence. Esta variação é constante para a mesma estação do ano ao longo dos 30 anos e o seu valor corresponde ao que está previsto nos modelos climáticos. As variações de precipitação correspondentes encontram-se no Quadro 1.

Quadro 1 – Variação de precipitação em diferentes cenários de alterações climáticas

	<b>Cenário SIAM: HadRM2, IS92a</b>	<b>Cenário SIAM HadRM3, SRES A2</b>	<b>Cenário SIAM HadRM3, SRES B2</b>
Caso de estudo de Melides	Inverno: [+40%;+50%] Primavera: -20% Verão: [-70%;-85%] Outono: [-50%;-60%]	Inverno: [-20%;-30%] Primavera: [-40%;-50%] Verão: -65% Outono: [-30%;-40%]	Inverno: [-20%;-30%] Primavera: [-20%;-30%] Verão: -60% Outono: [-10%;-20%]
Caso de estudo do Algarve	Inverno: +40% Primavera: [-20%;-30%] Verão: [-70%;-85%] Outono: [-50%;-60%]	Inverno: [-30%;-40%] Primavera: -50% Verão: -65% Outono: -40%	Inverno: [-20%;-30%] Primavera: [-20%;-30%] Verão: [-30%;-40%] Outono: [-20%;-30%]

(adaptado de Santos e Miranda, 2006)

Os meses constituintes de cada estação do ano são: inverno - dezembro, janeiro, fevereiro; primavera - março, abril, maio; verão - junho, julho, agosto; outono - setembro, outubro, novembro.

A Figura 3 representa, como exemplo, os valores de precipitação anual do período recente e com os modelos de alterações climáticas, para a zona do Algarve. Os valores representados correspondem à estação udográfica de São Bartolomeu de Messines (30H/03UG).

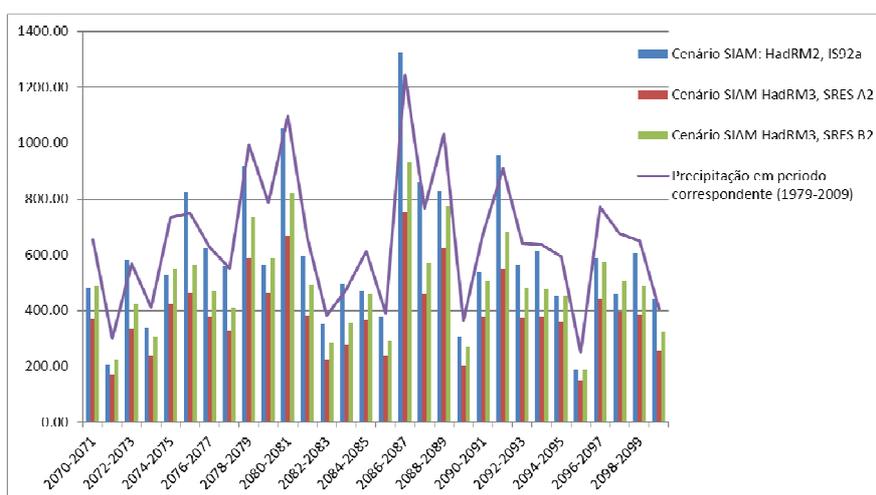


Figura 3 – Representação gráfica da precipitação anual no caso de estudo no Algarve (estação udográfica de São Bartolomeu de Messines (30H/03UG))

### 2.3 Modificação das séries de temperatura

Para o cálculo da evapotranspiração considerando os cenários de alterações climáticas é necessário alterar as séries de temperaturas máximas e mínimas mensais. De forma a alterar estas séries de temperatura procedeu-se de igual modo à metodologia utilizada para a modificação de precipitação. Neste caso, para cada estação do ano existe uma variação para a temperatura máxima e uma variação para a temperatura mínima.

Esta alteração nas temperaturas irá afetar, igualmente, a humidade relativa. As variações de temperatura por cada cenário de alterações climáticas estão apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Variações de temperatura em diferentes cenários de alterações climáticas

		<b>Cenário SIAM: HadRM2, IS92a</b>	<b>Cenário SIAM HadRM3, SRES A2</b>	<b>Cenário SIAM HadRM3, SRES B2</b>
Caso de estudo de Melides	Máxima mensal	Inverno: +4,25°C Primavera: +5,25°C Verão: +7°C Outono: +6,75°C	Inverno: +3°C Primavera: +3,5°C Verão: +3,75°C Outono: +4°C	Inverno: +2°C Primavera: +2,5°C Verão: +3,5°C Outono: +3°C
	Mínima mensal	Inverno: +5 °C Primavera: +4,75°C Verão: +6°C Outono: +5,75°C	Inverno: +3,25°C Primavera: +3°C Verão: +3°C Outono: +3°C	Inverno: +1,75°C Primavera: +2°C Verão: +2,5°C Outono: +2°C
Caso de estudo do Algarve	Máxima mensal	Inverno: +4,25°C; Primavera: +4,75°C; Verão: +5,75°C; Outono: +5,5°C	Inverno: +3°C; Primavera: +3,5°C; Verão: +3,75°C; Outono: +4°C	Inverno: +2°C; Primavera: +2,5°C; Verão: +3°C; Outono: +3°C
	Mínima mensal	Inverno: +4,75°C; Primavera: +4,5°C; Verão: +5,25°C; Outono: +5,25°C	Inverno: +3,5°C; Primavera: +3°C; Verão: +3°C; Outono: +3°C	Inverno: +2°C; Primavera: +2°C; Verão: +2,5°C; Outono: +2°C

(adaptado de Santos e Miranda, 2006)

## 2.4 Modificação da série de evapotranspiração de referência

Os dados existentes, publicados nos anuários do Instituto de Meteorologia, são a temperatura máxima média mensal (Tmax), a temperatura mínima média mensal (Tmin), a humidade relativa média (HRmed), a velocidade do vento média mensal (u), e a insolação mensal (ins). Utilizando os dados acima referidos foi possível utilizar o método FAO Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998) e estimar a evapotranspiração de referência.

Com as alterações referidas na secção anterior é possível, através da fórmula de Penman-Monteith, calcular os valores de evapotranspiração de referência em cenários de alterações climáticas. No entanto, outra variável necessária para esta fórmula é a humidade relativa que, como referido anteriormente, é igualmente afetada pela alteração das temperaturas. A humidade relativa mínima é necessária para a corrida do programa BALSEQ\_MOD.

Considerou-se que a velocidade do vento e a insolação não são modificadas com as alterações climáticas. Esta simplificação deve-se a não existirem, até à data, publicações relevantes sobre esta matéria.

Ao contrário das temperaturas mínima e máxima e da precipitação a modificação da humidade relativa com alterações climáticas foi estimada com base nalguns pressupostos. A metodologia seguida foi:

1.º - Cálculo da pressão do vapor de água ( $e_a$ ), utilizando as temperaturas e a humidade relativa média atuais, mediante a equação:

$$e_a = HR_{med} \cdot e_s \quad \text{Eq. 1}$$

em que  $HR_{med}$  é a humidade relativa média retirada dos anuários e  $e_s$  a pressão média de saturação do vapor dada pela equação:

$$e_s = \frac{e^o(T_{max}) + e^o(T_{min})}{2} \quad \text{Eq. 2}$$

sendo  $e^o(T)$  a pressão do vapor de saturação (kPa) à temperatura  $T$  (°C) dada pela seguinte equação:

$$e^o(T) = 0,6108 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot T}{T + 237,3}\right) \quad \text{Eq. 3}$$

2.º - Neste ponto assume-se que a pressão do vapor de água se manterá constante e estima-se a humidade relativa máxima e mínima com as equações:

$$HR_{\max} = \frac{e_a}{e^o(T_{\min})}; \quad HR_{\min} = \frac{e_a}{e^o(T_{\max})} \quad \text{Eq. 4}$$

3.º - De seguida deve-se recalcular a humidade relativa média ( $HR_{\text{med}^*}$ ) pela média da humidade relativa mínima com a máxima.

4.º - Verifica-se então que a humidade relativa média inicial usada não é exatamente igual à  $HR_{\text{med}^*}$  agora calculada devido à não linearidade da relação entre a humidade relativa e a temperatura. Assim, procedeu-se ao cálculo de um fator  $\text{corr}_{HR}$  fazendo a relação  $HR_{\text{med}^*} / HR_{\text{med}}$ .

5.º - No cálculo da evapotranspiração de referência no cenário de alterações climáticas vai-se considerar que a pressão do vapor de água se mantém como na série atual (o que é uma fragilidade do modelo uma vez que a quantidade de humidade do ar também variará).

6.º - Assim, obtêm-se as humidades relativas mínimas e máximas considerando as temperaturas máximas e mínimas dadas pelos cenários de alterações climáticas (Eq. 4) e o  $e_a$  calculado anteriormente, tendo em atenção o comentário referido em 5.º.

7.º - Calcula-se a humidade relativa média a partir das humidades relativas calculadas em 6º e corrige-se esta humidade relativa média multiplicando-a pelo fator  $\text{corr}_{HR}$  obtido em 4º para, de alguma forma, corrigir a não linearidade da variação da humidade relativa com a temperatura.

8.º - O novo valor da humidade relativa média determinado para o cenário de alterações climáticas é utilizado para estimar a humidade relativa mínima necessária ao cálculo do modelo BALSEQ\_MOD, rearranjando e resolvendo em ordem a  $HR_{\min}$  as Eq. 4, Eq. 2 e Eq. 1 :

$$HR_{\min} = \frac{\frac{e^o(T_{\max}) + e^o(T_{\min})}{2}}{e^o(T_{\max})} \cdot HR_{\text{med}} \quad \text{Eq. 5}$$

Com os novos valores de humidade relativa e de temperatura, e mantendo as restantes variáveis da equação de Penman-Monteith constantes calcularam-se as séries de evapotranspiração de referência em cenários de alterações climáticas.

## 2.5 Caso de estudo do Algarve

Aplicando os novos valores de evapotranspiração de referência, de humidade relativa e de precipitação foi possível obter novos valores de recarga natural e de escoamento direto em cenários de alterações climáticas utilizando o programa BALSEQ\_MOD, de balanço hídrico sequencial diário a nível do solo.

No caso do Algarve aplicou-se a análise do impacte das alterações climáticas ao sistema aquífero Querença-Silves e à bacia hidrográfica da ribeira de Odelouca. Esta escolha deve-se ao facto da grande importância que estas duas massas de águas têm no objetivo final do caso de estudo do

Algarve. No caso do Querença-Silves este é o sistema aquífero onde se pretende aplicar recarga artificial e, logo, é necessário entender de que forma as alterações climáticas irão afetar a recarga natural e, de que forma, a técnica de recarga artificial fará sentido. No caso de Odelouca pretende-se utilizar a água da albufeira como origem para a recarga artificial e, logo, dever-se-á entender de que forma as alterações climáticas afetarão o escoamento que afluí à barragem e, dessa forma, afetarão a possível origem de água para recarga artificial.

Nas duas massas de água em estudo no Algarve modificaram-se os valores necessários para a evapotranspiração da mesma estação meteorológica, ou seja, estação da Praia da Rocha. No caso da precipitação, as modificações (e consequente utilização no programa BALSEQ\_MOD) ocorreram para estações udométricas diferentes: a) para o aquífero Querença-Silves utilizou-se a estação udométrica de São Bartolomeu de Messines (30H/03UG) e b) para a bacia da ribeira de Odelouca modificou-se os valores da estação udométrica de Alferce (30G/01UG). De notar que os valores de evapotranspiração de referência e os valores de precipitação, agora modificados com os modelos de alterações climáticas, são os que foram utilizados em Oliveira *et al.* (2011).

Após corrida do modelo BALSEQ\_MOD com as devidas alterações expostas nas secções anteriores, obtiveram-se os seguintes resultados de recarga natural para o sistema aquífero Querença-Silves: a) a Figura 4 representa a aplicação do modelo HadRM2, IS92a; 2) a Figura 5 representa a aplicação do modelo HadRM3, SRES A2 e 3) a Figura 6 representa a aplicação do modelo HadRM3 SRES B2.

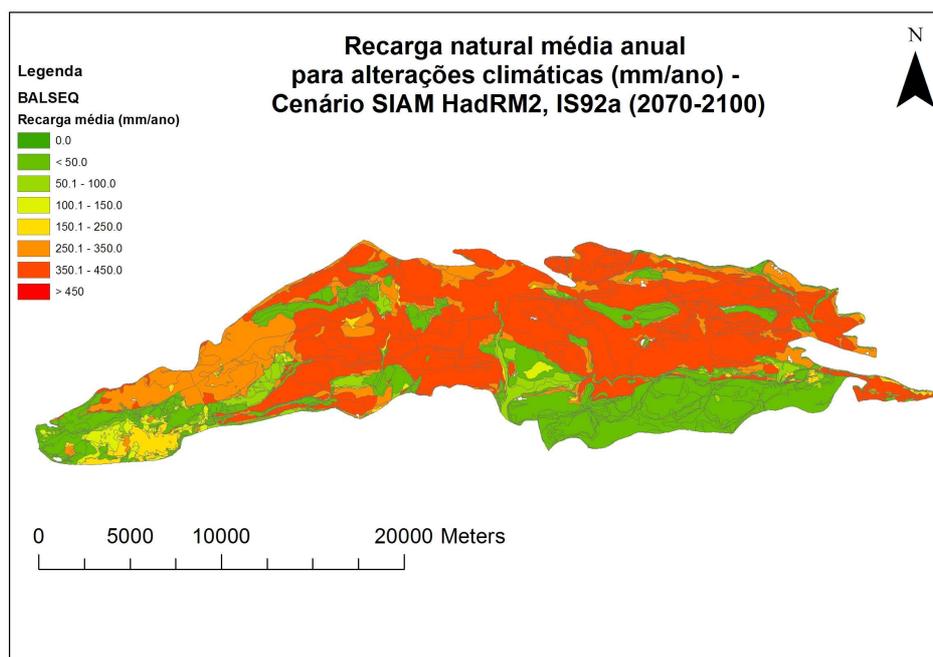


Figura 4 – Recarga natural média anual em cenários de alterações climáticas (mm/ano) para o caso de estudo do sistema aquífero de Querença–Silves – modelo HadRM2, IS92a

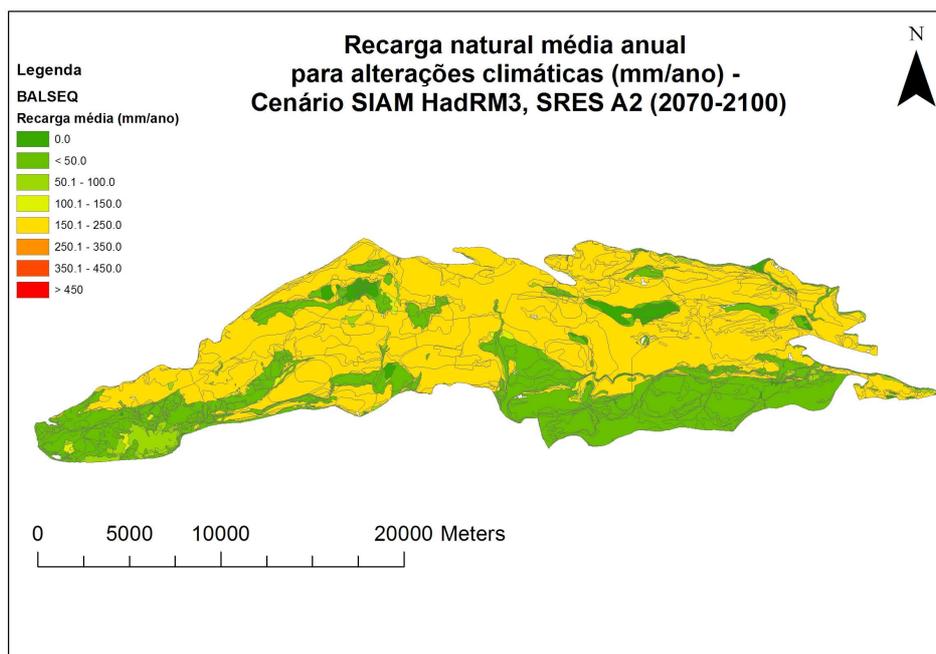


Figura 5 – Recarga natural média anual em cenários de alterações climáticas (mm/ano) para o caso de estudo do sistema aquífero de Querença–Silves – modelo HadRM3, SRES A2

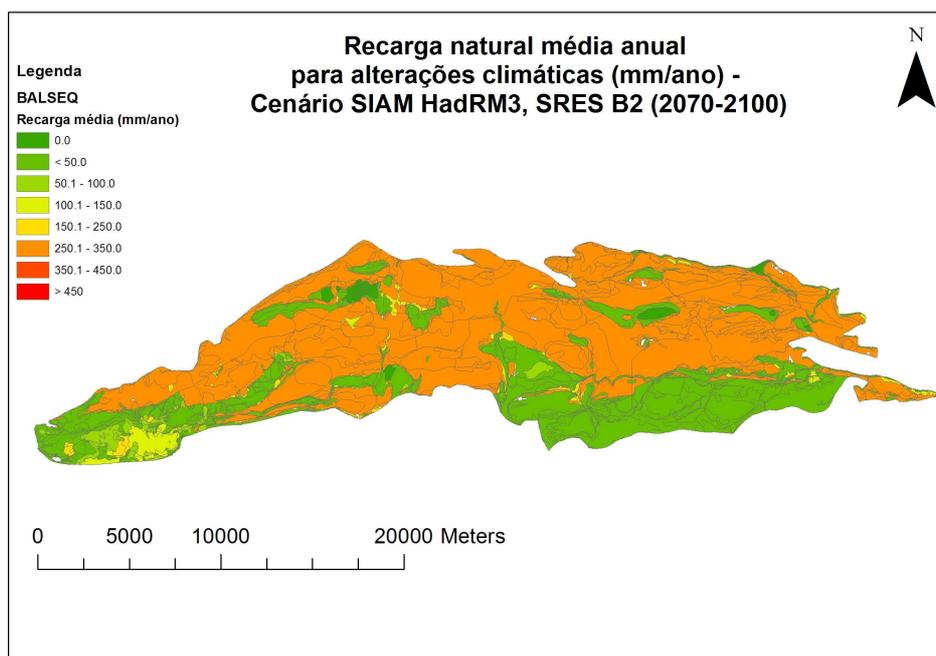


Figura 6 – Recarga natural média anual em cenários de alterações climáticas (mm/ano) para o caso de estudo do sistema aquífero de Querença–Silves – modelo HadRM3, SRES B2

O Quadro 3 apresenta os valores integrados de recarga natural média anual (mm/ano) e de escoamento direto médio anual (mm/ano) para o caso de cenários de alterações climáticas para o sistema aquífero Querença–Silves. Nesse mesmo quadro é apresentada uma análise percentual verificando-se que o cenário com o modelo HadRM2, IS92a apresenta uma previsão menos “gravosa” e o modelo HadRM3, SRES A2 apresenta, por oposição, uma previsão mais “gravosa”, prevendo-se que a recarga e o escoamento direto diminuirão para cerca de metade dos valores atuais.

Quadro 3 – Quadro síntese com os valores – atuais e com cenários de alterações climáticas – de recarga natural e de escoamento direto para o caso de estudo do sistema aquífero Querença–Silves. Comparação entre os valores médios atuais e os valores médios previstos com alterações climáticas

Período	Escoamento Direto (mm/ano)	Recarga natural (mm/ano)	Porcentagem do valor atual	
			Escoamento Direto	Recarga
1979-2009	115	294	--	--
Cenário SIAM HadRM2, IS92a (2070-2100)	100	245	87,6%	83,4%
Cenário SIAM HadRM3, SRES A2 (2070-2100)	59	136	51,4%	46,2%
Cenário SIAM HadRM3, SRES B2 (2070-2100)	79	186	68,9%	63,3%

Os resultados do escoamento direto obtidos para bacia hidrográfica a montante da albufeira de Odelouca são os seguintes: a) a Figura 7 representa a aplicação do modelo HadRM2, IS92a; 2) a Figura 8 representa a aplicação do modelo HadRM3, SRES A2 e 3) a Figura 9 representa a aplicação do modelo HadRM3 SRES B2.

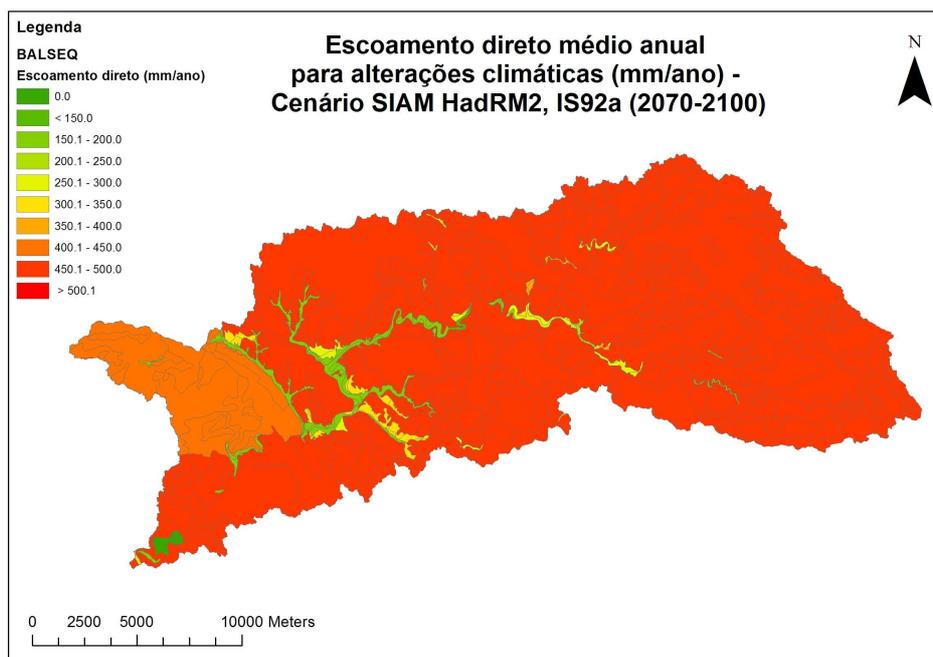


Figura 7 – Escoamento direto médio anual em cenários de alterações climáticas (mm/ano) para o caso de estudo da bacia hidrográfica de Odelouca – modelo HadRM2, IS92a

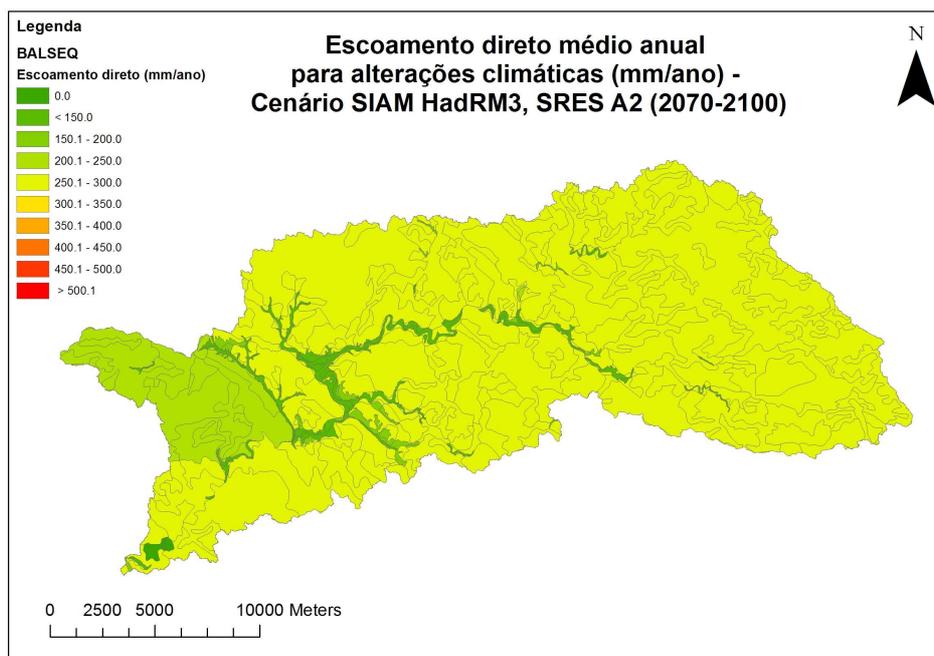


Figura 8 – Escoamento direto médio anual em cenários de alterações climáticas (mm/ano) para o caso de estudo da bacia hidrográfica de Odelouca – modelo HadRM3, SRES A2

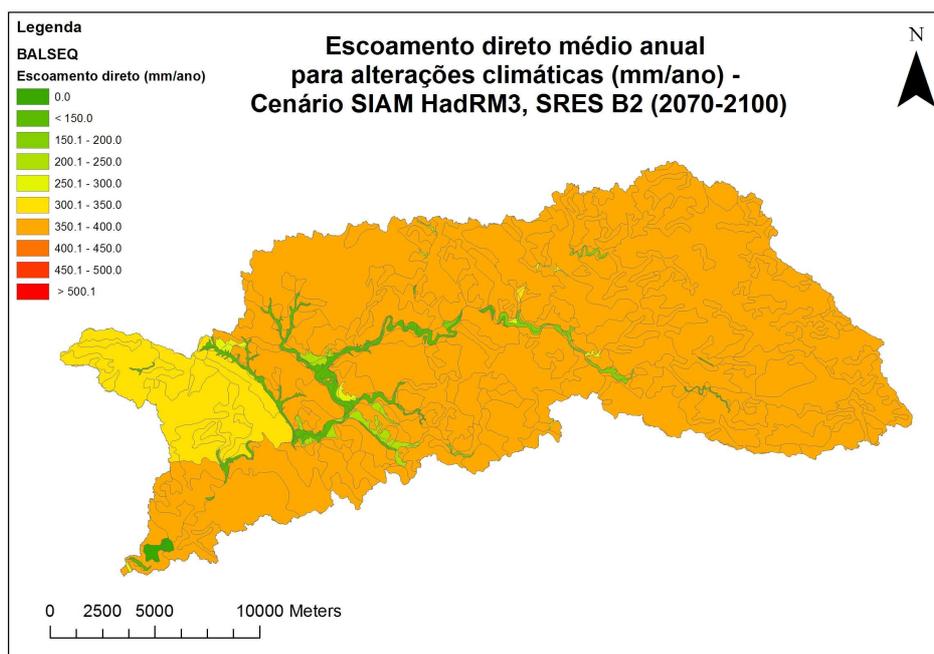


Figura 9 – Escoamento direto médio anual em cenários de alterações climáticas (mm/ano) para o caso de estudo da bacia hidrográfica de Odelouca – modelo HadRM3, SRES B2

No caso da bacia hidrográfica da barragem de Odelouca, para além da análise do escoamento direto e da recarga natural com utilização do modelo BALSEQ\_MOD, procedeu-se à análise do escoamento de base. Esta análise utilizou como base de referência o trabalho de Oliveira (2006).

Em Oliveira (2006) analisou-se, utilizando o método de decomposição de hidrogramas, a relação entre a precipitação e o escoamento de base na estação de Monte Pachecos (30G01), que corresponde à

análise a montante da albufeira da atual barragem de Odelouca. Neste caso a relação é dada pela equação:

$$E_b = 0,1185P - 39,641 \quad \text{Eq. 6}$$

Em que a  $E_b$  corresponde ao escoamento de base em mm e  $P$  corresponde à precipitação na bacia hidrográfica em estudo, em mm.

O Quadro 4 apresenta os valores médios anuais (em mm/ano) para o escoamento direto, escoamento de base (utilizando os valores de precipitação para a estação de Alferes), o escoamento total (que resulta da soma do escoamento direto com o escoamento de base) e a recarga natural para um período recente (1979-2009) e para os três modelos de alterações climáticas. Os dados de escoamento direto e de recarga natural são os obtidos pelo programa BALSEQ\_MOD. Os dados de escoamento de base foram obtidos substituindo a precipitação média estimada para cada cenário de alterações climáticas na equação 6.

Quadro 4 – Quadro síntese com os valores – atuais e com cenários de alterações climáticas - de recarga natural, de escoamento direto, de escoamento de base e do escoamento total para o caso de estudo da bacia hidrográfica de Odelouca (mm/ano)

Período	Escoamento Direto ( $E_d$ )	Escoamento de base ( $E_b$ )	Escoamento Total ( $E_d + E_b$ )	Recarga natural
1979-2009	520	61	581	59
Cenário SIAM: HadRM2, IS92a	467	52	519	44
Cenário SIAM HadRM3, SRES A2	278	19	298	22
Cenário SIAM HadRM3, SRES B2	367	36	403	32

O Quadro 5 representa uma análise percentual comparativa do efeito das alterações climáticas em cada modelo, ou seja, representa a percentagem de cada processo (escoamento, etc.) face aos valores atuais. Também neste quadro se verifica uma diminuição maior no modelo HadRM3, SRES A2 e uma diminuição menor no modelo HadRM2, IS92a.

Quadro 5 – Comparação entre os valores médios atuais e os valores médios previstos com alterações climáticas para o caso de estudo da bacia hidrográfica de Odelouca

Modelo	Escoamento direto	Escoamento de base	Escoamento total ( $E_b + E_d$ )	Recarga
Cenário SIAM: HadRM2, IS92a	89,9%	85,6%	89,4%	73,9%
Cenário SIAM HadRM3, SRES A2	53,5%	32,5%	51,3%	36,9%
Cenário SIAM HadRM3, SRES B2	70,7%	58,7%	69,4%	54,4%

## 2.6 Caso de estudo de Melides

No caso de estudo de Melides a análise do impacte das alterações climáticas apresenta como objetivo principal a utilização dos resultados obtidos como base para a análise de cenários futuros.

Dessa forma correu-se o modelo BALSEQ\_MOD para os dados alterados (pelos modelos de alterações climáticas) da estação meteorológica de Alcácer do Sal e os dados alterados da estação udométrica fictícia criada a partir dos dados dos postos udométricos de Grândola (24F/01C), de Comporta (23E/01C) e Sines, desenvolvida em Oliveira *et al.* (2011). Obtiveram-se os seguintes resultados para a recarga natural do caso de estudo de Melides: a) a Figura 10 representa a aplicação do modelo HadRM2, IS92a; 2) a Figura 11 representa a aplicação do modelo HadRM3, SRES A2 e 3) a Figura 12 representa a aplicação do modelo HadRM3, SRES B2.

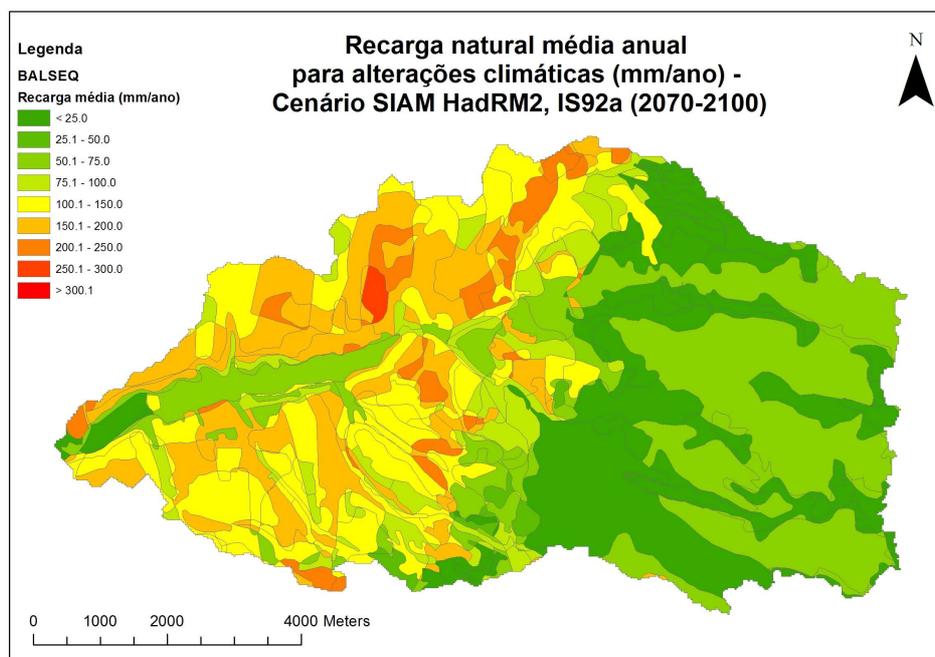


Figura 10 – Recarga natural média anual (mm/ano) em cenários de alterações climáticas para o caso de estudo de Melides – modelo HadRM2, IS92a

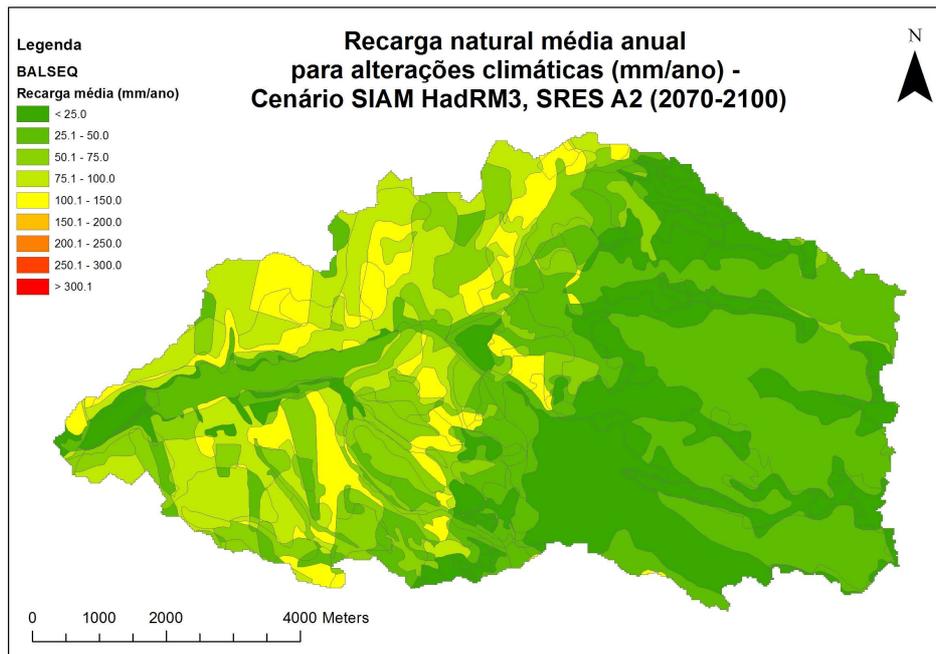


Figura 11 – Recarga natural média anual (mm/ano) em cenários de alterações climáticas para o caso de estudo de Melides – modelo HadRM3, SRES A2

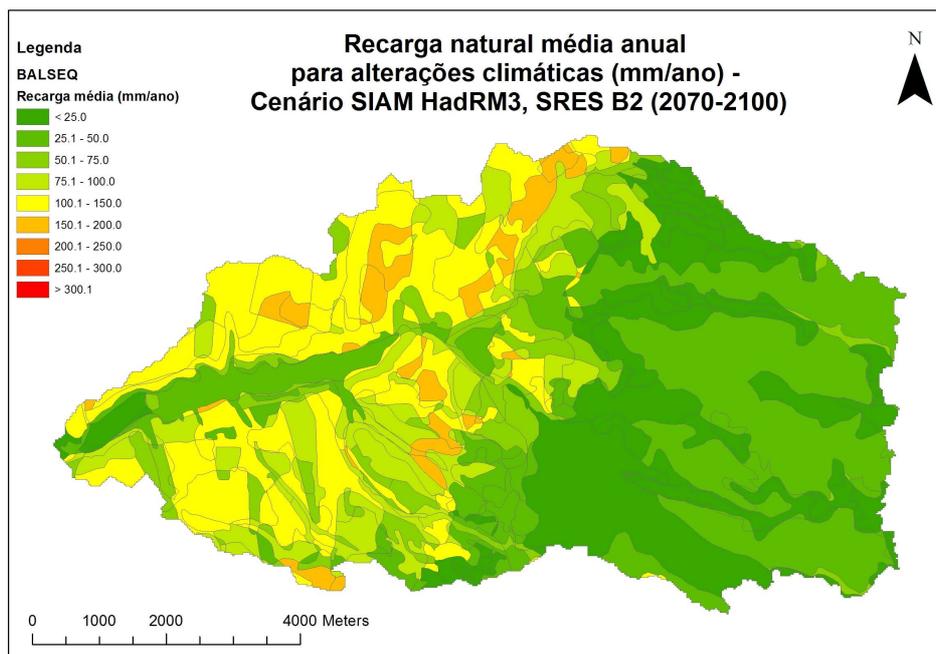


Figura 12 – Recarga natural média anual (mm/ano) em cenários de alterações climáticas para o caso de estudo de Melides – modelo HadRM3, SRES B2

O Quadro 6 apresenta os valores integrados de recarga natural média anual (mm/ano) e de escoamento direto médio anual (mm/ano) para cenários de alterações climáticas para o caso de estudo de Melides. Igualmente nesse quadro estão apresentados os valores percentuais face ao período recente de 1979-2009.

Quadro 6 – Quadro síntese com os valores – atuais e com cenários de alterações climáticas – de recarga natural e de escoamento direto para o caso de estudo de Melides. Comparação entre os valores médios atuais e os valores médios previstos com alterações climáticas

Modelo	Escoamento Direto (mm/ano)	Recarga natural (mm/ano)	Percentagem do valor atual	
			Escoamento Direto	Recarga
1979-2009	199	119	--	--
Cenário SIAM: HadRM2, IS92a	179	88	89,8%	73,7%
Cenário SIAM HadRM3, SRES A2	114	47	57,5%	39,9%
Cenário SIAM HadRM3, SRES B2	142	64	71,5%	53,6%

### **3 Análise do risco à poluição e do risco às secas**

#### **3.1 Enquadramento do tema**

O risco, na sua definição, é entendido como a conjugação da probabilidade de acontecer um determinado problema com a vulnerabilidade de algo ser mais, ou menos, afetado por esse problema. Ou seja, algo está mais em risco se apresentar uma elevada vulnerabilidade ao problema ou se esse problema ocorrer muitas vezes.

No caso de hidrologia (e, conseqüentemente, hidrogeologia) é possível analisar, por exemplo, o impacto de uma determinada poluição nos recursos hídricos ou o impacto de uma seca numa massa de água.

##### **3.1.1 Análise de risco à poluição pela agricultura**

Segundo Lobo Ferreira *et al.* (2009) o risco de poluição depende da vulnerabilidade mas também da existência de cargas poluentes significativas que possam entrar para o meio hídrico subterrâneo, ou seja, é um conceito mais abrangente e dinâmico que engloba a vulnerabilidade e a existência de focos de poluição. É possível existir um aquífero com alto índice de vulnerabilidade mas sem risco de poluição, caso não haja carga poluente significativa ou de haver um risco de poluição excepcional apesar do índice de vulnerabilidade ser baixo.

Os métodos para caracterização do risco podem ser de previsão ou de resposta. Os métodos de previsão podem caracterizar o risco por dois processos, um que considera o cálculo, em separado, da vulnerabilidade e da carga poluente e outro que acopla a carga poluente e as características intrínsecas do meio. Os métodos de resposta usam a composição da água subterrânea para afirmar se determinada área em análise tem boas ou más condições de preservação das características atuais da qualidade da água, i.e. que o risco é baixo ou que o risco é elevado.

Nos métodos de previsão, para além do tempo de percurso, interessam as propriedades relacionadas com a circulação do poluente no meio, como sejam as propriedades de retardamento do meio, a carga poluente e a perigosidade do poluente.

O risco pode ser definido em relação a uma captação ou conjunto de captações de águas subterrâneas, ou pode ser definido em relação à totalidade de uma massa de água subterrânea. Existem inúmeros métodos de análise da vulnerabilidade de um sistema aquífero à poluição, entre estes está o conhecido método DRASTIC (Aller *et al.*, 1987), o método SINTACS (Civita *et al.*, 1990) ou o método GOD (Foster, 1987).

Estes métodos permitem analisar as características intrínsecas do meio geológico, solo ou sistema aquífero que indicarão se este vai ser mais ou menos afetado pela poluição. De forma a ter uma análise de risco, onde é considerada a carga poluente, é necessário considerar outro tipo de método como a metodologia USGS (Eimers *et al.*, 2000).

##### **3.1.2 Análise de risco à seca**

A seca é, por definição, o evento natural que corresponde a valores baixos de precipitação comparativamente com valores normais ou padrão.

A análise de risco à seca deverá ser feita tendo em conta o impacto que esta poderá ter na massa de água, neste caso, na massa de água subterrânea.

Um aquífero apresenta um balanço hídrico equilibrado se, num determinado período (por exemplo, 10 anos), apresentar volumes de entrada (recarga natural, fluxos naturais de entrada, relação com água superficial, etc.) aproximadamente iguais aos volumes de saída (extração por captação, fluxos naturais de saída, etc.). Quando esses dois volumes não estão equilibrados e existe mais saída, por culpa das captações, do que entradas então o aquífero considera-se em sobreexploração.

Assim, a análise de risco às secas prende-se com dois aspetos: a) a probabilidade de ocorrência de seca na zona e b) o impacto que as secas têm no balanço hídrico.

## **3.2 Caso de estudo do Algarve**

### **3.2.1 Enquadramento à metodologia**

No caso de estudo do Algarve analisou-se o risco do impacto das secas no sistema aquífero Querença-Silves.

De forma a se proceder a esta análise seguiu-se a seguinte metodologia:

- a) Através do Método dos Decis (Gibbs e Maher, 1967), e utilizando o período de referência de 1930 até 2009, analisaram-se os últimos 30 anos hidrológicos e classificaram-se os anos de “secos”, “normais” ou “húmidos”. Com esta classificação, foi possível analisar a frequência de ocorrência de secas;
- b) Graficamente representou-se a relação entre a precipitação e a recarga natural do sistema aquífero (valores obtidos com o programa BALSEQ\_MOD);
- c) Analisou-se, percentualmente, o tipo de culturas agrícolas mais presentes no sistema aquífero e as necessidades de água mensais dessas culturas;
- d) Compararam-se as necessidades de água mensais de cada cultura com a precipitação mensal obtendo-se as dotações de rega por mês e por cultura (tendo-se desprezado neste cálculo o armazenamento de água no solo). Com os valores obtidos, o valor de área regável de cada cultura e somando todos os meses obteve-se as necessidades de rega anuais;
- e) Aplicando a metodologia referida em d) para os últimos 30 anos hidrológicos obteve-se, graficamente, uma relação entre as extrações totais no sistema aquífero Querença-Silves e a precipitação em São Bartolomeu de Messines;
- f) Segundo o ponto 3 do Artigo 7º da Portaria n.º 1115/2009, de 29 de Setembro, é considerado “o bom estado quantitativo de uma massa de água subterrânea” “quando a taxa média anual de captações a longo prazo existentes na massa de água subterrânea for inferior a 90 % da recarga média anual a longo prazo da mesma massa de água”. Considerando esta legislação traçou-se graficamente a linha de relação de 90% da recarga anual registada nos últimos 30 anos com a precipitação;
- g) Na mesma Portaria (ponto 4 do Artigo 7º) é referido que o critério anterior “deve ser anualmente revisto, e pode ser alterado para massas de água subterrâneas específicas, em função das características hidrogeológicas dessas massas de água”. Dessa forma, representou-se também graficamente a relação entre 70% e 50% da recarga anual no sistema aquífero Querença-Silves e a precipitação anual;
- h) Com base nos procedimentos descritos nas alíneas e), f) e g) foi possível analisar de forma integrada como a disponibilidade de água do sistema aquífero Querença-Silves poderá ser mais ou menos afetada pela precipitação anual (não considerando nesta análise a capacidade de armazenamento subterrâneo do sistema);

- i) Utilizando a metodologia de d) (que relaciona os valores de precipitação mensal com a necessidade mensal de água por cultura) verificou-se, com os resultados obtidos no capítulo 2, qual o impacto a longo prazo que as alterações climáticas poderão ter no sistema aquífero Querença-Silves;
- j) Utilizando a análise desenvolvida em Lourenço *et al.* (2011) verificou-se que impacto teria a alteração na ocupação de solo (horizonte de 2030) no balanço hídrico do sistema aquífero Querença-Silves.

Alguns aspetos a considerar na análise efetuada são: a) a recarga natural é diretamente influenciada pela precipitação, ou seja, quanto maior a precipitação maior a recarga natural e vice-versa, b) a diminuição da precipitação implica um aumento da extração visto que a agricultura necessita de mais água de rega, c) a agricultura é o sector no país que mais consome água subterrânea.

Considerou-se, como complemento, uma secção dedicada a uma análise crítica à metodologia aqui aplicada ao sistema aquífero Querença-Silves.

### 3.2.2 Análise percentual

O Método do Decis permite definir um índice de seca que utiliza a distribuição empírica através dos decis de ocorrência de precipitação. Assim, um ano é considerado extremamente seco quando a sua precipitação é ultrapassada em 90% dos anos de um período de referência (Decil 1), é considerado muito seco quando a precipitação é ultrapassada em 80% dos anos de um período de referência (Decil 2) e é considerado seco se ultrapassado em 70% dos anos (Decil 3). Do lado oposto da escala, quando a precipitação de um ano ultrapassa a precipitação de 70 % dos anos (Decil 7), está-se na presença de um ano húmido, quando ultrapassa 80 % dos anos (Decil 8), está-se perante um ano muito húmido e quando ultrapassa 90 % dos casos de precipitação (Decil 9), está-se perante um ano extremamente húmido. As precipitações entre o Decil 3 e o Decil 7 correspondem a um ano normal.

Desta forma, para a estação udométrica de São Bartolomeu de Messines e para o período de referência de 1930/1931 a 2008/2009, obtiveram-se os seguintes intervalos para os anos com precipitação inferior à dos anos normais: a) ano seco, precipitação entre 500 mm/ano e 557 mm/ano, b) ano muito seco, precipitação entre 394 mm/ano e 500 mm/ano e c) ano extremamente seco, precipitação inferior a 394 mm/ano.

Analisando a estação de São Bartolomeu de Messines para o período de 1979/1980 a 2008/2009 (últimos 30 anos hidrológicos) com o Método dos Decis obteve-se o Quadro 7.

Quadro 7 – Classificação dos últimos 30 anos hidrológicos em São Bartolomeu de Messines segundo o Método dos Decis

Ano hidrológico	Classificação (Método Decis)
1979/1980	Normal
1980/1981	Extremamente seco
1981/1982	Normal
1982/1983	Muito seco
1983/1984	Normal
1984/1985	Normal
1985/1986	Normal
1986/1987	Seco
1987/1988	Muito húmido
1988/1989	Húmido
1989/1990	Extremamente húmido
1990/1991	Normal
1991/1992	Extremamente seco
1992/1993	Muito seco
1993/1994	Normal
1994/1995	Extremamente seco
1995/1996	Extremamente húmido
1996/1997	Normal
1997/1998	Extremamente húmido
1998/1999	Extremamente seco
1999/2000	Normal
2000/2001	Muito húmido
2001/2002	Normal
2002/2003	Normal
2003/2004	Normal
2004/2005	Extremamente seco
2005/2006	Normal
2006/2007	Normal
2007/2008	Normal
2008/2009	Muito seco

Segundo o Quadro 7, e em termos percentuais para os últimos 30 anos, verificou-se a existência de 3,3 % de anos secos, 10,0 % de anos muito secos e 16,7 % de anos extremamente secos.

Se tivermos em conta uma análise a dois anos verifica-se que apenas uma vez, nos últimos 30 anos, ocorreu uma sequência de dois anos com precipitação inferior à dos anos normais, neste caso, corresponde aos anos 1991/1992 (ano extremamente seco) e ao ano 1992/1993 (ano muito seco).

Das sequências analisadas a mais seca foi a de cinco anos de 1990/1991 até 1994/1995, que começou com um ano normal seguido de um ano extremamente seco, seguido de um ano muito seco, um ano normal e, de novo, um ano extremamente seco.

O ano hidrológico mais seco foi o ano de 2004/2005 com uma precipitação de 249 mm. De referir que um ano hidrológico médio corresponde a 643 mm/ano.

### 3.2.3 Relação entre a precipitação anual e a recarga natural anual no sistema aquífero Querença-Silves

A Figura 13 relaciona os valores anuais de precipitação dos últimos 30 anos hidrológicos (mm/ano) com os valores de recarga natural associada (mm/ano), obtidos com o programa BALSEQ\_MOD (apresentados em Oliveira *et al.*, 2011).

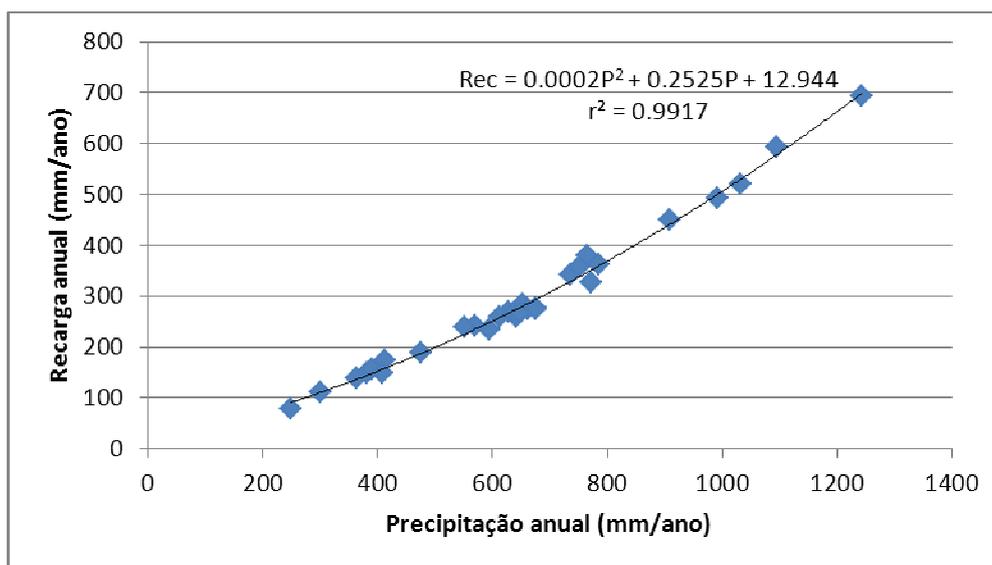


Figura 13 – Relação entre a precipitação anual e a recarga natural anual no sistema aquífero Querença-Silves

É possível analisar no gráfico da Figura 13 que o valor de recarga anual máxima foi de 694 mm, correspondente a uma precipitação anual de 1244 mm ocorrida no ano hidrológico de 1995/1996. A recarga mínima ocorreu na seca extrema de 2004/2005 com um valor de 79 mm e que corresponde a 249 mm de precipitação.

Tendo em conta os intervalos definidos na seção 3.2.2 e a Figura 13, é possível definir as classes de intervalos para a recarga natural no sistema aquífero Querença-Silves em períodos de seca. O Quadro 8 define os limites superiores (precipitação máxima e recarga natural máxima) dos anos em regime de seca.

Quadro 8 – Limites superiores das classes de seca – Precipitação e recarga natural no sistema aquífero Querença-Silves

Ano	Precipitação máxima (mm/ano)	Recarga natural máxima (mm/ano)
Extremamente seco	394	143
Muito seco	500	189
Seco	557	216

Os valores de recarga natural registados no Quadro 8 e apresentados na Figura 13 correspondem a valores que excluem outras contribuições como a recarga proveniente de excedentes de rega e

campos de golfe e a recarga por linhas de água influentes. Segundo o atual Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas das Ribeiras do Algarve (PGBH Ribeiras do Algarve, 2011) o primeiro termo é 0,02% da recarga total do aquífero e o segundo termo é 16,66 % do total da recarga total do Querença-Silves. Dessa forma, a recarga induzida pela rega e campos de golfe será ignorada. De realçar que o estudo da recarga alóctone do Querença-Silves, ou seja, da recarga a partir de linhas de água influentes que nascem fora do sistema aquífero e interseitam o aquífero está a ser desenvolvido no âmbito do projeto, tendo Salvador *et al.* (2012) apresentado alguns resultados no 11º Congresso da Água.

### 3.2.4 Relação entre a precipitação anual e a extração no sistema aquífero Querença-Silves

Em relação à captação de água, o atual PGBH das Ribeiras do Algarve (2011) aponta dois valores, um valor de extração conhecida (licenciada e legal) na ordem de 27,77 hm<sup>3</sup>/ano e uma extração estimada na ordem de 44,17 hm<sup>3</sup>/ano. Esta discrepância de valores indica que existe um elevado desconhecimento sobre qual o real valor de água extraída no sistema aquífero mais importante do Algarve.

Em relação aos diferentes usos da água extraída o Quadro 9 (retirado do PGBH das Ribeiras do Algarve, 2011) sintetiza os valores conhecidos em 2009 em m<sup>3</sup>/ano e a sua relação percentual com a extração total.

Quadro 9 – Extração conhecida do sistema aquífero Querença-Silves – diferentes usos

	<b>Extração conhecida (m<sup>3</sup>/ano)</b>	<b>Percentagem</b>
<b>Total</b>	<b>27 774 900</b>	100%
Rega	10 730 000	38,6%
Consumo humano + Rega	2 500 800	9,0%
Consumo humano + Lazer + Rega	35 000	0,1%
Lazer + Rega	187 000	0,7%
Rega + Atividade industrial	42 500	0,1%
Restantes	14 279 600	51,4%

(retirado do PGBH das Ribeiras do Algarve, 2011)

Verifica-se no Quadro 9 que o volume de extração correspondente aos sectores que não incluem a agricultura é de 14,28 hm<sup>3</sup>/ano.

Nunes *et al.* (2006) apresentaram as necessidades de água e calcularam as áreas ocupadas de três tipos de culturas existentes no sistema aquífero Querença-Silves. Segundo este trabalho, o sistema aquífero está coberto essencialmente por citrinos, culturas de primavera e culturas de verão. Este artigo identificou que o sistema aquífero Querença-Silves apresenta 2920 ha de citrinos, 170 ha de culturas de primavera e uma área de 560 ha de culturas de verão.

O Quadro 10 representa as necessidades mensais de água para cada cultura (citrinos, culturas de primavera e culturas de verão) na área do sistema aquífero Querença-Silves e considerando as condições médias de evapotranspiração da região em causa.

Quadro 10 – Necessidades de água por tipo de cultura existentes no sistema aquífero Querença-Silves (em mm)

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Anual
<b>Citrinos</b>	50,38	50,38	64,33	72,85	85,25	93,78	100,75	95,33	79,83	62,00	55,80	49,60	860,28
<b>Culturas de primavera</b>	41,60	41,60	53,12	60,16	70,40	77,40	83,20	78,72	65,92	51,20	46,08	40,96	710,36
<b>Culturas de verão</b>	51,35	51,35	65,57	74,26	86,90	95,59	102,70	97,17	81,37	63,20	56,88	50,56	876,90

(retirado de Nunes *et al.*, 2006)

O Quadro 11 representa a precipitação mensal e anual para um ano médio em São Bartolomeu de Messines.

Quadro 11 – Precipitação para um ano médio na estação udográfica de São Bartolomeu de Messines (em mm)

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Anual
<b>Precipitação (mm)</b>	79	65	51	64	34	7	2	4	28	84	112	122	654

Considerando as necessidades mensais de água de uma cultura (cf. Quadro 10) e os valores mensais médios de precipitação da estação de São Bartolomeu de Messines (cf. Quadro 11) é possível estimar o valor de rega necessário para cada mês e para cada cultura. Num ano médio as necessidades de rega nas três culturas identificadas são as que se representam no Quadro 12. Note-se que no balanço hídrico simplificado que se apresenta não se considerou o armazenamento de água no solo.

Quadro 12 – Necessidades de irrigação no sistema aquífero Querença-Silves considerando um ano médio (em mm)

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Anual
Citrinos	0,00	0,00	13,24	8,72	51,50	86,78	98,52	90,97	51,59	0,00	0,00	0,00	401,33
Culturas de primavera	0,00	0,00	2,03	0,00	36,65	70,40	80,97	74,36	37,68	0,00	0,00	0,00	302,10
Culturas de verão	0,00	0,00	14,48	10,13	53,15	88,59	100,47	92,81	53,13	0,00	0,00	0,00	412,77

Os valores do Quadro 12 foram obtidos pela diferença entre a precipitação mensal e as necessidades mensais de água de cada cultura. Verifica-se no Quadro 12 que nos meses de janeiro, fevereiro, outubro, novembro e dezembro as culturas não necessitam de água de rega visto que a precipitação média mensal é superior às necessidades de água das culturas. Se se tivesse considerado o armazenamento de água no solo haveria ainda um período de dois ou três meses (março-abril ou março-maio) durante o qual não haveria necessidade de água de rega.

O Quadro 13 representa os volumes de água necessários para rega para as culturas identificadas no sistema aquífero Querença-Silves, em ano médio.

Quadro 13 – Necessidade de irrigação para as culturas existentes no sistema aquífero Querença-Silves e para um ano médio (precipitação anual igual a 644 mm/ano)

	Rega anual (mm/ano)	Área (ha)	Volume para rega (hm <sup>3</sup> /ano)
<b>Citrinos</b>	401	2920	11,72
<b>Culturas de primavera</b>	302	170	0,51
<b>Culturas de verão</b>	412	560	2,31
<b>Total</b>	--	3650	14,54

Considerando que a extração média de água para outros sectores diferentes da agricultura é 14,28 hm<sup>3</sup>/ano (fonte: PGBH das Ribeiras do Algarve, 2011) e que, aproximadamente, 100% da água utilizada em irrigação no sistema aquífero Querença-Silves provém de captações de água subterrânea, é possível estimar o valor de extração de água subterrânea para um ano médio.

Somando o valor de 14,28 hm<sup>3</sup>/ano (correspondente à extração de água para outros sectores, e.g., indústria, consumo humano) obtém-se um valor final de extração de água subterrânea de 28,82 hm<sup>3</sup>/ano.

O valor estimado é ligeiramente superior ao valor de extrações conhecidas no sistema aquífero Querença-Silves e é inferior ao volume estimado no PGBH das Ribeiras do Algarve (2011).

### **3.2.5 Relação entre os parâmetros do balanço hídrico no sistema aquífero Querença-Silves**

A presente secção tem o objetivo de, utilizando as relações obtidas nas secções 3.2.3 e 3.2.4, apresentar uma análise integrada que permita verificar qual o impacto da precipitação no sistema aquífero. Esta análise é representada graficamente e permite verificar quais os valores de precipitação anual para os quais a massa de água em estudo se encontraria em risco quantitativo (segundo a Portaria n.º 1115/ 2009, de 29 de Setembro), se em vez de se considerar a média a longo prazo se considerasse os valores anuais individualmente.

Sabendo que o sistema aquífero Querença-Silves apresenta uma área de recarga de 318,3 km<sup>2</sup> é possível converter o gráfico da Figura 13 expresso em altura de água (mm/ano) em valores expressos em volume de água (hm<sup>3</sup>/ano). A esses volumes obtidos somar-se-á 16,6 % referente à recarga alóctone.

Em relação à extração aplicou-se ao período de 1979/1980 a 2008/2009 (últimos 30 anos hidrológicos) a metodologia seguida na secção 3.2.4 permitindo a obtenção dos volumes de água extraída nesses anos.

O gráfico final que relaciona os diferentes parâmetros do balanço hídrico no sistema aquífero Querença-Silves encontra-se representado na Figura 14.

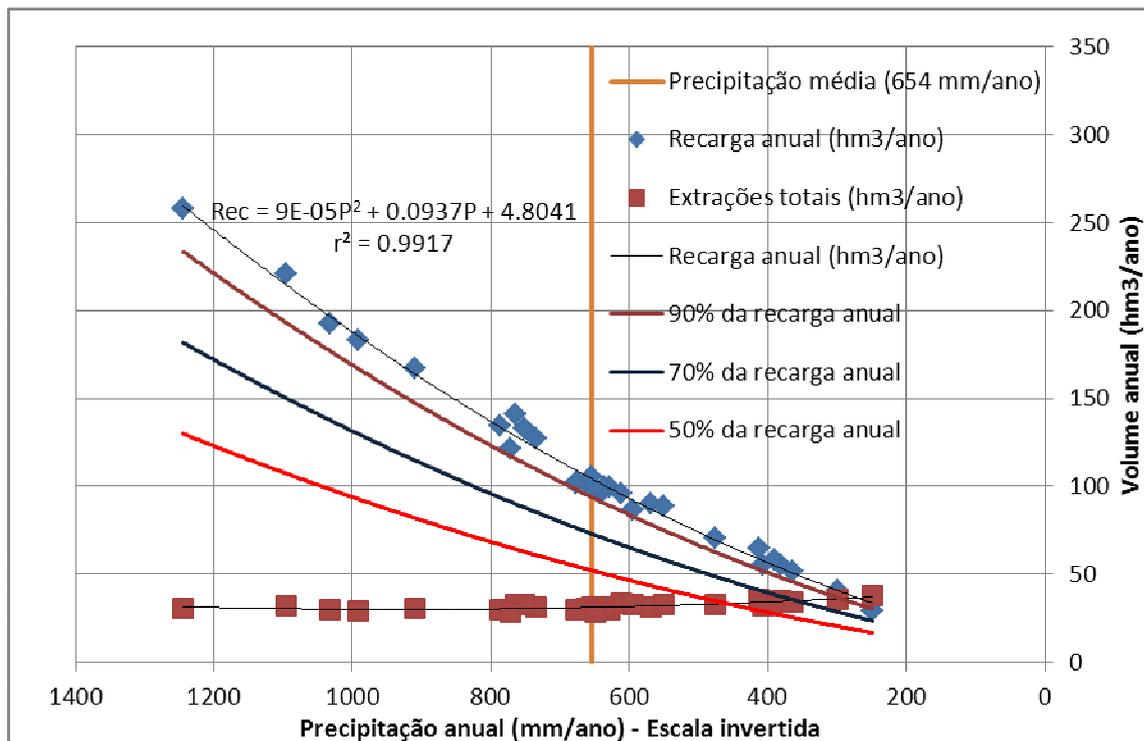


Figura 14 – Relação entre os parâmetros do balanço hídrico no sistema aquífero Querença-Silves

Na Figura 14 encontram-se igualmente representadas as linhas de tendência que correlacionam a recarga natural, 90% da recarga natural (valor de cariz legislativo), 70% da recarga natural e 50% da recarga natural com a precipitação.

Verifica-se na Figura 14 que, no sistema aquífero Querença-Silves, para a precipitação média anual (654 mm/ano), a extração média anual é muito inferior a 90% da recarga média anual. Esta constatação indica que segundo o ponto 3 do Artigo 7º da Portaria n.º 1115/ 2009, de 29 de Setembro, o sistema aquífero Querença-Silves encontra-se em bom estado quantitativo. De realçar a incerteza associada ao real valor de extrações do sistema aquífero Querença-Silves.

No entanto, verifica-se na Figura 14 que se for considerada 50% da recarga anual os valores de extração de água já se encontram mais próximos do limite. Este facto releva a importância da adequada definição do critério de avaliação do estado quantitativo. Recorde-se que de acordo com o ponto 4 do Artigo 7º da Portaria n.º 1115/ 2009, de 29 de Setembro, que refere que este critério “deve ser anualmente revisto, e pode ser alterado para massas de água subterrâneas específicas, em função das características hidrogeológicas dessas massas de água”.

Para além do facto acima registado é necessário considerar que durante um ano extremamente seco (precipitação inferior a 394 mm) a extração anual pode ser superior a 90% de recarga. Este facto leva a concluir que na ocorrência sequencial de anos extremamente secos o sistema aquífero poderia entrar em défice hídrico, correndo risco pontual de sobre-exploração. De realçar que se analisou na secção 3.2.2 que a ocorrência de anos extremamente secos em São Bartolomeu de Messines foi de 17%. Contudo, refira-se que nesta análise não estão a ser consideradas as reservas hídricas deste sistema aquífero e que estas são muito elevadas conferindo resiliência ao sistema.

O ano de 2004/2005 foi o ano mais seco dos últimos 30 anos, com uma precipitação anual de 249 mm resultando numa recarga anual de 25 hm³ (79 mm) e numa extração agora estimada de 38 hm³. No entanto, como referido em Oliveira (2007), nesse ano, devido à escassez de água em barragens,

verificou-se uma extração superior a 50 hm<sup>3</sup>. Quer o valor estimado no presente relatório, quer o valor referido em Oliveira (2007) indicam que o balanço no sistema aquífero Querença-Silves foi negativo nesse ano, ou seja, extraiu-se muito mais água subterrânea do que a água que o recarregou naturalmente.

Dada a ocorrência de anos hidrológicos com extrações superiores às recargas estimadas, e até tendo em atenção cenários de alterações climáticas, a abordar na secção seguinte, é importante manter uma rede de monitorização adequada nesta massa de água, e efetuar estudos rigorosos para quantificação do real valor das extrações de águas subterrâneas tendo em vista a definição de regras de gestão do sistema aquífero Querença-Silves.

### 3.2.6 Alterações climáticas

Considerando os cenários apresentados no capítulo 2, e consequentes valores de recarga natural (obtidos pela modelação BALSEQ\_MOD), e tendo em conta a metodologia acima apresentada (ou seja, relacionando a precipitação mensal com as necessidades mensais de cada cultura) é possível sintetizar o balanço hídrico no Quadro 14 e analisar o risco quantitativo do sistema aquífero Querença-Silves às alterações climáticas.

Quadro 14 – Balanço hídrico e consequente análise de risco de incumprimento em cenários de alterações climáticas no sistema aquífero Querença-Silves

Cenário	Precipitação (mm)	Recarga (hm <sup>3</sup> )	Extração (hm <sup>3</sup> )	Relação extração/recarga
Cenário SIAM HadRM2, IS92a (2070-2100)	589	78,05	32,10	41,1%
Cenário SIAM HadRM3, SRES A2 (2070-2100)	388	43,27	32,93	76,1%
Cenário SIAM HadRM3, SRES B2 (2070-2100)	490	59,33	30,61	51,6%

Verifica-se no Quadro 14 que nenhum dos cenários apresentados indica o risco de incumprimento do sistema aquífero Querença-Silves (a extração é inferior a 90% da recarga média).

O cenário segundo o modelo HadRM3, SRES A2 é o que apresenta uma perspetiva mais preocupante pois verifica-se que a relação entre a extração e a recarga é superior a 76%.

### 3.2.7 Análise de risco nos cenários de aumento de área agrícola

Segundo Lourenço *et al.* (2011) os cenários previstos para o Algarve são os seguintes:

- Aumento do tecido urbano, da área industrial, de comércio e de transporte;
- Diminuição das culturas temporárias;
- Aumento das culturas permanentes.

Verifica-se que estes cenários apresentam os seguintes impactes:

- A recarga natural irá diminuir pois as zonas impermeabilizadas serão em maior número;
- A extração para consumo humano, industrial e de comércio irá aumentar;
- Diminuirá o consumo de água para as culturas de primavera e de verão;
- Irá aumentar a extração de água para os citrinos (cultura permanente).

O Quadro 15 apresenta as áreas e respetivas necessidades hídricas por cultura agrícola previstas para o ano de 2030 segundo o estudo Lourenço *et al.* (2011).

Quadro 15 – Análise à previsão para 2030 das necessidades hídricas por cultura no sistema aquífero Querença-Silves

	Área atual (ha)	Área prevista em 2030 (ha)	Necessidades atuais (hm <sup>3</sup> /ano)	Necessidades em 2030 (hm <sup>3</sup> /ano)
<b>Citrinos</b>	2920	3080	25,12	26,50
<b>Culturas de primavera</b>	170	120	1,21	0,85
<b>Culturas de verão</b>	560	395	4,91	3,46
<b>Total</b>	3650	3595	31,24	30,81

No Quadro 15 observa-se que a diminuição da área das culturas temporárias (culturas de verão e de primavera) motiva uma diminuição no total das necessidades hídricas para agricultura no sistema aquífero Querença-Silves.

### 3.2.8 Pressupostos e questões críticas da análise de risco apresentada

Esta secção é dedicada à análise crítica de alguns pontos relacionados com a metodologia apresentada anteriormente e à sua aplicação ao sistema aquífero Querença-Silves.

Verificou-se que os seguintes pontos devem ser tidos em conta para uma posterior análise:

1. Um aquífero é considerado em risco de incumprimento quantitativo se a relação extração/recarga for superior a 90 % num período temporal elevado. No entanto este valor pode ser alterado para massas de água subterrâneas específicas, em função das suas características hidrogeológicas. Tal exceção poderá ser aplicada ao sistema aquífero Querença-Silves caso se verifique necessidade;
2. De forma a identificar os anos secos utilizou-se o Método dos Decis, método este que não é o mais preciso na definição de secas. Para um aprofundamento deste tema pode-se utilizar métodos mais precisos como o SPI ou o PDSI;
3. Toda a análise foi feita em termos balanço hídrico geral, pressuposto que é válido para esta análise e que poderá ser de grande exatidão em sistemas aquíferos de pequena dimensão. No entanto, localmente, as extrações podem ser superiores à recarga do sistema numa área de recarga extensa, podendo ter impacte ao nível local/regional (principalmente se próximas de zonas sujeitas a intrusão marinha);
4. A probabilidade de ocorrência foi baseada nos dados já registados (dados históricos de precipitação), no entanto, alguns estudos indicam que a probabilidade de ocorrência de secas poderá ser maior devido ao fenómeno de alterações climáticas, se se considerar como referência a série agora utilizada;
5. Apesar de, em seca extrema, o sistema aquífero Querença-Silves apresentar valores de balanço hídrico desfavorável, o conhecimento deste sistema aquífero indica que este apresenta uma grande capacidade de armazenamento (cf. Novo, 2010);
6. Considerou-se ao longo de todo o estudo que a recarga por ribeiras alóctones ao Querença-Silves é de 16% da recarga total, no entanto, este valor deverá ser validado com o desenvolvimento de outros trabalhos no âmbito deste projeto (cf. Salvador *et al.*, 2012);

7. Um ponto abordado a longo da análise apresentada é o real valor da extração de água subterrânea no Querença-Silves. A dúvida associada a esta variável necessita de ser resolvida para o bom conhecimento e boa gestão desta massa de água;
8. Nesta metodologia procedeu-se a uma relação proporcional entre a captação de água subterrânea e a necessidade das culturas. No entanto, esta relação é mais complexa pois existe um sistema integrado de utilização de recursos hídricos (por exemplo, envolvendo a barragem de Odelouca) e, durante períodos de seca, existem políticas extraordinárias envolvendo as diferentes origens.

### 3.3 *Análise de risco em Melides*

#### 3.3.1 Metodologia USGS do Índice da Zona Vadosa - Caracterização qualitativa do risco de poluição

##### 3.3.1.1 Introdução

No caso de estudo em Melides pretende-se analisar o risco de poluição do sistema aquífero, tendo sido utilizado o Índice da Zona Vadosa (IZV).

Este índice foi desenvolvido pelos Serviços Geológicos dos Estados Unidos (USGS) tendo sido apresentado em Eimers *et al.* (2000). A classificação baseia-se numa combinação de parâmetros que contribuem para a possibilidade da água, com ou sem contaminantes, atingir a zona saturada a partir da área de recarga (Lobo-Ferreira *et al.*, 2006).

O índice da zona vadosa quantifica um risco e corresponde ao somatório ponderado dos seguintes quatro parâmetros:

C - Condutância vertical da zona vadosa

LS - Declive da superfície topográfica

LC - Cobertura do solo

LU - Uso do solo

Os primeiros três parâmetros relacionam-se com a vulnerabilidade do meio, ao passo que o uso do solo se relaciona com a carga poluente. Cada um dos parâmetros encontra-se classificado e a cada classe é atribuído um valor que varia entre 1 e 10. O valor 1 corresponde a uma situação de menor vulnerabilidade ou possível carga poluente e o valor 10 corresponde a uma situação de maior vulnerabilidade ou carga poluente.

As classes e os valores de cada parâmetro foram desenvolvidos para o estado da Carolina do Norte (EUA) pelo que Eimers *et al.* (2000) sugerem que sejam apropriadamente adaptados a outras regiões de aplicação.

O índice da zona vadosa é obtido através do cálculo segundo a Eq. 7.

$$IZV = C_p \cdot C_i + LSp \cdot LSi + LCp \cdot LCi + LUp \cdot LUi \quad \text{Eq. 7}$$

onde  $X_i$  é o índice atribuído ao parâmetro  $X$  e  $X_p$  é o respetivo peso. O peso de cada parâmetro reflete a sua importância relativa. O peso pode ser 2 ou 3 conforme o Quadro 16.

Quadro 16 – Ponderação dos parâmetros do índice da zona vadosa

Parâmetro	C	LS	LC	LU
Peso	3	2	2	3

Eimers *et al.* (2000) utilizam esta metodologia para as origens de água ao redor de cada furo de abastecimento público. O índice da zona vadosa de uma área de contribuição para uma captação é dado pela média dos índices calculados para cada subárea (de propriedades homogêneas dos quatro parâmetros do índice) em que se pode subdividir essa área de contribuição.

### 3.3.1.2 Descrição dos parâmetros

C - Condutância vertical da zona vadosa

A média harmônica de uma série de camadas que constituem a zona vadosa constitui um valor para a capacidade da sequência inteira da zona vadosa transmitir água desde a superfície do terreno até à superfície freática.

A condutância (C, m<sup>2</sup>/d) é definida pela Eq. 8.

$$\frac{1}{C} = \sum_1^n \left( \frac{L_i}{K_{vi} \cdot A} \right) \quad \text{Eq.8}$$

onde  $K_{vi}$  é a condutividade hidráulica saturada vertical (m/d) da camada  $i$ ,  $A$  é a área unitária perpendicular ao escoamento (= 1 m<sup>2</sup>),  $L_i$  é a espessura da camada da zona vadosa  $i$  (m) e  $n$  é o número de camadas. No caso de o material da zona vadosa ser homogêneo, considera-se apenas uma camada, a espessura  $L$  é a distância desde a superfície do terreno até à zona saturada e a condutância vem dada pela Eq. 9.

$$C = K_v \cdot A / L \quad \text{Eq.9}$$

A condutância vertical foi dividida nas seguintes dez classes (adaptado de O'Hara, 1996 in Eimers *et al.*, 2000) apresentadas no Quadro 17.

Quadro 17 – Valores de atribuição do parâmetro “condutância vertical” do índice da zona vadosa

C - Condutância vertical (m <sup>2</sup> /dia)	Valor
$C \leq 0,013$	1
$0,013 < C \leq 0,026$	2
$0,026 < C \leq 0,052$	3
$0,052 < C \leq 0,103$	4
$0,103 < C \leq 0,206$	5
$0,206 < C \leq 0,413$	6
$0,413 < C \leq 0,826$	7
$0,826 < C \leq 1,652$	8
$1,652 < C \leq 3,303$	9
$C > 3,303$	10

As áreas caracterizadas por condutâncias baixas apresentam menor risco de contaminação das águas subterrâneas, ao passo que as áreas com condutâncias elevadas apresentam risco elevado.

LS - Declive da superfície topográfica

O declive do terreno condiciona a ocorrência de infiltração à superfície ou o escoamento direto. Para declives elevados, que favorecem o escoamento direto, são atribuídos valores baixos. Para declives suaves, que favorecem a infiltração, são atribuídos valores elevados. Eimers *et al.* (2000) utilizam as seguintes classes representadas no Quadro 18.

Quadro 18 – Valores de atribuição do parâmetro “declive da superfície do terreno” do índice da zona vadosa

LS - Declive da superfície do terreno	Valor
LS > 50%	1
20% < LS ≤ 50%	3
10% < LS ≤ 20%	5
5% < LS ≤ 10%	7
2% < LS ≤ 5%	9
LS ≤ 2%	10

LC - Cobertura do solo

A cobertura da superfície do terreno, através da sua permeabilidade, influencia a quantidade de precipitação que se infiltra no terreno. Para o estado da Carolina do Norte, Eimmers *et al.* (2000) desenvolveram o Quadro 19.

Quadro 19 – Valores de atribuição do parâmetro “cobertura do solo” do índice da zona vadosa

Cobertura do solo (CS/LC)	Descrição geral ou exemplo	Valor
Comercial/Industrial	Solo utilizado para a manufatura ou venda de bens de consumo	1
Água	Áreas cobertas de água, com menos de 25% de cobertura vegetal	2
Áreas húmidas c/ lenhosas	Áreas com floresta ou arbustos onde o solo ou substrato é periodicamente saturado	2
Áreas húmidas c/ vegetação emergente	Áreas com vegetação herbácea perene, onde o solo ou substrato é periodicamente saturado	2
Residencial de alta densidade	Áreas residenciais densas, em que a vegetação ocupa menos de 20% da área e a construção entre 80 a 100%	2
Residencial de baixa densidade	Áreas suburbanas, em que a construção cobre cerca de 30 a 80% da área	4
Transição	Áreas com alterações dinâmicas na sua cobertura	5
Pedreiras / minas a céu aberto / saibreiras	Áreas de indústria mineira extrativa, com exposição significativa do solo	6

<b>Cobertura do solo (CS/LC)</b>	<b>Descrição geral ou exemplo</b>	<b>Valor</b>
Agricultura	Áreas dominadas por vegetação plantada e/ou utilizada para produção	6
Solo esquelético	Rocha exposta, areia, gravilha ou outro material semelhante com pouca ou nenhuma vegetação	7
Outras herbáceas	Vegetação plantada para fins estéticos, lúdicos ou de controlo da erosão	8
Pastagem/ feno	Áreas dominadas por vegetação plantada e destinada à alimentação humana (eg. legumes) ou de gado	8
Floresta de folha caduca	Áreas onde 75% ou mais das árvores perdem a folhagem simultaneamente	10
Floresta mista	Áreas cujas árvores não são em 75% ou mais caducas nem perenes	10
Floresta perene	Áreas onde 75% ou mais das árvores mantêm a folhagem todo o ano	10

#### LU - Uso do solo

O uso do solo corresponde às atividades que ocorrem na superfície terrestre e que podem gerar contaminação. Por exemplo, as concentrações de nutrientes que se infiltram nas áreas agrícolas são mais elevadas do que as que se infiltram em áreas não cultivadas. As classes de uso do solo utilizam a mesma fonte de informação da cobertura do solo mas têm objetivos diferentes. Apresenta-se o Quadro 20 desenvolvido por Eimmers *et al.* (2000).

Quadro 20 – Valores de atribuição do parâmetro “uso do solo” do índice da zona vadosa

<b>Uso do solo (US/LU)</b>	<b>Descrição geral ou exemplo</b>	<b>Valor</b>
Água	Áreas cobertas de água, com menos de 25% de cobertura vegetal	1
Áreas húmidas c/ vegetação emergente	Áreas com vegetação herbácea perene, onde o solo ou substracto é periodicamente saturado	1
Zonas húmidas arborizadas	Áreas com floresta ou arbustos onde o solo ou substracto é periodicamente saturado	1
Solo esquelético	Rocha exposta, areia, gravilha ou outro material semelhante com pouca ou nenhuma vegetação	2
Floresta de folha caduca	Áreas onde 75% ou mais das árvores perdem a folhagem simultaneamente	3
Floresta perene	Áreas onde 75% ou mais das árvores mantêm a folhagem todo o ano	3
Floresta mista	Áreas cujas árvores não são em 75% ou mais caducas nem perenes	3
Pedreiras / minas a céu aberto / saibreiras	Áreas de indústria mineira extractiva, com exposição significativa do solo	5
Pastagem/ feno	Áreas dominadas por vegetação plantada e destinada à alimentação humana (p.ex.: legumes) ou de gado	5
Outras herbáceas	Vegetação plantada para fins estéticos, lúdicos ou de controlo da erosão	6

Uso do solo (US/LU)	Descrição geral ou exemplo	Valor
Transição	Áreas com alterações dinâmicas na sua cobertura	7
Agricultura	Áreas dominadas por vegetação plantada e/ou utilizada para produção	7
Residencial de baixa densidade	Principalmente áreas sub-urbanas, em que a construção cobre cerca de 30 a 80% da área	7
Residencial de alta densidade	Áreas residenciais densas, em que a vegetação ocupa menos de 20% da área e a construção entre 80 a 100%	8
Comercial/Industrial	Solo utilizado para a manufatura ou venda de bens de consumo	10

### 3.3.2 Resultados

Utilizando diferentes dados, expostos espacialmente em Sistemas de Informação Geográfica, foi possível fazer a análise de risco de poluição na bacia hidrográfica da ribeira de Melides pela metodologia USGS do Índice da Zona Vadosa. Os mapas foram obtidos utilizando a condutividade hidráulica dos meios geológicos, a espessura da zona vadosa, o modelo digital de terreno e os mapas Corine Land Cover (2006).

A classificação desta informação de base nos intervalos de classe da metodologia USGS é representada nas Figura 15 a Figura 18.

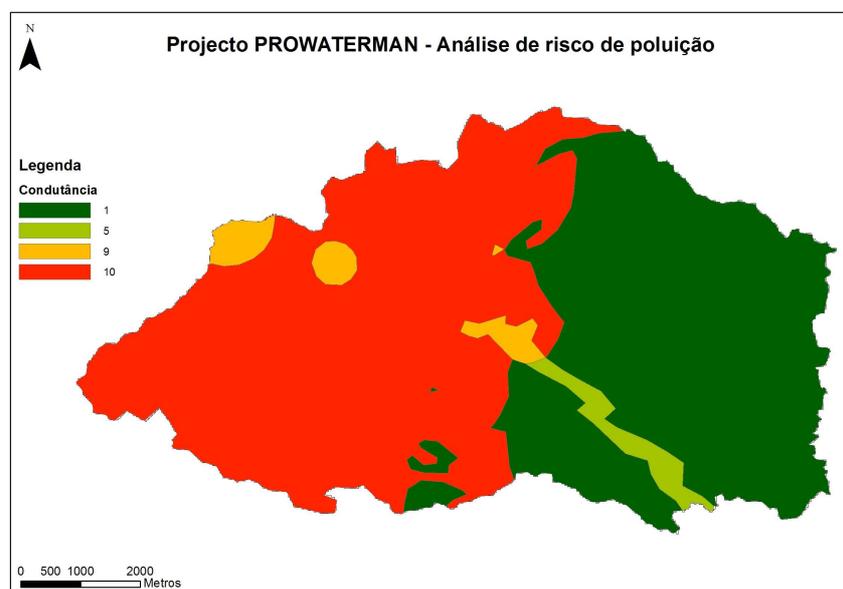


Figura 15 – Distribuição espacial do parâmetro “condutância vertical” no caso de estudo de Melides

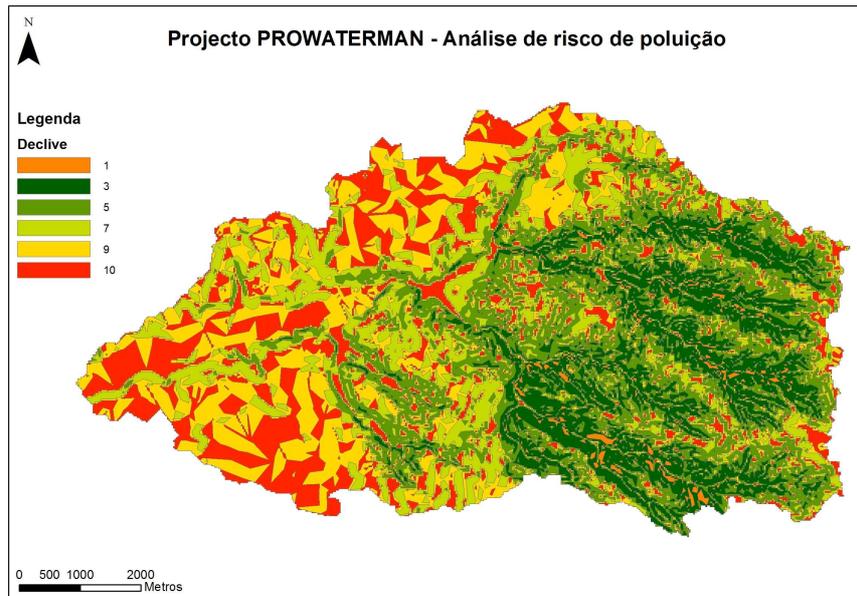


Figura 16 – Distribuição espacial do parâmetro “declive da superfície do terreno” no caso de estudo de Melides

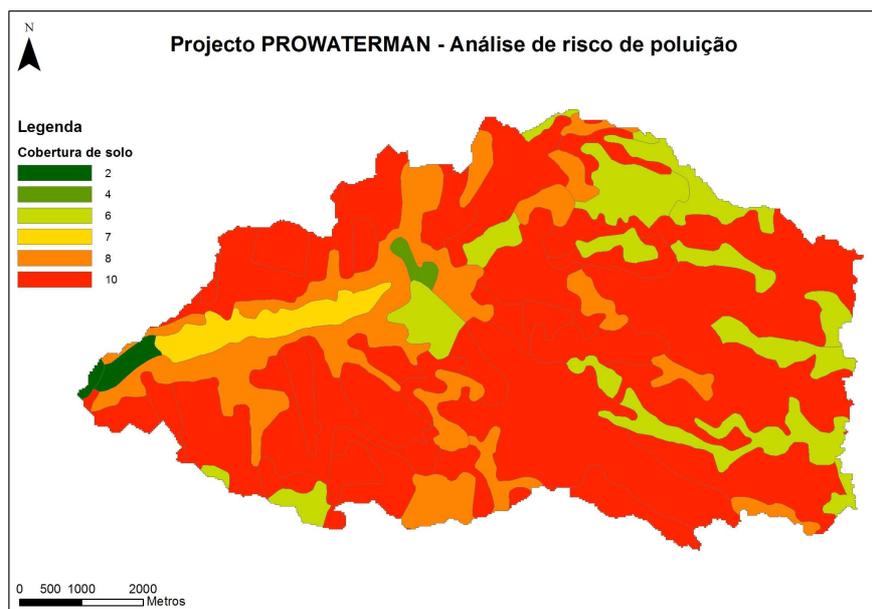


Figura 17 – Distribuição espacial do parâmetro “cobertura de solo” no caso de estudo de Melides

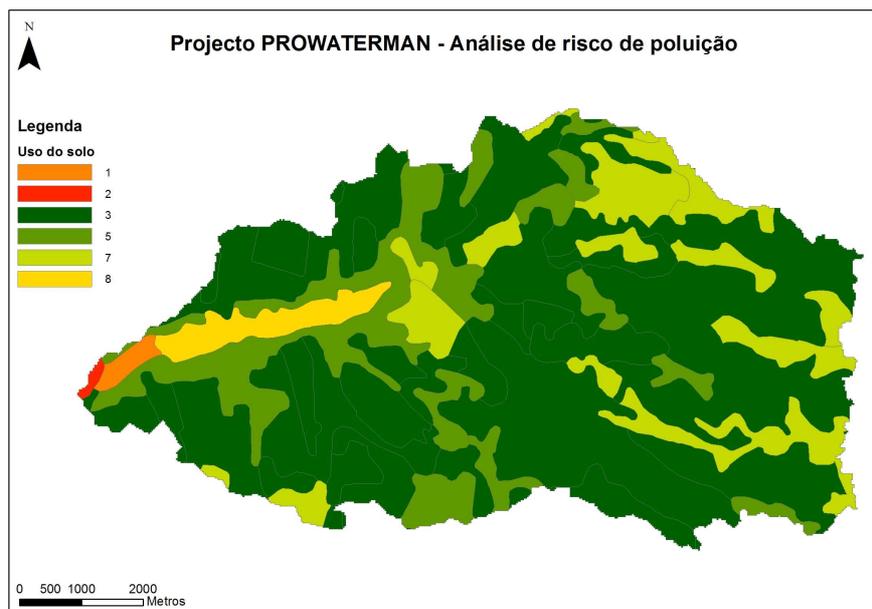


Figura 18 – Distribuição espacial do parâmetro “uso de solo” no caso de estudo de Melides

O índice da zona vadosa, calculado utilizando a correta ponderação dos quatro parâmetros (Quadro 16), encontra-se representado na Figura 19, que corresponde ao resultado final da distribuição espacial de risco de poluição da zona vadosa segundo a metodologia USGS. Apresenta-se nesta figura as quatro classes em que a metodologia divide o risco, de risco baixo até risco muito elevado.

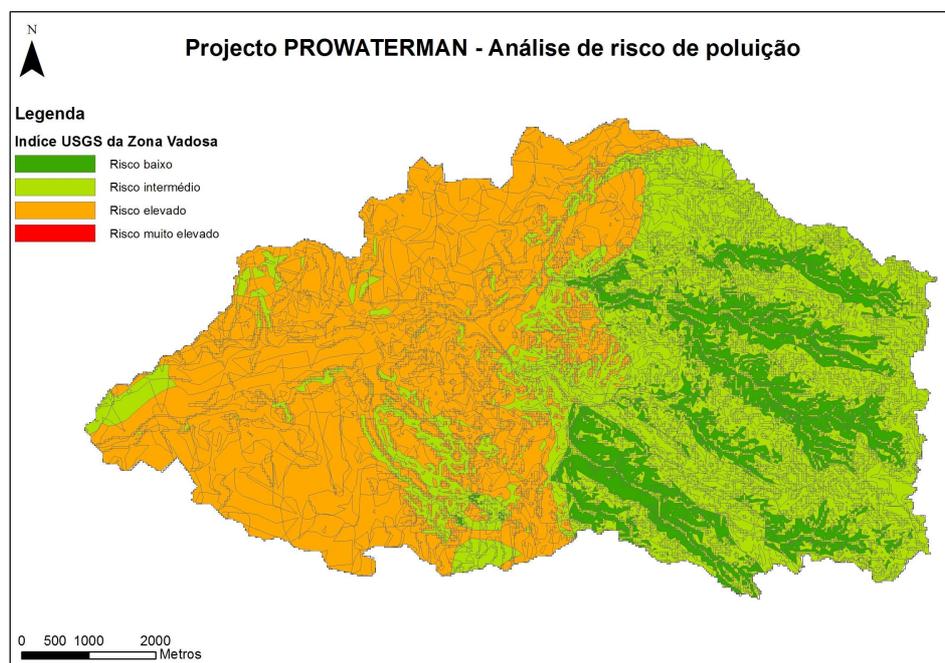


Figura 19 – Mapa final do risco à poluição no caso de estudo de Melides, segundo o método USGS do índice da zona vadosa

Verifica-se na Figura 19 que a zona xistosa apresenta inferior risco de poluição e a zona do aquífero de Sines (zona porosa) apresenta maior risco de poluição (maioritariamente “risco elevado”), tal como o esperado.

## **4 Modelação matemática do caso de estudo de Melides**

### **4.1 Objetivos da modelação e considerações gerais**

O objetivo principal da modelação matemática no caso em estudo de Melides foi servir de base científica para o desenvolvimento de medidas de mitigação com o intuito de melhorar a qualidade da lagoa de Melides, que está identificada com graves problemas de eutrofização.

O sistema aquífero de Sines é composto por um aquífero superior que é livre e poroso e por um aquífero inferior que é confinado e cársico (Novo, 2010). Para o objetivo proposto apenas tem interesse modelar o aquífero superior por duas razões principais: 1) uma determinada carga poluente superficial (por exemplo, de uma cultura agrícola) apenas afetará o aquífero superior e 2) como analisado por Novo (2010) existe uma forte interação água superficial-água subterrânea ao nível do aquífero livre, de tal modo, que a lagoa de Melides pode ser considerada dependente ao nível ecológico e de balanço hídrico da sua ligação hidráulica com as águas subterrâneas.

Visto que durante um ano existem dois períodos distintos, o período de irrigação e o período de não-irrigação, optou-se por desenvolver dois modelos com dados de entrada semelhantes apenas com a distinção da recarga. Assim, consideraram-se dois modelos: a) modelo de irrigação, correspondente ao período de verão (abril a setembro) em que se procede à rega das culturas (designado “modelo de verão”) e b) modelo sem irrigação, que corresponde ao período de inverno (outubro a março) (designado “modelo de inverno”). Ambos os modelos correram em modo estacionário.

### **4.2 Limites/estrutura dos modelos matemáticos**

Os limites considerados para o modelo tiveram em conta a hidrogeologia da região e a rede hidrográfica.

Consideram-se os seguintes limites de modelo expostos na Figura 20:

- a) Limite oeste – O oceano Atlântico.
- b) Limite este – O limite do sistema aquífero de Sines;
- c) Limites norte e sul – A ribeira de Fontainhas a norte e a ribeira da Ponte a sul.

Estes limites permitiram obter um modelo com área de 544 km<sup>2</sup>. Esta área foi dividida por quadrículas de 50 m de lado obtendo a malha definida na Figura 20.

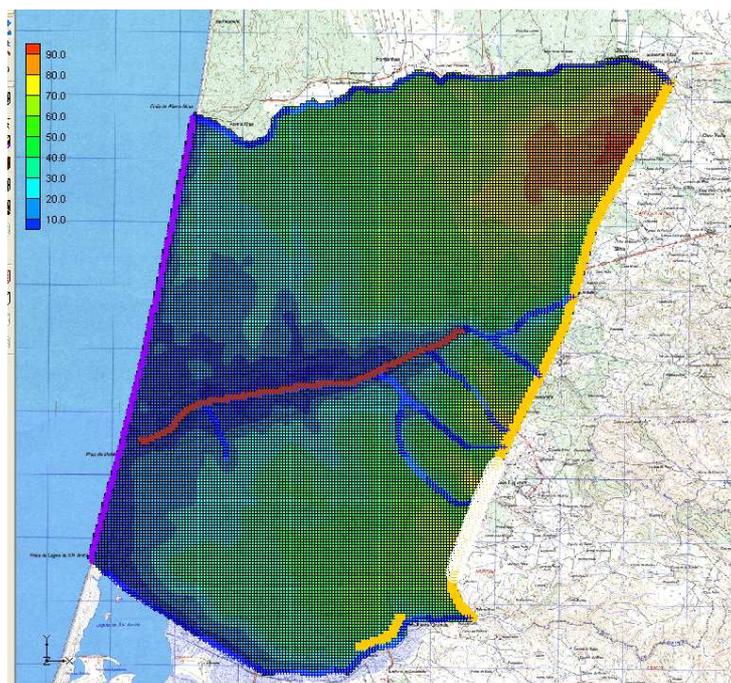


Figura 20 – Malha do modelo do caso de estudo de Melides

O modelo é composto por duas camadas em que o topo da primeira camada corresponde à cota de terreno (cf. Figura 21) tendo a primeira camada uma espessura de 10 m. Esta camada permite representar os aluviões existentes em várias zonas do modelo. A base da segunda camada (e consequentemente, base do modelo) corresponde a uma interpolação de alguns furos existentes em base de dado e da conceptualização hidrogeológica desenvolvida em Novo (2010). Assim, a cota da base do modelo é variável conforme a localização permitindo uma espessura aproximada de 150 metros para todo o modelo.

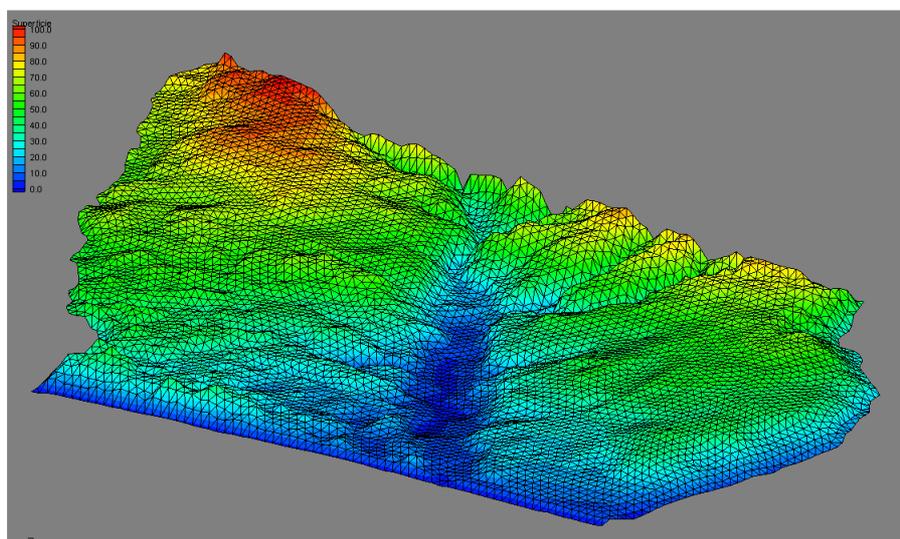


Figura 21 – Modelo digital de terreno do caso em estudo de Melides (imagem TIN oblíqua e com exagero de 10 vezes)

## 4.3 Dados de entrada

### 4.3.1 Dados gerais de entrada

Consideraram-se as seguintes condições de fronteira e parâmetros do modelo: a) condutividade hidráulica, b) recarga natural, c) nível constante no mar, d) fluxo de entrada de água pela fronteira do modelo, e) ribeiras e f) recarga artificial devido à rega. A descrição da aplicação de cada um destes dados é a seguinte (com exceção da recarga artificial devido à rega):

- a) Condutividade hidráulica: Para este caso considerou-se, inicialmente, valores de condutividade hidráulica obtidos em ábacos da especialidade em função das formações geológicas presentes e dos valores obtidos em análises laboratoriais (Henriques e Martins, 2012) tendo sido estes, posteriormente, calibrados com os dados de piezometria observados.

Assim, a condutividade hidráulica horizontal obtida para a primeira camada (considerando a distribuição representada na Figura 22) foi a seguinte: a) para os Aluviões, 100 m/dia, b) para o Plio-Plistocénico, 5 m/dia e c) para o afloramento de Miocénico na zona da vila de Melides, 40 m/dia. Para a segunda camada considerou-se um valor constante, pois apenas se está a ter em conta o Miocénico, de 2 m/dia.

Os valores de condutividade hidráulica vertical consideraram-se como sendo 10 vezes menores que a horizontal.



Figura 22 – Distribuição espacial da condutividade hidráulica horizontal.

- b) Recarga natural: Os valores considerados tiveram em conta os obtidos pelo modelo BALSEQ e apresentados em Oliveira *et al.* (2011). Assim os valores variam entre os 11 mm/semestre e os 18 mm/semestre para o modelo de verão e variam entre os 114 mm/semestre e os 182 mm/semestre para o modelo de inverno;
- c) Nível constante no mar: Considerou-se um valor constante de 0 metros no limite oeste, que corresponde ao oceano Atlântico;
- d) Fluxo de entrada de água pela fronteira do modelo: O aquífero de Sines não é um sistema totalmente fechado, isto deve-se ao facto de os limites do aquífero estarem estritamente associados ao material geológico e não a acidentes tectónicos (que podem ser de natureza impermeável). Após a calibração inicial do modelo verificou-se a necessidade de aplicar um fluxo de entrada na zona este (limite do aquífero).

Inicialmente calculou-se o caudal utilizando a lei de Darcy. Sabendo que, no sentido do fluxo, o gradiente hidráulico junto à fronteira do modelo é 0,0047 e a condutividade hidráulica média é de 2 m/dia obtém-se uma velocidade de 0,009 m/dia. Com a espessura de 150 metros obtém-se um caudal de entrada média de 1,4 m<sup>3</sup>/dia por cada metro de comprimento. De seguida, este valor foi ligeiramente ajustado através dos pontos de calibração;

- e) Ribeiras: Considerou-se a existência de três ribeiras: a ribeira de Melides no meio do modelo (todos os seus afluentes), a ribeira de Fontainhas a norte e a ribeira da Ponte a sul. Estas duas últimas ribeiras coincidem com limites do modelo.

Considerou-se que o topo das ribeiras era a cota de terreno situando-se a sua base meio metro abaixo da cota de terreno. Na zona da ribeira de Melides junto aos arrozais (zona onde a relação água superficial- água subterrânea é elevada) existe uma conexão com os aluviões tendo-se atribuído uma condutância de 10 (m<sup>2</sup>/dia)/m. No resto das ribeiras, ou afluentes da ribeira de Melides, atribuiu-se um valor de 0,01 (m<sup>2</sup>/dia)/m.

Para a calibração ao modelo utilizaram-se um total de 10 pontos em que os valores medidos correspondem à média dos valores medidos durante as campanhas de campo de 2010 (cf. Oliveira *et al.*, 2011). A Figura 23 corresponde à piezometria medida em Melides (nível em metros) durante a campanha de 9 e 10 de Maio de 2011.



Figura 23 – Nível piezométrico do caso de estudo de Melides da campanha de 9 a 10 de maio de 2011

Os pontos com nível piezométrico foram utilizados para calibrar o modelo de verão visto que a maioria dos dados foram obtidos depois de março.

### 4.3.2 Rega

No modelo considerou-se que a agricultura funciona como fonte de “recarga artificial” visto que, durante a rega, parte da água (água em excesso) não é consumida pela planta nem evaporada e, logo, funciona como água de recarga.

De forma a se calcular o valor de “recarga artificial” por rega é necessário saber o consumo de água de cada tipo de cultura, o valor de rega normal por cultura e o tipo de irrigação.

Por ausência de dados na zona em estudo procedeu-se à identificação de zonas nos atuais Planos de Gestão de Região Hidrográfica (com dados disponíveis de necessidades hídricas de culturas) que melhor se aproximavam ao caso de estudo de Melides em termos de evapotranspiração de referência. Assim, verificando que a evapotranspiração de referência média em Melides é de 925 mm/ano analisa-se no Quadro 21 que uma boa aproximação é considerar a zona abrangida pela estação meteorológica de Sintra (Granja) no ano seco (retirado de Lobo Ferreira *et al.*, 2011).

Quadro 21 – Evapotranspiração de referência em três estações meteorológicas do Plano das Bacias Hidrográficas das Ribeiras do Oeste e em três regimes de precipitação (mm/ano)

<b>Estação meteorológica</b>	<b>Ano médio (50%)</b>	<b>Ano seco (80%)</b>	<b>Ano muito seco (95%)</b>
Alcobaça (Est. Frut.)	827	853	879
Dois Portos	903	940	976
Sintra (Granja)	902	938	972

(retirado de Lobo Ferreira *et al.*, 2011)

É possível verificar no Quadro 22 (retirado de Lobo Ferreira *et al.*, 2011) os valores de necessidade hídrica de cada cultura correspondente ao ano seco da zona abrangida pela estação meteorológica de Sintra (Granja).

Quadro 22 – Necessidades hídricas por cultura na zona abrangida pela estação meteorológica de Sintra (Granja) (mm/ano)

<b>Cultura</b>	<b>Ano médio (50%)</b>	<b>Ano seco (80%)</b>	<b>Ano muito seco (95%)</b>
Trigo	85	147	206
Milho-grão	387	423	457
Fornagem	299	340	380
Tomate	429	477	522
Girassol	302	340	377
Vinha	127	171	214
Pomar	271	319	364
Olival	136	173	209
Prado	404	454	503

(retirado de Lobo Ferreira *et al.*, 2011)

Sabendo que o tipo de rega mais utilizado por cultura é: a) para as culturas temporárias (hortícolas), aspersão, b) para as vinhas, gota a gota, c) para os pomares, sulcos e d) para os arrozais, rega por alagamento e sabendo que a eficiência média associada a cada sistema de rega é dada no Quadro 23, obteve-se a tabela final (cf. Quadro 24) onde se representa na última coluna (água perdida) os valores que constituem a “recarga artificial” por cultura.

Quadro 23 – Eficiência de referência de diferentes tipos de rega

Sistema de rega	Eficiência de referência
Rega por alagamento	50%
Rega por sulcos	75%
Rega por caldeiras	60%
Rega por aspersão	85%
Rega localizada	90%

(retirado de PGBH das Ribeiras do Algarve, 2011)

Quadro 24 – Tabela resumo com os valores de “recarga artificial” associado a cada tipo de cultura agrícola

CLC	Tipo de cultura agrícola	Necessidades	Tipo rega	Eficiência (%)	Água perdida
Culturas temporárias	Hortícolas	477 mm/ ano	Aspersão	85	84,2 mm/ ano
Vinhas		171 mm/ ano	Gota a gota	90	19 mm/ ano
Pomar		319 mm/ ano	Sulcos	75	106,3 mm/ ano
Vinhas+ Pomar	50% para cada	245 mm/ ano	Média	82,5	51,9 mm/ ano
Sistemas culturais	25% Hortícolas + 25% Vinhas + 25% Pomares + 25% Prado	355 mm/ ano	Média	82,5	75,4 mm/ ano
Arrozal		<u>32 000 m<sup>3</sup>/ano</u>	Alagamento	50	<u>16 000 m<sup>3</sup>/ano</u>

Em relação ao arrozal, por indisponibilidade de informação no Quadro 22, considerou-se o valor de 32 000 m<sup>3</sup>/ano retirado do trabalho CCDR (2006).

#### 4.4 Resultados

Após corrida do modelo de verão obteve-se o mapa piezométrico exposto na Figura 24. Também nesta figura é possível ver os pontos de calibração e a diferença entre os valores observados e os valores modelados (verde corresponde a uma boa aproximação, amarelo a uma média aproximação e vermelho a uma má calibração).

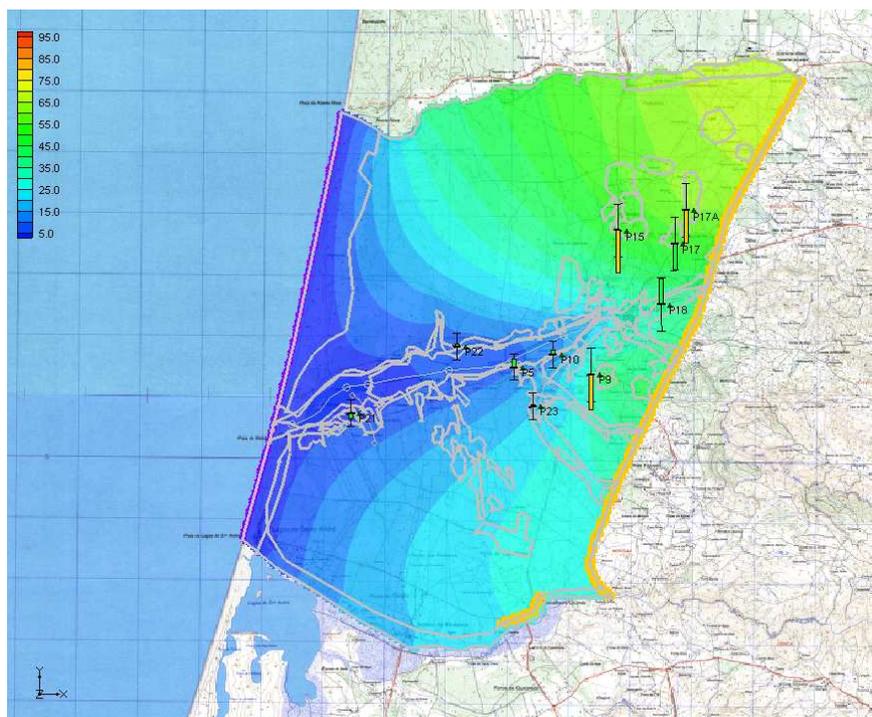


Figura 24 – Resultado final do modelo de verão do caso de estudo de Melides – Mapa piezométrico e pontos de calibração

É possível analisar na Figura 24 que a piezometria apresenta o seguinte comportamento: 1) de Este para Oeste, no sentido do mar, 2) do exterior para o interior do modelo, no sentido da ribeira de Melides. Este comportamento da piezometria confirma a noção de que existe uma elevada relação entre a água subterrânea e a água superficial na ribeira de Melides. Este facto é importante para a análise do impacte na lagoa das fontes poluidoras.

Para uma melhoria deste modelo seriam necessários mais valores de calibração (especialmente e temporalmente), uma maior quantidade de informação referente aos dados de entrada (fluxo lateral, “recarga artificial” na agricultura, etc.) e outro tipo de informação (por exemplo, informação de sondagens) que permitisse obter características do material geológico (condutividade hidráulica, porosidade, etc.) mais corretas e refinadas.

No entanto, tendo em conta o objetivo previsto para o modelo e a comparação com outros modelos semelhantes na região de Melides, considera-se que o modelo permite analisar de forma apropriada o comportamento do fluxo subterrâneo na zona em estudo.

## 5 Considerações finais / Conclusões

As principais conclusões retiradas do presente relatório foram:

a) Em relação ao estudo de alterações climáticas:

- Em relação à generalidade das informações obtidas na modelação do balanço hídrico em cenários de alterações climáticas, verificou-se que o cenário segundo o modelo HadRM3, SRES A2 é o cenário mais “problemático”, ou seja, a disponibilidade hídrica (quer recarga natural, quer escoamento direto) é a menor;
- Verifica-se que a recarga natural no sistema aquífero Querença-Silves não é afetada, em qualquer dos cenários de alterações climáticas, em mais de 45%;
- Verifica-se que o escoamento total a afluir à barragem de Odelouca diminui em valores a ter em conta (o pior cenário indica uma diminuição inferior a 50%), o que se torna importante para o objetivo do caso em estudo no Algarve. Para uma análise total da verificação da água da albufeira de Odelouca como “origem” de água para recarga artificial falta analisar a periodicidade prevista (simulações futuras) de anos extremamente húmidos;
- De um modo geral, os mapas em cenários de alterações climáticas, presentemente desenvolvidos, são uma boa base na criação de medidas de mitigação para os objetivos de cada caso em estudo;
- Será de elevada importância a análise da viabilidade de utilização de estruturas de recarga artificial no sistema aquífero Querença-Silves (e.g. Ribeiro Meirinho, Cerro do Bardo e/ou Fonte de Louseiros).

b) Em relação à análise de risco

- Em relação à análise de risco sobre o impacto de secas no sistema aquífero Querença-Silves verifica-se que apenas em casos de anos extremamente secos existe um risco real no balanço hídrico geral do aquífero;
- Existe um desconhecimento sobre os valores reais de extração do sistema aquífero Querença-Silves. Este desconhecimento pode ser relevante em caso de pouca disponibilidade hídrica (anos secos);
- Em alguns dos cenários de alterações climáticas modelados verifica-se que a relação extração/recarga no sistema aquífero Querença-Silves é superior a 70 %, ou seja, a extração anual é 70% da recarga anual (no período de 2071 a 2101). Segundo a legislação atualmente vigente, um aquífero é considerado em risco de incumprimento quantitativo se a extração a longo prazo for superior a 90% da recarga natural média podendo esse valor ser alterado em casos excecionais. Sugere-se, portanto, um desenvolvimento mais aprofundado desta matéria devido à importância que este aquífero tem na região;
- Em relação à análise de risco de poluição no caso de estudo em Melides verifica-se que a zona porosa apresenta-se como uma zona de maior risco.

c) Em relação à modelação matemática

- Verifica-se que o fluxo tende, preferencialmente, no sentido da ribeira de Melides e no sentido do mar;
- O presente modelo matemático permitirá analisar o impacto do desenvolvimento das medidas que visam melhorar o estado qualitativo da lagoa de Melides.

Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil

junho de 2012

**VISTOS**



J.P. Cárcomo Lobo Ferreira

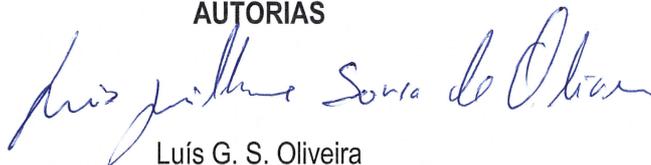
Chefe do Núcleo de Águas Subterrâneas



Rafaela de Saldanha Matos

Diretora do Departamento de Hidráulica e Ambiente

**AUTORIAS**



Luís G. S. Oliveira

Mestre em Engenharia do Ambiente  
Bolseiro de Investigação



Tiago Martins

Bolseiro Licenciado em Geologia no Núcleo de Águas Subterrâneas



J.P. Cárcomo Lobo Ferreira

Doutor Eng. Civil  
Investigador-Coordenador  
Núcleo de Águas Subterrâneas



Manuel Mendes Oliveira  
Doutor em Hidrogeologia  
Investigador Auxiliar



Maria Emília Novo

Geóloga, Doutora em Ciências do Ambiente  
Investigadora Auxiliar



Teresa E. Leitão  
Doutora em Hidrogeologia  
Investigadora Principal com Habilitação

## Bibliografia

Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. (1998) – "Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements", FAO, Irrigation and Drainage Paper, nr. 56.

Aller, L., Benett, T., Leher, J.H., Hackett, G. (1987) – "DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeological Settings". U. S. Environmental Protection Agency, 622 pp.

Civita, M.; Forti, P.; Marini, P.; Micheli, L.; Piccini, L.; Pranzini, G. (1990) - "Carta da vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi delle Alpi Apuane". Mem. explic, Monografia GNDCI. - CNR. n399, Firenze, 56 pp.

Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Alentejo – CCDR Alentejo (2006) – "Fontes poluidoras: Bacia Hidrográfica de Melides". Trabalho desenvolvido pela brigada de fiscalização do litoral.

Eimers, J.L., Weaver, J.C., Terziotti, S., Midgette, R.W. (2000) – "Methods of rating unsaturated zone and watershed characteristics of public water supplies in North Carolina". U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations Report 99-4283.

Foster, S.S.D. (1987) – "Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy." In: Vulnerability of Soil and Ground water Pollutants, W. van Duijvenbooden and H.G. van Waegeningh, eds. The Hague, The Netherlands: TNO Committee on Hydrological Research Proceedings and Information No. 38. Pp. 69-86

Gibbs, W.J.; Maher, J.V. (1967) - "Rainfall Deciles as Drought Indicators" Australian Bureau of Meteorology, Bull. 48, 37 pp.

Henriques, M.J.; Martins, T. A (2012) – "ÁGUA, ECOSISTEMAS AQUÁTICOS E ACTIVIDADE HUMANA – PROJETO PROWATERMAN: Ensaio laboratoriais em amostras de solos para a caracterização de parâmetros hidráulicos e de transporte de solutos". Nota técnica 05/12/DHA. 18 pág., 14fig.

Lobo Ferreira, J.P.; Pinto, I.V.; Monteiro, J.P.; Oliveira, M.M.; Leitão, T.E.; Nunes, L.; Novo, M.E.; Salvador, N.; Pombo, S.; Silva, M.F.; Igreja, A.; Nunes, J.F.; Henriques, M.J.; Silva, D.; Oliveira, L.; Ricardo Martins; Monte, M.; Martins, J.; Braceiro, A.; Henriques, R.S.; Quaresma, M. (2011) - "Plano das Bacias Hidrográficas das Ribeiras do Oeste. Segunda versão dos conteúdos do PBH Oeste Oeste. Versão 1". Relatório Hidroprojecto-LNEC-ICCE, PBH Rib. Oeste, Janeiro 2011, 377 pp.

Lobo Ferreira, J. P. C.; Leitão, T. E.; Oliveira, M. M.; Rocha, J. S.; Barbosa, A. E. (2009) - "Protecção das Origens Superficiais e Subterrâneas nos Sistemas de Abastecimento de Água". Série Guias Técnicos, 11, Edição IRAR e LNEC, ISBN 978-989-95392-6-6, 198 pp.

Lourenço N.; Machado, C.; 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 nº2 – Analysis of environmental and socio-economic driving forces". Barcarena.

Novo, E. (2010) - "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: Primeiro relatório temático- Caracterização geológica e hidrogeológica das áreas de estudo do Alentejo e Algarve". Relatório 285/2010 NAS. Lisboa.

Nunes, G., Monteiro, J.P., Martins, J., (2006) – "Quantificação do Consumo de Água Subterrânea na Agricultura por Métodos Indirectos: Detecção Remota", ESIG 2006 – IX Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica, USIG, Tagus Park, 15 a 17 Novembro, pp. 14.

Oliveira, L.; Leitão, T. E.; 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, 107 pp.

Oliveira, L. (2007) - "Soluções para uma gestão adequada de bacias hidrográficas e de sistemas aquíferos, em cenários de escassez hídrica extrema. Aplicação ao sistema aquífero Querença-Silves (Algarve) no âmbito da Acção de Coordenação ASEMWaternet". IST, Mestrado em Engenharia do Ambiente, 102 pp.

Oliveira, M.M. (2004, 2006) – "Recarga de águas subterrâneas: Métodos de avaliação". Doutoramento em Geologia (Hidrogeologia), Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Geologia, 440 pp., 2004. Também: Teses e Programas de Investigação - TPI 42, ISBN 972-49-2093-3, Editora LNEC, 2006.

Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas que Integram a Região Hidrográfica das Ribeiras do Algarve (RH8) – Volume I. (PGBH Ribeiras dos Algarve) (2011)". Relatório do Consórcio: Nemus, Gestão e Requalificação Ambiental; Hidromod, Modelação em Engenharia, Lda. e Agrogos, Sociedade de Estudos e Projectos. 512 pp.

Salvador, N., Oliveira M. M., Reis, E., Oliveira, L., Lobo Ferreira, J.P. e Monteiro, J.P. (2012) - "Contribuição para a quantificação das relações rio-aquífero no sistema aquífero Querença-Silves". 11.º Congresso da Água, Porto, 15 pp.

Santos e Miranda, 2006 – Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação. Projecto SIAM II. Editora Gradiva, pp. 505.

