



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE
Núcleo de Águas Subterrâneas

Proc. 0607/14/17372

ÁGUA, ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS E ACTIVIDADE HUMANA – PROJECTO PROWATERMAN

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

Componente do Núcleo de Águas Subterrâneas para o
enquadramento das medidas de mitigação em Melides

Lisboa • julho de 2012

I&D HIDRÁULICA E AMBIENTE

RELATÓRIO 182/2012 – DHA/NAS

Financiamento

FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR

ÁGUA, ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS E ACTIVIDADE HUMANA – PROJETO PROWATERMAN

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

Componente do Núcleo de Águas Subterrâneas para o enquadramento das medidas de mitigação em Melides

Resumo

O presente relatório relata uma análise que permitirá o enquadramento das medidas de mitigação para o caso de estudo em Melides, fornecendo uma componente do Núcleo de Águas Subterrâneas do Laboratório Nacional de Engenharia Civil para tarefa final do projeto PROWATERMAN.

Apresenta-se neste relatório o tempo de chegada de poluentes por fontes poluidoras desde a sua produção até à lagoa de Melides por transporte subterrâneo e o valor da carga de poluente gerada por fonte poluidora, nomeadamente nitratos e fosfatos. É igualmente relatado a contribuição anual total de água para a lagoa de Melides e os cálculos que permitiram obter um volume máximo aproximado da lagoa, valor este que permitiu determinar o impacto, em termos de concentração, das cargas poluentes anuais.

WATER, AQUATIC ECOSYSTEMS AND HUMAN ACTIVITY – PROJECT PROWATERMAN

Component of the Groundwater Division of the framework for the mitigation measures in Melides

Abstract

The present report describes an analysis for the mitigation measures guidelines in the Melides case-study, providing a component of the Groundwater Division of the National Laboratory for Civil Engineering for the PROWATERMAN project final task.

It is presented in the report the arrival time of pollutants from the sources of pollution to the Melides lagoon and the load of pollutants that is produced for each polluting source, in this case the nitrates and phosphates. It is also reported the annual water contribution to the Melides lagoon and the calculation of maximum lagoon volume, a value that is used to analyze the impact of the concentration of the pollution sources.

EAU, ECOSYSTEMES AQUATIQUES ET ACTIVITÉE HUMAINE – PROJET PROWATERMAN

Composante de la Division des Eaux Souterraines du cadre pour les mesures d'atténuation dans Melides

Sommaire

Ce rapport présente une analyse de base pour l'encadrement des mesures de mitigation de la qualité des eaux de surface et souterraines (cas d'étude de Melides). Cette analyse fait partie de la contribution de la Division des Eaux Souterraines du LNEC pour la conclusion des études du projet PROWATERMAN.

On présente ici le temps de parcours et arrivé des polluants au système lagunaire de Melides, provenant des différentes sources de pollution répandues a travers du bassin hydrographique de Melides. On présente aussi les valeurs de masse et concentration de ces polluants (nitrates et phosphates) pour chaque source de pollution. Le volume annuel d'eau qui arrive au système lagunaire de Melides, et le volume maximal approximé de cet étang sont également présentés, ce qui a permis évaluer l'impact, exprimé en concentration de polluants, des charges polluantes annuelles.

ÍNDICE DO TEXTO

1	INTRODUÇÃO	1
2	CONTRIBUIÇÃO SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEA PARA A LAGOA DE MELIDES	2
2.1	INTRODUÇÃO	2
2.2	CONTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DE ÁGUA SUPERFICIAL E DE ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	3
2.3	VOLUME DA LAGOA	4
3	ANÁLISE DO TEMPO DE PERCURSO E DA CARGA POLUENTE.....	7
3.1	INTRODUÇÃO	7
3.2	ANÁLISE DO TEMPO DE PERCURSO	7
3.2.1	AGRICULTURA	7
3.2.2	AGROPECUÁRIA	13
3.2.3	URBANA.....	14
3.3	ANÁLISE DA CARGA POLUENTE	17
3.3.1	ENQUADRAMENTO	17
3.3.2	AGRICULTURA	17
3.3.3	AGROPECUÁRIA.....	19
3.3.4	URBANA.....	20
3.3.5	SÍNTESE DA ANÁLISE DESENVOLVIDA	21
3.4	IMPACTO NA LAGOA DE MELIDES.....	26
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
	BIBLIOGRAFIA.....	32
	ANEXO I.....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Contributos para a lagoa de Melides.....	2
Figura 2 – Localização dos pontos que permitem traçar perfis na lagoa de Melides	5
Figura 3 – Perfil de temperatura da lagoa de Melides no dia 3 de abril de 2007	5
Figura 4 – Vista em planta do sólido que representa a lagoa de Melides	6
Figura 5 – Vista oblíqua do sólido que representa a lagoa de Melides	6
Figura 6 – Localização das parcelas culturais existentes em Melides	8
Figura 7 – Aplicação do programa MODPATH analisando o tempo de percurso de partículas	9
Figura 8 – Divisão do arrozal em subáreas.....	10
Figura 9 – Identificação das agropecuárias que poderão afetar a qualidade da lagoa de Melides.....	14
Figura 10 – Localização dos aglomerados populacionais na bacia hidrográfica da ribeira de Melides..	15
Figura 11 – Análise referente à chegada de carga poluente à lagoa de Melides.....	28
Figura 12 – Análise referente à concentração associada à carga poluente que atinge a lagoa de Melides	29

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Síntese da contribuição para a lagoa de Melides (volumes em m ³ /ano).....	4
Quadro 2 – Análise do tempo de percurso de uma partícula com origem no arrozal.....	10
Quadro 3 – Análise do tempo de percurso de uma partícula com origem na vinha V1.....	11
Quadro 4 – Análise do tempo de percurso de uma partícula com origem na vinha V2.....	11
Quadro 5 – Análise do tempo de percurso de uma partícula com origem nos pomares de P1 a P9	11
Quadro 6 – Análise do tempo de percurso de uma partícula com origem nos pomares de P10 a P18 .	12
Quadro 7 – Análise do tempo de percurso de uma partícula com origem nas parcelas de culturas temporárias.....	12
Quadro 8 – Análise do tempo de percurso de uma partícula com origem na parcela com sistemas culturais SC1	12
Quadro 9 – Análise do tempo de percurso de uma partícula com origem nas parcelas com sistemas culturais SC2 a SC9	13
Quadro 10 – Análise do tempo de percurso de uma partícula com origem nas parcelas com sistemas culturais SC10 a SC14	13
Quadro 11 – Análise do tempo de percurso de uma partícula com origem nas parcelas com um misto de pomares e vinhas	13
Quadro 12 – Análise do tempo de percurso de uma partícula com origem na agropecuária.....	14
Quadro 13 – Análise do tempo de percurso de uma partícula com origem nas zonas urbanas	16
Quadro 14 – Carga de nitrato por tipo de cultura – Aplicação usual, necessidade da planta e nitrato restante.....	18
Quadro 15 – Carga de fosfato por tipo de cultura – Aplicação usual, necessidade da planta e nitrato restante.....	18
Quadro 16 – Área do arrozal.....	19
Quadro 17 – Área das culturas temporárias	19
Quadro 18 – Área da parcela mista de pomar e vinha.....	19
Quadro 19 – Área dos pomares (de P1 a P8).....	19
Quadro 20 – Área dos pomares (de P9 a P18).....	19
Quadro 21 – Área das parcelas com sistemas culturais (SC1 a SC7).....	19
Quadro 22 – Área das parcelas com sistemas culturais (SC8 a SC14).....	19
Quadro 23 – Área das parcelas de vinha.....	19
Quadro 24 – Carga de nitrato produzido por tipo de animal	19
Quadro 25 – Carga de fosfato produzido por tipo de animal.....	20
Quadro 26 – Número de cabeças de gado por residência com agropecuária	20
Quadro 27 – Carga poluente de nitrato Kjeldahl e de fósforo por zona urbana existente no caso de estudo.....	21
Quadro 28 – Carga de nitrato das fontes poluidoras e sua contribuição percentual; Tempo de percurso de uma partícula de poluente desde a parcela até à lagoa de Melides	22
Quadro 29 – Carga de fosfato e fósforo das fontes poluidoras e sua contribuição percentual	25
Quadro 30 – Impacto na lagoa de Melides das cargas de nitratos provenientes da agricultura	26
Quadro 31 – Impacto na lagoa de Melides das cargas de fosfato P2O5 provenientes da agricultura ...	27
Quadro 32 – Impacto na lagoa de Melides das cargas de nitratos provenientes da pecuária	27
Quadro 33 – Impacto na lagoa de Melides das cargas de fosfato P2O5 provenientes da pecuária	27
Quadro 34 – Impacto na lagoa de Melides das cargas de nitratos provenientes das zonas urbanas....	27
Quadro 35 – Impacto na lagoa de Melides das cargas de fósforo provenientes das zonas urbanas.....	28

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.

O presente relatório corresponde a uma análise do contributo para a componente do Laboratório Nacional de Engenharia Civil para a tarefa 7 do projeto PROWATERMAN.

A tarefa 7 do projeto corresponde à tarefa final, 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”.

Este relatório é um suporte ao desenvolvimento de medidas de mitigação integradas que visam o melhoramento da qualidade da lagoa de Melides.

Apresenta-se neste relatório o tempo de chegada de poluentes por fontes poluidoras desde a sua produção até à lagoa de Melides e o valor da carga de poluente, nomeadamente nitratos e fosfatos, por fonte poluidora.

2 Contribuição superficial e subterrânea para a Lagoa de Melides

2.1 Introdução

De forma a analisar o impacto de cada fonte poluidora na lagoa de Melides é necessário considerar que a poluição pode afluir à lagoa de Melides por dois contributos: (1) por água superficial (ribeiras, escoamento direto) ou (2) por água subterrânea (diretamente à lagoa ou afluindo às ribeiras que, por sua vez, afluem à lagoa). Existe ainda a possibilidade de descargas de poluição diretamente na lagoa, sendo que esta hipótese será excluída por desconhecimento.

Assim, a contribuição para a lagoa de Melides de água com poluentes pode ser representada pela Figura 1.

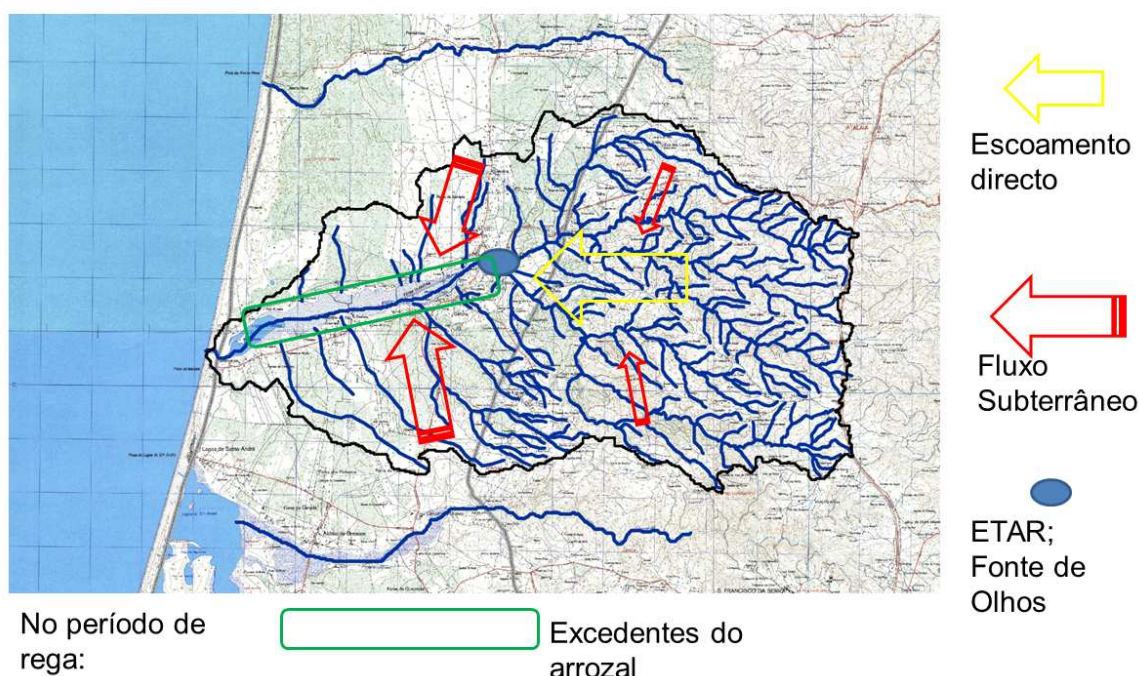


Figura 1 – Contributos para a lagoa de Melides

Separando em diferentes parcelas é possível indicar que a lagoa de Melides recebe água dos diferentes contributos:

- Ribeira de Melides e seus afluentes;
- Água subterrânea que aflui diretamente à lagoa;
- Água subterrânea que aflui à ribeira;
- Excedentes de água do arrozal;
- Água da ETAR de Melides;
- Água da ETAR de Vale Figueira (Melides);
- Excedentes da Fonte de Olhos em Melides.

A correta análise dos volumes de água de cada contribuição necessita de uma boa ponderação pois as origens encontram-se interligadas.

O presente capítulo pretende analisar em termos quantitativos a contribuição de água para a lagoa, quer em termos de volume de chegada a esta, quer em termos de tempo de percurso desde uma fonte poluidora até à lagoa.

Considerou-se que toda a água que atinge a ribeira de Melides irá atingir a lagoa em menos de meio ano (tempo de percurso da água superficial). Esta simplificação faz sentido tendo em conta a dimensão da bacia hidrográfica da ribeira de Melides.

2.2 Contribuição percentual de água superficial e de água subterrânea

Como referido na introdução, neste capítulo pretende-se analisar a contribuição para a lagoa de Melides, em termos de volume de água de diferentes origens, ou seja, água subterrânea e água superficial, contribuição natural e contribuição humana.

O Quadro 1 sintetiza os volumes de água calculados que afluem à lagoa anualmente. Estes valores foram obtidos ao longo do projeto PROWATERMAN e dizem respeito aos estudos elaborados, nomeadamente, para o escoamento direto a análise com o programa BALSEQ_MOD (cf. Oliveira *et al.*, 2011) e para o fluxo subterrâneo a análise desenvolvida com recurso ao modelo matemático (cf. Oliveira *et al.*, 2012).

No Quadro 1 apresentam-se diferentes informações referentes ao fluxo subterrâneo que aflui à ribeira de Melides:

- Volume calculado pelo modelo de Oliveira *et al.* (2012) – Corresponde ao volume do fluxo subterrâneo que aflui à ribeira de Melides, que por sua vez atinge a lagoa, e que foi obtido pelo modelo desenvolvido e apresentado em Oliveira *et al.* (2012);
- Recarga zona arenosa da bacia – Corresponde ao volume médio de recarga na zona arenosa da bacia hidrográfica da ribeira de Melides, calculado pelo programa BALSEQ_MOD e apresentado em Oliveira *et al.* (2011);
- Volume calculado pelo modelo de Monteiro *et al.* (2008) – Corresponde ao volume médio do fluxo subterrâneo que aflui à ribeira de Melides, que por sua vez atinge a lagoa, e que foi obtido pelo modelo desenvolvido e apresentado em Monteiro *et al.* (2008).

A apresentação destas diferentes informações deve-se ao desconhecimento da extração de água subterrânea de poços (aquífero superficial), do volume de drenagem de água do aquífero superficial para aquífero profundo e de outras saídas desconhecidas de água subterrânea do aquífero poroso. Realce para o facto de que estas variáveis não foram consideradas no modelo de Oliveira *et al.* (2012).

Quadro 1 – Síntese da contribuição para a lagoa de Melides (volumes em m³/ano, exceto Total)

	Escoamento		Contribuição subterrânea*			ETARs (Melides e Vale Figueira)	Total (hm ³ /ano)
	Na zona arenosa	Na zona xistosa	Volume calculado na área do modelo (1)	Recarga zona arenosa da bacia	Volume médio cedido do meio subterrâneo para o superficial (2)		
Volume de chegada	2 594 876	11 225 082	6 139 301	5 269 858	4 998 456	40 956	[19 ; 20]
Contribuição percentual**	[12,9%; 13,8%]	[56,1%; 59,5%]	30,7%	27,5%	26,5%	~0,2%	100 %

* Para o total apenas se considera uma das três possíveis contribuições

** Os intervalos apresentados dizem respeito aos três valores de volume total obtidos devido aos três possíveis valores de contribuição subterrânea

(1) Oliveira *et al.* (2012)

(2) Monteiro *et al.* (2008)

O volume total é obtido pela soma da contribuição do escoamento na zona arenosa, da contribuição do escoamento da zona xistosa, da contribuição da ETAR e de um dos três possíveis valores de contribuição subterrânea.

No Quadro 1 o valor do escoamento na zona arenosa corresponde ao volume médio anual de escoamento direto obtido pelo programa BALSEQ_MOD. O valor do escoamento na zona xistosa corresponde ao somatório do volume do escoamento direto com o volume de recarga natural naquela zona, valores obtidos pelo programa BALSEQ_MOD. Esta soma parte do pressuposto que toda a água (ou pelo menos grande parte) que é recarregada na zona xistosa atinge uma linha de água acabando por formar escoamento superficial.

O volume das duas ETAR corresponde ao somatório dos dois valores registados em 2009 e disponíveis no INSAAR.

O Quadro 1 apresenta igualmente a contribuição percentual de cada fator onde é possível analisar que a contribuição das ETAR é a mais baixa e a contribuição anual do escoamento direto na zona xistosa é a mais elevada.

O presente quadro exclui a contribuição da água proveniente dos excedentes de Fonte de Olhos visto que foi identificada qualidade aceitável em Oliveira *et al.* (2011).

Verificou-se que o valor de água que aflui à lagoa anualmente encontra-se num intervalo entre os 19 hm³/ano e os 20 hm³/ano.

2.3 Volume da lagoa

Com o intuito de se entender o real efeito da carga das fontes poluidoras na lagoa de Melides é necessário entender a capacidade de diluição da lagoa. Uma massa de água será mais ou menos afetada por uma carga poluente conforme o seu volume. A presente secção relata o cálculo do volume aproximado da lagoa de Melides.

Inicialmente é necessário considerar que o volume da lagoa não é constante ao longo do ano e entre os anos. Este facto deve-se, obviamente, às estações do ano, aos regimes de precipitação anuais (anos mais secos ou mais húmidos), à ligação da lagoa à ribeira de Melides, à forte

interação entre a lagoa e a água subterrânea (cf. Oliveira *et al.*, 2012) e às aberturas periódicas (forçadas ou naturais) da lagoa ao mar.

Considerando a questão acima referida, o cálculo do volume da lagoa foi majorado, ou seja, procedeu-se ao cálculo do volume máximo da lagoa, antes da abertura artificial ao mar.

Freitas *et al.* (2008) procederam a um estudo detalhado sobre o estado ambiental da lagoa de Melides em termos de características biológicas. Esse trabalho resultou dum protocolo entre a CCDR Alentejo e a Faculdade de Ciências de Lisboa e apresenta, entre outras análises, um estudo sobre a estratificação física e química da lagoa.

Ao analisar a estratificação física e química da lagoa Freitas *et al.* (2008) em diferentes pontos, nomeadamente, nos seis pontos identificados na Figura 2, foi possível identificar a profundidade da lagoa nesses locais.



Figura 2 – Localização dos pontos que permitem traçar perfis na lagoa de Melides (Retirado de Freitas *et al.*, 2008)

A Figura 3 representa um perfil desenvolvido por Freitas *et al.* (2008) com os pontos A, B, C e D. Este perfil corresponde à temperatura da água da lagoa no dia 3 de abril de 2007.

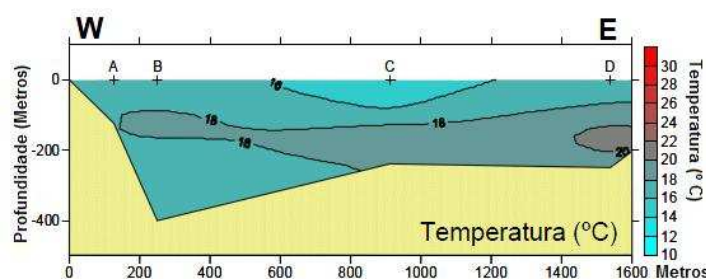


Figura 3 – Perfil de temperatura da lagoa de Melides no dia 3 de abril de 2007 (Adaptado de Freitas *et al.*, 2008)

Utilizando as profundidades à data de 3 de abril de 2007 fornecidas por Freitas *et al.* (2008) e o programa de desenvolvimento de imagens tridimensionais do programa GIS 6.5 (AQUAVEO, 2010) foi possível desenvolver um sólido que represente, de forma aproximada, a lagoa de Melides no início de abril de 2007. A Figura 4 representa a visualização em planta do sólido desenvolvido que pretende ser uma reprodução da lagoa de Melides em abril de 2007 e a Figura 5 representa a vista oblíqua do mesmo sólido.



Figura 4 – Vista em planta do sólido que representa a lagoa de Melides

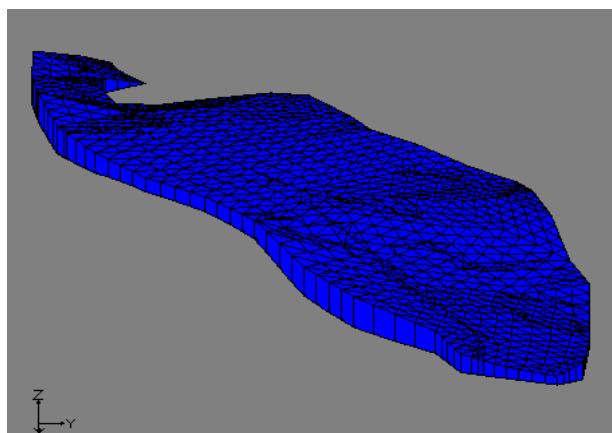


Figura 5 – Vista oblíqua do sólido que representa a lagoa de Melides

O sólido obtido apresenta um volume de 1 592 674 m³. Sendo um volume calculado por excesso, define-se que o volume máximo da lagoa é, aproximadamente, 1,5 hm³.

3 Análise do tempo de percurso e da carga poluente

3.1 Introdução

Este capítulo apresenta dois objetivos principais:

1. A análise do tempo de percurso médio de uma partícula desde a fonte poluidora até à lagoa de Melides,
2. A análise da carga de poluente (nomeadamente, nitrato e fosfato) produzido por fonte poluidora.

Com o intuito de se desenvolver o primeiro objetivo utilizou-se o modelo desenvolvido em Oliveira *et al.* (2012) e o programa MODPATH (<http://www.modflow.com/modpath/modpath.html>) que funciona com o programa MODFLOW (McDonald & Harbaugh, 1988) permitindo analisar o movimento e o tempo de percurso de uma partícula.

Em anexo (Anexo I) encontra-se uma descrição do programa de modelação de fluxo subterrâneo MODFLOW e o seu modo de funcionamento.

3.2 Análise do tempo de percurso

3.2.1 Agricultura

A agricultura é, ainda, uma das principais fontes de poluição ao nível da água subterrânea podendo contribuir, posteriormente, para outros problemas ao nível superficial, tal como, a eutrofização.

Como referido anteriormente, a lagoa de Melides apresenta sérios problemas de eutrofização. Em Oliveira *et al.* (2011) verificou-se a existência de valores de nitrato demasiado elevados na água subterrânea. Este composto, entre outras fontes, apresenta a agricultura como principal origem devido aos fertilizantes usados nas culturas.

Na análise do tempo de percurso e da carga poluente que atinge a ribeira de Melides (e posteriormente a lagoa de Melides) ao nível da agricultura fez-se uma análise por tipo de culturas identificadas em Lourenço *et al.* (2011). Para esta análise consideraram-se duas áreas em separado: 1) a zona dos arrozais e 2) as outras culturas.

Para o caso do arrozal fez-se uma análise mais cuidada do tempo de percurso de uma partícula. Nos outros casos a análise do tempo de percurso foi feita na zona central da parcela de cada cultura obtendo assim um valor médio.

A Figura 6 representa a localização das diferentes culturas identificadas no caso de estudo em Melides.

Tipo de cultura / pecuária	Pomar	Vinha	Cultura temporária	Sistemas culturais	Pomares e Vinha	Ovinicultura	Bovinicultura	Suinicultura
Sigla	P	V	CT	SC	PV	Ovi	Bov	Sui

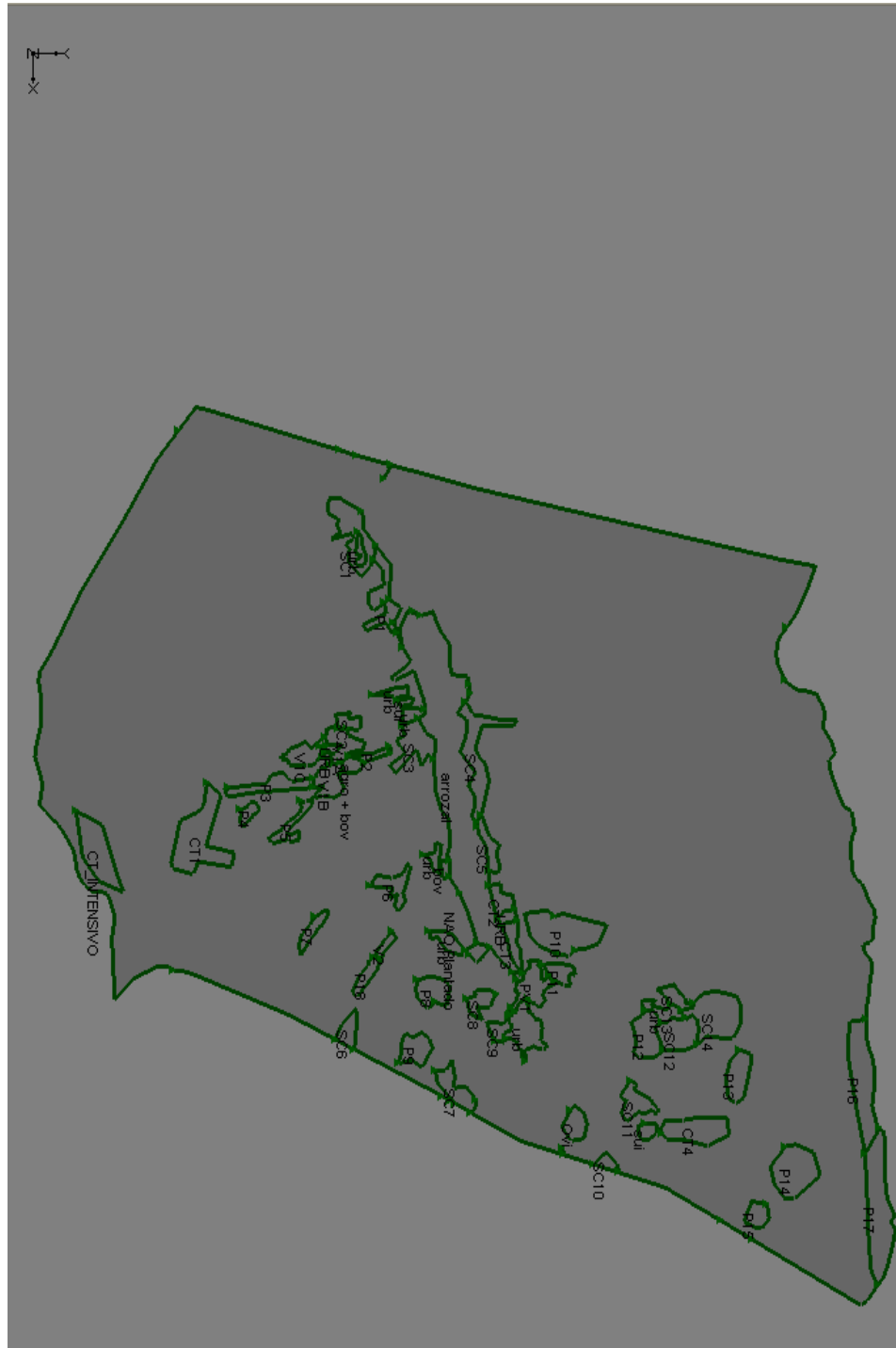


Figura 6 – Localização das parcelas culturais existentes em Melides

Após corrida do programa MODPATH (disponível e funcional em conjunto com o programa MODFLOW) obteve-se a Figura 7 que corresponde à visualização do movimento subterrâneo de partículas com início nas culturas e fim na água superficial (ribeira de Melides ou afluentes).

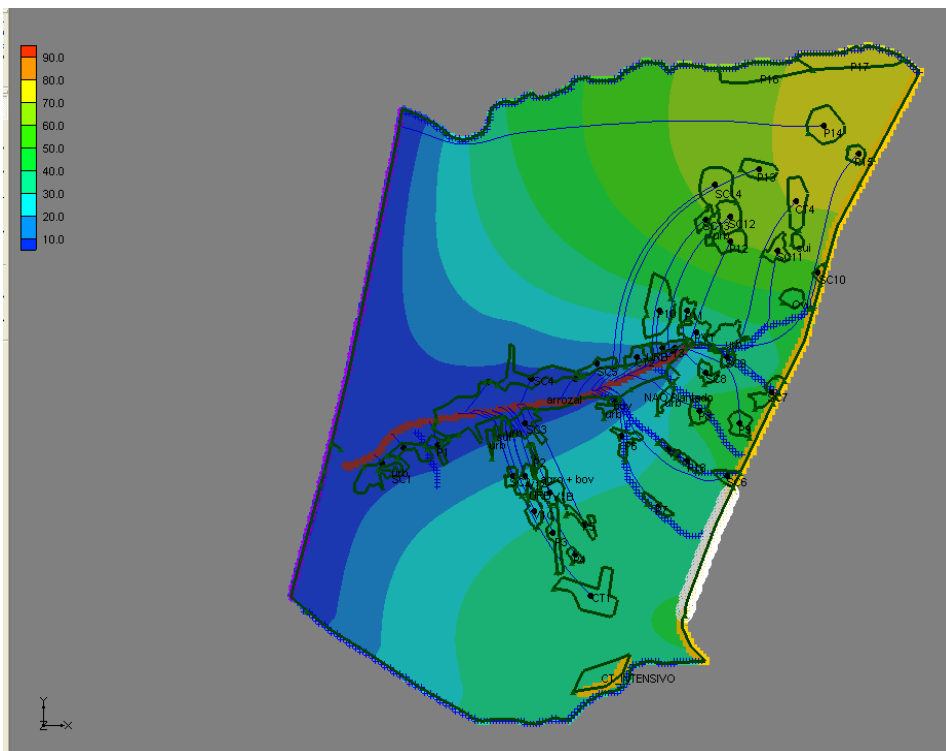


Figura 7 – Aplicação do programa MODPATH analisando o tempo de percurso de partículas

O programa MODPATH foi aplicado ao modelo em condições de inverno e em condições de verão (cf. Oliveira *et al.*, 2012).

A. Arrozal

No caso do arrozal houve uma necessidade, devido à sua importância e dimensão, de dividir a área do arrozal (141 hectares) em três subáreas. A divisão foi feita tendo em conta uma geometria aproximadamente homogénea e é a que se apresenta na Figura 8.

A análise do tempo de percurso de uma partícula desde a sua entrada no meio subterrâneo na zona do arrozal até à sua saída para o meio superficial apenas foi aplicada ao modelo de verão visto que o arrozal não é cultivado durante o outono e o inverno.

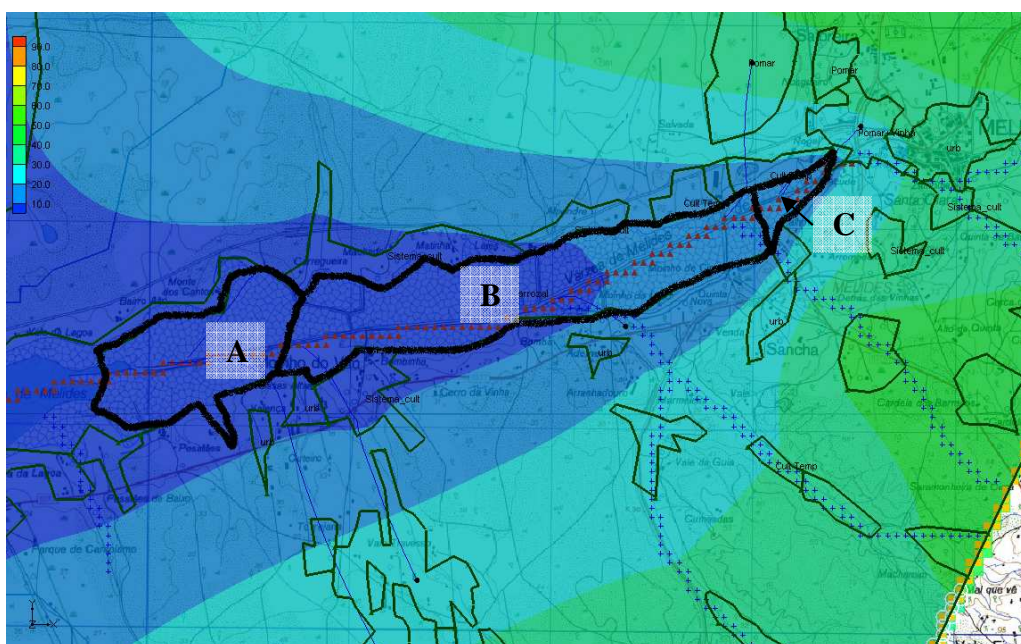


Figura 8 – Divisão do arrozal em subáreas

Após a divisão da área do arrozal procedeu-se a uma análise do tempo de percurso de uma partícula do ponto mais afastado de cada uma das três áreas. Analisando esse tempo de percurso máximo e tendo em conta a percentagem de área ocupada por cada subárea obtiveram-se os resultados apresentados no Quadro 2. No mesmo quadro apresentam-se os cálculos da contribuição percentual multiplicada com o tempo de percurso máximo.

Quadro 2 – Análise do tempo de percurso de uma partícula com origem no arrozal

	Arrozal		
	A	B	C
Tempo de percurso máximo (dias)	667,5	456,2	54,7
Tempo de percurso máximo (anos)	1,83	1,25	0,15
Tempo de percurso médio (dias) *	333,8	228,1	27,4
Área (m²)	467 000	884 000	65 000
Contribuição percentual (em termos de área)	32,9%	62,4%	4,6%
Contribuição percentual X Tempo máximo (anos)	0,60	0,78	0,01

*Considerou-se que o tempo do percurso médio correspondia a metade do tempo máximo

O tempo de percurso máximo de uma partícula poluente no arrozal é a soma de todas as três contribuições, isto é, a soma de A mais B mais C.

Desta forma, o tempo máximo da carga poluente no arrozal é 1,4 anos, ou seja, ano e meio. O tempo médio é, aproximadamente, 0,7 anos, isto é, 255 dias (menos de um ano).

Os resultados obtidos permitem concluir que qualquer medida mitigadora de poluição aplicada aos arrozais num determinado ano teria efeito no ano seguinte na lagoa e, em sentido inverso, uma maior pressão qualitativa num ano no arrozal terá maior impacto logo no ano seguinte.

B. Vinhas

Lourenço *et al.* (2011) identificaram duas zonas de vinhas em Melides, tendo sido identificadas como V1 e V2.

O Quadro 3 representa uma análise para a parcela V1 (subdividida em três subparcelas) do tempo de percurso médio de uma partícula desde a sua entrada no meio subterrâneo até à sua saída para o meio superficial. Para o caso da parcela V1 verifica-se que uma determinada medida de mitigação terá impacte 34 anos depois da sua implementação.

Quadro 3 – Análise do tempo de percurso de uma partícula com origem na vinha V1

	V1			
	A	B	C	
Tempo percurso - modelo verão (dias)	5817	7310	13313	
Tempo percurso - modelo inverno (dias)	10047	11876	30147	
Tempo médio (dias)	7932	9593	21730	
Tempo médio (anos)	22	26	60	
Área (m²)	94 408	89 459	80 311	
Contribuição percentual	35,7%	33,9%	30,4%	
Contribuição percentual X Tempo médio	7	8	18	34

O Quadro 4 representa o tempo de percurso médio de uma partícula de poluente partindo da parcela de vinha V2 (em dias e em anos).

Quadro 4 – Análise do tempo de percurso de uma partícula com origem na vinha V2

	V2
Tempo percurso - modelo verão (dias)	4124
Tempo percurso - modelo inverno (dias)	2773
Tempo médio (dias)	3449
Tempo médio (anos)	9

C. Pomar

Os Quadro 5 e Quadro 6 sintetizam a análise sobre o tempo de percurso desenvolvida para as 18 zonas de pomar identificadas por Lourenço *et al.* (2011).

Quadro 5 – Análise do tempo de percurso de uma partícula com origem nos pomares de P1 a P9

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Tempo percurso - modelo verão (dias)	287	1719	17798	27395	28779	186	592	10278	17325
Tempo percurso - modelo inverno (dias)	433	2949	38390	49327	25137	5895	8999	9980	39168
Tempo médio (dias)	360	2334	28094	38361	26958	3040.5	4796	10129	28246
Tempo médio (anos)	1	6	77	105	73	8	13	27	77

Quadro 6 – Análise do tempo de percurso de uma partícula com origem nos pomares de P10 a P18

	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18
Tempo percurso - modelo verão (dias)	2962	1944	10678	50546	Não vai para a lagoa	72547	Não vai para a lagoa	Não vai para a lagoa	350
Tempo percurso - modelo inverno (dias)	4839	3191	16195	63510		86918			7770
Tempo médio (dias)	3900	2567	13436	57028		79732			4060
Tempo médio (anos)	10	7	36	156		218			11

D. Culturas temporárias (Hortícolas)

O Quadro 7 corresponde à análise seguida anteriormente para identificação do tempo de percurso aplicada às quatro zonas de culturas temporárias identificadas em Lourenço *et al.* (2011).

Quadro 7 – Análise do tempo de percurso de uma partícula com origem nas parcelas de culturas temporárias

	CT1	CT2	CT3	CT4
Tempo percurso - modelo verão (dias)	78879	365	247	29188
Tempo percurso - modelo inverno (dias)	74023	576	354	68621
Tempo médio (dias)	76451	470	300	48904
Tempo médio (anos)	209	1	1	134

E. Sistemas culturais

Lourenço *et al.* (2011) identificaram 14 parcelas de sistemas culturais no caso de estudo de Melides. Aplicou-se o programa MODPATH às diferentes parcelas, resultando a análise apresentada nos Quadro 8 a Quadro 10.

Quadro 8 – Análise do tempo de percurso de uma partícula com origem na parcela com sistemas culturais SC1

	SC1	
	A	B
Tempo percurso - modelo verão (dias)	164	326
Tempo percurso – modelo inverno (dias)	sai para o mar	452
Tempo médio (dias)	164	389
Tempo médio (anos)	0,45	1,07
Área (m²)	179970	77883
Contribuição percentual	69,8%	30,2%
Contribuição percentual X Tempo	0,3	0,3

Quadro 9 – Análise do tempo de percurso de uma partícula com origem nas parcelas com sistemas culturais SC2 a SC9

	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9
Tempo percurso Verão (dias)	7489	193	539	541	27627	1086	1781	201
Tempo percurso Inverno (dias)	11550	318	876	927	36427	1500	9980	414
Tempo médio (dias)	9519	255	707	734	32027	1293	5880	307
Tempo médio (anos)	26	1	2	2	88	3	16	1

Quadro 10 – Análise do tempo de percurso de uma partícula com origem nas parcelas com sistemas culturais SC10 a SC14

	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14
Tempo percurso Verão (dias)	2315	7513	34629	29191	33498
Tempo percurso Inverno (dias)	25851	65355	22751	22860	38891
Tempo médio (dias)	14083	36434	28690	26025	36194
Tempo médio (anos)	38,6	99,8	78,6	71,3	99,2

F. Pomares e Vinhas (sistemas mistos)

Apenas uma parcela foi identificada em Lourenço *et al.* (2011) como sendo uma zona mista de pomares e vinhas. À parcela, denominada de PV, aplicou-se a análise de tempo de percurso e obteve-se o Quadro 11.

Quadro 11 – Análise do tempo de percurso de uma partícula com origem nas parcelas com um misto de pomares e vinhas

	PV
Tempo percurso - modelo verão (dias)	140
Tempo percurso - modelo inverno (dias)	519
Tempo médio (dias)	330
Tempo médio (anos)	1

3.2.2 Agropecuária

Em relação à agropecuária como fonte poluidora para a lagoa de Melides o trabalho da CCDD (2006) relata um conjunto de residenciais que possuem três tipos de criação de animais: criação de gado suíno, de gado bovino e de gado ovino.

A Figura 9 representa a localização das residenciais com agropecuária existentes na zona em estudo.

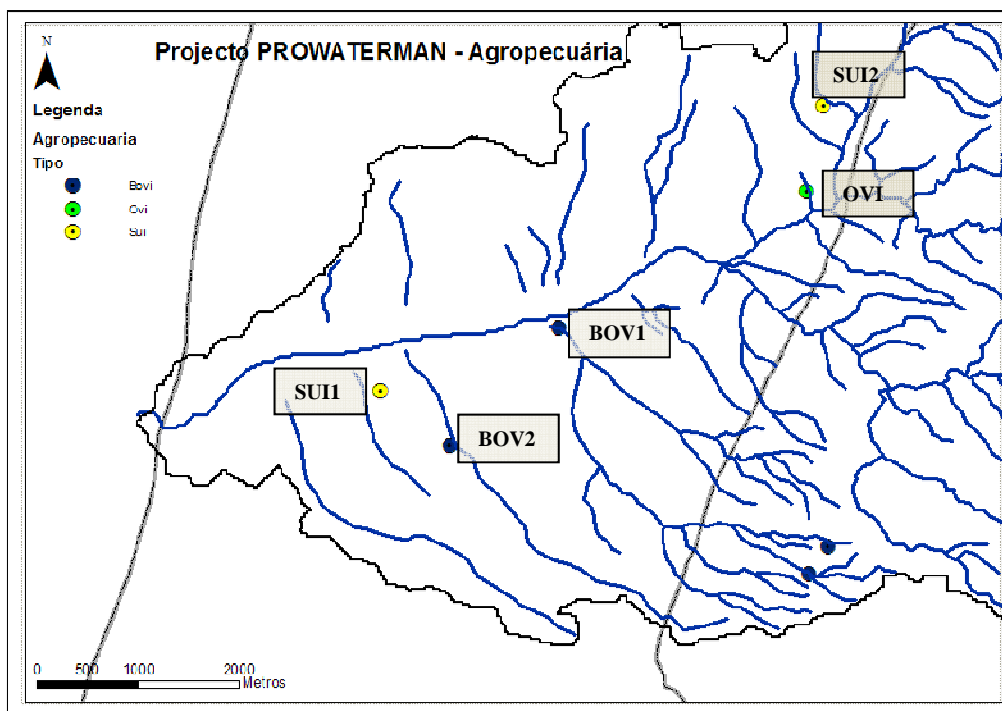


Figura 9 – Identificação das agropecuárias que poderão afetar a qualidade da lagoa de Melides

CCDR (2006) indica que todas as residências com criação de gado aplicam a técnica de espalhamento do estrume dos animais pelo solo; como tal, a agropecuária deverá ser considerada uma forte fonte poluidora.

Aplicando a análise anteriormente apresentada foi possível obter-se o Quadro 12. O presente quadro diz respeito apenas às cinco residências com criação de gado existentes simultaneamente na bacia hidrográfica da ribeira de Melides e no sistema aquífero de Sines.

Quadro 12 – Análise do tempo de percurso de uma partícula com origem na agropecuária

	SUI1	SUI2	BOV1	BOV2	OVI
Tempo percurso – modelo verão (dias)	1339	4263	10	2633	448
Tempo percurso – modelo inverno (dias)	1477	11482	64	6180	308
Tempo médio (dias)	1408	7873	37	4407	378
Tempo médio (anos)	4	22	0	12	1

3.2.3 Urbana

No caso da parte urbana como fonte poluidora da lagoa existem duas grandes origens, as Estações de Tratamento de Águas Residuais, que contribuem ao nível da parte superficial dos poluentes e as fossas, que contribuem ao nível da poluição pontual da água subterrânea e que, por sua vez, aflui à ribeira e à lagoa.

As Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) têm como objetivo principal a recolha de água residual de forma a proceder a um determinado tratamento, descarregando o resultado do tratamento para um meio recetor. O tratamento pode ser secundário ou terciário e, em nenhum dos casos, se obtém água 100% potável, logo, a água residual tratada apresenta alguns poluentes que irão se misturar com o meio recetor. No caso da ribeira de Melides existem duas

Quadro 13 – Análise do tempo de percurso de uma partícula com origem nas zonas urbanas

Localidade	Tempo de percurso	MAX	MIN
Azenha da lagoa	Modelo de verão (em dias)	2489	654
	Modelo de inverno (em dias)	3619	951
	Médio (em dias)	3054	802
	Médio (em anos)	8	2
Valença	Modelo de verão (em dias)	2847	737
	Modelo de inverno (em dias)	4591	1160
	Médio (em dias)	3719	949
	Médio (em anos)	10	3
Vale Travesso	Modelo de verão (em dias)	9983	6543
	Modelo de inverno (em dias)	18507	11563
	Médio (em dias)	14245	9053
	Médio (em anos)	39	25
Moinho do Vau	Modelo de verão (em dias)	472	449
	Modelo de inverno (em dias)	1084	970
	Médio (em dias)	778	710
	Médio (em anos)	2	2
Aderneira	Modelo de verão (em dias)	514	110
	Modelo de inverno (em dias)	873	451
	Médio (em dias)	694	281
	Médio (em anos)	2	1
Sancha	Modelo de verão (em dias)	996	866
	Modelo de inverno (em dias)	3628	2289
	Médio (em dias)	2312	1578
	Médio (em anos)	6	4
Salvada	Modelo de verão (em dias)	455	140
	Modelo de inverno (em dias)	1310	445
	Médio (em dias)	883	293
	Médio (em anos)	2	1
Caveira	Modelo de verão (em dias)	20819	10713
	Modelo de inverno (em dias)	24942	15820
	Médio (em dias)	22881	13267
	Médio (em anos)	63	36
Sesmarias	Modelo de verão (em dias)	2209	100
	Modelo de inverno (em dias)	3410	125
	Médio (em dias)	2810	113
	Médio (em anos)	7	0,31
Parque Campismo	Modelo de verão (em dias)	15000	125
	Modelo de inverno (em dias)	21000	150
	Médio (em dias)	18000	138
	Médio (em anos)	49	0,38

3.3 Análise da carga poluente

3.3.1 Enquadramento

O objetivo principal desta secção é analisar em cada uma das três fontes poluidoras qual a contribuição, ao nível de carga poluente de nitratos e de fosfatos (ou fósforo), de cada uma delas. A contribuição de carga poluente foi analisada em termos de massa, neste caso, quilogramas.

3.3.2 Agricultura

Em relação à agricultura tornou-se necessário analisar a carga de nitratos e de fosfatos aplicada em cada cultura, quanto é que a planta necessita destes nutrientes e a área de cada parcela.

Vários autores, tais como Soveral Dias (1999) e Agostinho e Pimentel (2005), indicam que os agricultores tendem, com o intuito de duplicar a sua produção, a aplicar o dobro da adubagem necessária pela planta. No entanto, Agostinho e Pimentel (2005) provaram que tal prática é incorreta visto que o solo já apresenta quantidades de nutrientes suficientes (da cultura anterior, da decomposição de matéria orgânica, etc.) para não ser necessária uma aplicação elevada de nutrientes.

Soveral Dias (1999) estima “que num solo normal se percam por desnitrificação 10 a 15% do azoto nítrico que anualmente é produzido pela mineralização da matéria orgânica do solo e do que nele é incorporado sob a forma de adubos químicos. Estas perdas poderão atingir níveis muito superiores em solos com má drenagem onde o fenómeno ocorre com maior frequência e intensidade”. Para além da desnitrificação, Soveral Dias (1999) referiu que existem perdas de nitrato sob forma gasosa para atmosfera devido a mecanismos de volatilização sob forma de amoníaco à superfície de solos alcalinos. Estas perdas podem chegar aos 50% em casos muito desfavoráveis. Para o caso considerou-se que as perdas gasosas de nitratos (quer por desnitrificação, quer por volatilização) seriam de 10% no total.

Soveral Dias (1999) indica que semelhante comportamento ocorre com o fosfato onde existe uma perda do nutriente superior a 10%.

Assim, considerando os valores das necessidades de nutrientes das plantas, obtidos em literatura especializada (Soveral Dias, 1999; Agostinho e Pimentel, 2005), considerando que os agricultores seguem aproximadamente o mesmo comportamento relativamente à adubagem e considerando as perdas por desnitrificação e volatilização, obteve-se o Quadro 14. O presente quadro relaciona as culturas identificadas no caso de estudo com a carga de nitrato que não é consumida pela planta nem se perde por desnitrificação ou volatilização.

Quadro 14 – Carga de nitrato por tipo de cultura – Aplicação usual, necessidade da planta e nitrato restante

Corine Land Cover	Tipo	Aplicação usual (kg/ha)	Necessidade da planta (kg/ha)	Nitrato que sobra a poluir (kg/ha)
Culturas temporárias	Hortícolas (valor médio de hortícolas)	240	120	96
Vinhas	Vinhas	100	50	40
Pomar	Pomóideas	80	40	32
Vinhas + Pomar	50% Pomar + 50% Vinha	90	45	36
Sistemas culturais	25% Hortícolas + 25% Vinhas + 25% Pomares + 25% Prado	105	53	42
Arroz	Arroz	100	50	40

No Quadro 14 as colunas “Corine Land Cover” e “Tipo” correspondem às culturas agrícolas identificadas em Lourenço *et al.* (2011), a coluna “Aplicação usual” corresponde à quantidade de nitrato aplicado pelo agricultor, a coluna “Necessidade da planta” corresponde às necessidades tabeladas por cultura e a coluna “Nitrato que sobra a poluir” corresponde a 90% da subtração entre a aplicação usual e o valor da necessidade da planta.

Considerando as áreas de cada parcela identificada na área em estudo e a respetiva carga de nitratos enquanto poluente é possível obter a carga de poluente inicial por parcela.

No caso dos fosfatos aplicou-se análise semelhante e obteve-se, com informação fornecida de Soveral Dias (1999), o Quadro 15.

Quadro 15 – Carga de fosfato por tipo de cultura – Aplicação usual, necessidade da planta e nitrato restante

Corine Land Cover	Tipo	Aplicação usual (kg/ha)	Necessidade da planta (kg/ha)	Fosfato que sobra a poluir (kg/ha)
Culturas temporárias	Hortícolas (valor médio de hortícolas)	96	48	43,2
Vinhas	Vinhas	60	30	27,0
Pomar	Pomóideas	32	16	14,4
Vinhas + Pomar	50% Pomar + 50% Vinha	46	23	18,4
Sistemas culturais	25% Hortícolas + 25% Vinhas + 25% Pomares + 25% Prado	47	23.5	18,8
Arroz	Arroz	85	42	38,7

Os Quadro 16 a Quadro 23 apresentam as áreas de cada parcela das culturas identificadas no caso de estudo.

Quadro 16 – Área do arrozal

Parcela	Área (m ²)	
Arrozal	A	467000
	B	884000
	C	65000

Quadro 17 – Área das culturas temporárias

Parcela	Área (m ²)
CT1	294878
CT2	55311
CT3	57686
CT4	167015

Quadro 18 – Área da parcela mista de pomar e vinha

Parcela	Área (m ²)
PV	115170

Quadro 19 – Área dos pomares (de P1 a P8)

Parcela	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Área (m ²)	57502	25860	100782	29184	56273	72772	46963	93687

Quadro 20 – Área dos pomares (de P9 a P18)

Parcela	P9	P10	P11	P12	P13	P15	P18
Área (m ²)	88903	276801	52186	122879	106979	54049	46936

Quadro 21 – Área das parcelas com sistemas culturais (SC1 a SC7)

Parcela	SC1_A	SC1_B	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7
Área (m ²)	179970	77883	35419	131193	206794	62035	56101	93717

Quadro 22 – Área das parcelas com sistemas culturais (SC8 a SC14)

Parcela	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14
Área (m ²)	53025	38751	27273	84767	133205	46255	228841

Quadro 23 – Área das parcelas de vinha

Parcela	Área (m ²)
V1_A	94408
V1_B	89459
V1_C	80311
V2	24856

3.3.3 Agropecuária

Como referido na secção 3.2.2, CCDR (2006) apresentou uma lista de locais na bacia hidrográfica da ribeira de Melides com a criação de gado bovino, suíno e ovino. Nesse mesmo trabalho apresenta-se a localização e o número de cabeças de gado por local. Soveral Dias (1999) listou por tipo de produção de gado a consequente carga poluente de nitrato associada. O Quadro 24 apresenta a carga de nitrato (kg/unid) anual por tipo de produção animal.

Quadro 24 – Carga de nitrato produzido por tipo de animal

Gado	Animal	Carga de nitrato por unidade (kg/uni)
Bovino	Bezerro de engorda (estilo intensivo)	8
	Bovino de engorda (estilo intensivo)	35
Suíno	Porco de engorda (estilo intensivo)	15
Ovino	Carneiro (estilo intensivo)	16

(Retirado de Soveral Dias, 1999)

Também em Soveral Dias (1999) encontra-se listada a produção de carga de fosfato por animal (cf. Quadro 25).

Quadro 25 – Carga de fosfato produzido por tipo de animal

Gado	Animal	Carga de fosfato (P ₂ O ₅) por unidade (kg/uni)
Bovino	Bezerro de engorda (estilo intensivo)	2,5
	Bovino de engorda (estilo intensivo)	17
Suíno	Porco de engorda (estilo intensivo)	7
Ovino	Carneiro (estilo intensivo)	6

(Retirado de Soveral Dias, 1999)

O Quadro 26 apresenta o número de cabeças de gado nas quatro residências identificadas na secção 3.2.2, esta informação foi disponibilizada em CCDR (2006).

Quadro 26 – Número de cabeças de gado por residência com agropecuária

	SUI1	SUI2	BOV1	BOV2	OVI
Número de cabeças de gado	50	16	35	39	50

CCDR (2006) indica que nestas residências aplica-se a técnica de espalhamento do estrume, como tal, todo nitrato e fosfato produzido pelos animais contribui como carga poluente.

3.3.4 Urbana

Esta secção é dedicada à análise da produção de nitrato Kjeldahl e de fósforo enquanto possíveis cargas poluentes proveniente de fossas sépticas.

Para esta análise teve-se em conta os seguintes dados:

- O número de habitantes equivalentes de cada localidade,
- A produção de poluente por habitante equivalente,
- A percentagem de remoção do poluente pelas fossas sépticas e
- A percentagem de fuga de poluentes das fossas (considerando que não são 100% estanques).

Arceivala (1981) indicou que a produção de nitrato Kjeldahl, para uma capitação média de 100 l/hab/dia é aproximadamente 10 g/hab.dia. Esta produção é, atualmente, o valor médio considerado a nível mundial, ou seja, considerado em estudos de saneamento e na falta de dados disponíveis.

Segundo Arceivala (1981) uma fossa séptica remove aproximadamente 20% do nitrato produzido. Tendo em conta a sua estanquicidade média considera-se que a fossa se encontra 80 % estanque, i.e., apresenta uma saída de poluentes para o solo de 20% do total existente na estrutura.

Segundo Paul e Sperandio (2001) a produção média de fósforo na água residual é 2,5 g/hab.dia, correspondendo à soma da produção de fósforo dos resíduos humanos (1,4 g/hab.dia), resíduos alimentares (0,3 g/hab.dia) e detergentes (0,75 g/hab.dia). Também Paul e Sperandio (2001) indicaram que os processos biológicos de tratamento (como é o caso das fossas sépticas) permitem uma remoção de fósforo de 17%.

O Quadro 27 foi desenvolvido tendo em conta os valores acima apresentados e o número de habitantes equivalentes por localidade, disponibilizado em CCDR (2006).

Quadro 27 – Carga poluente de nitrato Kjeldahl e de fósforo por zona urbana existente no caso de estudo

Localidade	Habit. Equiv.	Carga nitrato (g/ ano)	Carga a poluir anualmente (kg N /ano)	Carga fósforo (g/ ano)	Carga a poluir anualmente (kg P /ano)
Moinho de Vau	110	401500	64,2	100375	16,7
Valença	32	116800	18,7	29200	4,9
Aderneira	42	153300	24,5	38325	6,4
Sancha	60	219000	35,0	54750	9,1
Caveira	150	547500	87,6	136875	22,7
Azenha da lagoa	32	116800	18,7	29200	4,8
Vale Travesso	80	292000	46,7	73000	12,1
Salvada	65	237250	38,0	59312	9,9
Sesmarias	610	2226500	356,2	556625	92,4
Praia	550	2007500	321,2	501875	83,3
Parque Campismo	3550	12957500	2073,2	3239375	537,7

3.3.5 Síntese da análise desenvolvida

Considerando apenas as cargas poluentes conhecidas e ignorando as cargas poluentes de parcelas cujos tempos de percurso sejam superiores a 50 anos, pois admite-se que a introdução de fertilizantes, pesticidas, herbicidas e outros fitossanitários terá ocorrido apenas a partir de finais da década de 1950, no Quadro 28 é apresentada a importância relativa de cada origem de poluição e a contribuição de cada parcela para a carga de nitratos final anual.

Quadro 28 – Carga de nitrato das fontes poluidoras e sua contribuição percentual; Tempo de percurso de uma partícula de poluente desde a parcela até à lagoa de Melides

Origem da poluição	Carga poluente origem (kg/ano)	Carga poluente versus total (%)	Sector	Carga poluente (kg/ano)	Carga poluente versus total (%)	Carga poluente versus carga por origem (%)	Tempo de percurso (1)		Data de chegada do poluente (2)	
							Dias	Anos		
Arrozais	2832	16,2%	A	934	5,3%	32,98%	334	0,91	Primavera de 2011	
			B	1768	10,1%	62,43%	228	0,62	Início de 2011	
			C	130	0,7%	4,59%	≈ 28	0,07	≈ 28 dias depois	
Vínhas	578	3,3%	V2	50	0,3%	32,6%	3 449	9	2019	
			V1	A	189	1,1%	30,9%	7 932	22	2032
				B	179	1,0%	27,8%	9 593	26	2036
				C	161	0,9%	8,6%	21 750	60	2070
			P1	92	0,5%	4,7%	360	1	Primavera de 2011	
			P2	41	0,2%	2,1%	2 334	6	2016	
			P3	161	0,9%	8,2%	28 094	77	2087	
			P4	47	0,3%	2,4%	38 361	105	2115	
			P5	90	0,5%	4,6%	26 958	73	2083	
			P6	116	0,7%	5,9%	3 041	8	2018	
			P7	75	0,4%	3,8%	4 796	13	2023	
			P8	150	0,9%	7,6%	10 129	27	2037	
			P9	142	0,8%	7,2%	28 247	77	2087	
			P10	442	2,5%	22,5%	3 990	10	2020	
P11	83	0,5%	4,2%	2 565	7	2017				
P12	197	1,1%	10,0%	13 436	37	2047				
P13	171	1,0%	8,7%	57 028	156	2166				
P14			Não vai para a lagoa							
P15	86	0,5%	4,4%	79 732	218	2228				
P16			Não vai para a lagoa							
P17			Não vai para a lagoa							
P18	75	0,4%	3,8%	4 060	11	2021				
Pomares+vinhas	207	1,2%	100,0%	330	1	2011				
Hortas**	2759	15,7%	CT1	1415	8,1%	51,3%	76 451	209	2219	
			CT2	265	1,5%	9,6%	470	1	Primavera de 2011	
			CT3	277	1,6%	10,0%	300	0,82	Primeiro trimestre de 2011	
			CT4	802	4,6%	29,1%	48 904	134	2144	

Origem da poluição	Carga poluente por origem (kg/ano)	Carga poluente versus total (%)	Sector		Carga poluente (kg/ano)	Carga poluente versus total (%)	Carga poluente versus carga por origem (%)	Tempo de percurso (1)		Data de chegada do poluente (2)
			SC1	A				Tempo	Distância	
Sistemas culturais	3056	17,4%	SC1	A	378	2,2%	12,4%	164	0,45	≈ 3,5 meses depois
			B		164	0,9%	5,4%	389	1,07	2011
			SC2		74	0,4%	2,4%	9 519	26	2036
			SC3		276	1,6%	9,0%	255	0,70	2012
			SC4		434	2,5%	14,2%	707	2	2012
			SC5		130	0,7%	4,3%	734	2	2012
			SC6		118	0,7%	3,9%	32 027	88	2088
			SC7		197	1,1%	6,4%	1 293	3	2013
			SC8		111	0,6%	3,6%	5 880	16	2036
			SC9		81	0,5%	2,7%	307	0,84	Inícios de 2011
			SC10		57	0,3%	1,9%	14 083	39	2049
			SC11		178	1,0%	5,8%	36 434	100	2110
			SC12		280	1,6%	9,2%	28 690	79	2089
			SC13		97	0,6%	3,2%	26 025	71	2081
SC14		481	2,7%	15,7%	36 194	99	2109			
Pecuária	3043	17,4%	SUI1		675	3,9%	22,2%	1 408	4	2014
			SUI2		216	1,2%	7,1%	7 873	22	2032
			BOV1		677	3,9%	22,2%	37	0,10	≈ 37 dias depois
			BOV2		755	4,3%	24,8%	4 417	12	2022
			OVI		720	4,1%	23,7%	378	1	Primeiro trimestre de 2011
			Moinho		64,2	0,4%	2,1%	710 a 778	2	2012
Urbana (fossas)	3084	17,6%	Valença		18,7	0,1%	0,6%	949 a 3 719	3 a 10	2013 a 2020
			Aderneira		24,5	0,1%	0,8%	281 a 694	0,77 a 2	Meados de 2010 a 2012
			Sancha		35,0	0,2%	1,1%	1 578 a 2 312	4 a 6	2014 a 2016
			Caveira		87,6	0,5%	2,8%	13 267 a 22 881	36 a 63	2046 a 2073
			Azenha		18,7	0,1%	0,6%	802 a 3 504	2 a 8	2012 a 2018
			Vale Trav		46,7	0,3%	1,5%	9 053 a 14 245	25 a 39	2035 a 2049
			Salvada		38,0	0,2%	1,2%	293 a 883	0,80 a 2	Meados de 2010 a 2012
Sesmarias		356,2	2,0%	11,5%	113 a 2810	0,31 a 7	Início de 2010 a 2017			

Origem da poluição	Carga poluente por origem (kg/ano)	Carga poluente versus total (%)	Sector	Carga poluente (kg/ano)	Carga poluente versus total (%)	Carga poluente versus carga por origem (%)	Tempo de percurso (1)		Data de chegada do poluente (2)
							Não calculado	Não calculado	
Urbana (fossas)	3084	17,6%	Praia	321,2	1,8%	10,4%	Não calculado	Não calculado	Não calculado
			Parque Campismo	2073,2	11,8%	67,2%	138 a 18000	0,38 a 49	Início de 2010 a 2059
Total agricultura s/arrozais	11695								
Total poluentes	17528	100%							

(1) Admite-se que o tempo de percurso por via superficial é muito baixo comparado com tempo de percurso por via de transporte subterrâneo (2) Admite-se a entrada dos poluentes em 2010.

O Quadro 29 sintetiza a análise da carga de fosfato e fósforo das diferentes fontes poluidoras identificadas no caso de estudo.

Quadro 29 – Carga de fosfato e fósforo das fontes poluidoras e sua contribuição percentual

Origem da poluição	Carga poluente por origem (kg/ano)	Carga poluente versus total (%)	Sector	Carga poluente (kg/ano)	Carga poluente versus total (%)	Carga poluente versus carga por origem (%)	
Arrozais	2740	30,9%	A	904	10,2%	33,0%	
			B	1711	19,3%	62,4%	
			C	126	1,4%	4,6%	
Vinhas	390	4,4%	V2	34	0,4%	8,6%	
			V1	A	121	1,4%	31,0%
				B	108	1,2%	27,8%
				C	127	1,4%	32,7%
Pomares	887	10,0%	P1	41	0,5%	4,7%	
			P2	19	0,2%	2,1%	
			P3	73	0,8%	8,2%	
			P4	21	0,2%	2,4%	
			P5	41	0,5%	4,6%	
			P6	52	0,6%	5,9%	
			P7	34	0,4%	3,8%	
			P8	67	0,8%	7,6%	
			P9	64	0,7%	7,2%	
			P10	199	2,2%	22,5%	
			P11	38	0,4%	4,2%	
			P12	88	1,0%	10,0%	
			P13	77	0,9%	8,7%	
			P15	39	0,4%	4,4%	
Hortas	1242	14,0%	CT1	637	7,2%	51,3%	
			CT2	119	1,3%	9,6%	
			CT3	125	1,4%	10,0%	
			CT4	361	4,1%	29,1%	
			Sistemas culturais	1368	15,4%	SC1	A
B	73	0,8%					5,4%
SC2	33	0,4%				2,4%	
SC3	123	1,4%				9,0%	
SC4	194	2,2%				14,2%	
SC5	58	0,7%				4,3%	
SC6	53	0,6%				3,9%	
SC7	88	1,0%				6,4%	
SC8	50	0,6%				3,6%	
SC9	36	0,4%				2,7%	
SC10	26	0,3%				1,9%	
SC11	80	0,9%				5,8%	
SC12	125	1,4%				9,2%	
SC13	43	0,5%				3,2%	
SC14	215	2,4%	15,7%				
Pomares+vinhas	106	1,2%	PV	106	1,2%	100,0 %	
Pecuária	1335	15,1%	SUI1	315	3,6%	23,6%	
			SUI2	101	1,1%	7,6%	
			BOV1	307	3,5%	23,0%	
			BOV2	342	3,9%	25,6%	
			OVI	270	3,0%	20,2%	

Origem da poluição	Carga poluente por origem (kg/ano)	Carga poluente versus total (%)	Sector	Carga poluente (kg/ano)	Carga poluente versus total (%)	Carga poluente versus carga por origem (%)
Urbana (fossas)	799,9	9,0%	Moinho	16	0,2%	2,1%
			Valença	4	0,1%	0,6%
			Ademeira	6	0,1%	0,8%
			Sancha	9	0,1%	1,1%
			Caveira	23	0,3%	2,8%
			Azenha	5	0,1%	0,6%
			Vale Trav	12	0,1%	1,5%
			Salvada	10	0,1%	1,2%
			Sesmarias	92	1,0%	11,6%
			Praia	83	0,9%	10,4%
Parque Campismo	538	6,1%	67,2%			
Total poluentes	8867,94					

3.4 Impacto na lagoa de Melides

Com o intuito de analisar o impacto que as cargas poluentes têm na lagoa de Melides procede-se nesta secção à análise da concentração de poluentes admitindo que toda a carga (nitratos e fosfatos) produzida nas parcelas agrícolas, agropecuária e fossas sépticas (representadas nos Quadro 28 a Quadro 35) atinge a lagoa de Melides.

O Quadro 30 representa o impacto que a carga de nitratos das parcelas agrícolas, que apresentam um tempo de percurso de poluente inferior a um ano, pode ter na lagoa de Melides. Neste quadro representa-se uma coluna com a carga de nitrato enquanto poluente e a concentração correspondente tendo em conta o volume da lagoa calculado na secção 2.3.

Quadro 30 – Impacto na lagoa de Melides das cargas de nitratos provenientes da agricultura

	Carga kg N/ano	Concentração mg/l
Arrozal	2832	1,9
P1	92	0,1
CT2	265	0,2
CT3	277	0,2
SC1	542	0,4
SC3	276	0,2
SC9	81	0,1
PV	207	0,1
Total	4572	3,0

O Quadro 31 representa o impacto que a carga de fosfatos das parcelas agrícolas, com tempo de percurso de poluente inferior a um ano, pode ter na lagoa de Melides.

Quadro 31 – Impacto na lagoa de Melides das cargas de fosfato P2O5 provenientes da agricultura

	Carga kg P2O5/ano	Concentração mg/l
Arrozal	2741	1,8
P1	34,0	0,0
CT2	119,5	0,1
CT3	124,6	0,1
SC1	220,5	0,1
SC3	283,4	0,2
SC9	36,0	0,0
PV	105,9	0,1
Total	3663,9	2,4

O Quadro 32 e o Quadro 33 representam o impacto que as cargas de nitratos e de fosfatos das pecuárias podem ter na lagoa de Melides. Nos quadros apenas se apresentam as pecuárias que apresentam um tempo de percurso de poluente inferior a um ano.

Quadro 32 – Impacto na lagoa de Melides das cargas de nitratos provenientes da pecuária

	Carga kg N/ano	Concentração mg/l
BOV1	677	0,5
OVI	720	0,5
Total	1397	0,9

Quadro 33 – Impacto na lagoa de Melides das cargas de fosfato P2O5 provenientes da pecuária

	Carga kg P2O5/ano	Concentração mg/l
BOV1	307	0,2
OVI	270	0,2
Total	577	0,4

O Quadro 34 e o Quadro 35 representam o impacto que as cargas de nitratos e de fósforo das zonas residenciais com fossas sépticas podem ter na lagoa de Melides. Nos quadros apenas se apresentam as localidades cujo tempo de percurso de poluente é inferior a um ano. Nos quadros apresentados exclui-se a contribuição de poluentes das ETAR.

Quadro 34 – Impacto na lagoa de Melides das cargas de nitratos provenientes das zonas urbanas

	Carga kg N/ano	Concentração mg/l
Aderneira	24,5	0,02
Salvada	38,0	0,02
Sesmarias	356,2	0,03
Parque campismo	2073,2	0,24
Total	2491,9	1,38

Quadro 35 – Impacto na lagoa de Melides das cargas de fósforo provenientes das zonas urbanas

	Carga kg P/ano	Concentração mg/l
Aderneira	6	0,00
Salvada	10	0,01
Sesmarias	92	0,06
Parque campismo	538	0,36
Total	646	0,43

Utilizando a informação dos Quadro 28 e Quadro 29 foi possível realizar uma análise da chegada anual de poluentes à lagoa de Melides, ou seja, analisou-se que carga total de nitratos e de fosfatos atinge a lagoa ao fim de um ano, dois anos, três anos, quatro anos e cinco anos.

Igualmente nesta análise considerou-se uma acumulação da carga anual. Tal facto só seria real se a lagoa de Melides não abrisse para o exterior (no entanto é sabido que a lagoa de Melides apresenta anualmente, pelo menos, duas aberturas ao mar) e se a lagoa fosse uma massa de água que apenas permitisse a entrada de carga. Sabendo que a lagoa de Melides apresenta uma determinada capacidade de renovação consideraram-se três hipóteses para a percentagem da taxa de renovação da lagoa devida às aberturas: a) as aberturas removem 5% da carga total de poluentes que afluem à lagoa, b) as aberturas permitem uma remoção de metade da carga e c) as duas aberturas da lagoa de Melides removem 95% da carga total anual que chega à lagoa.

A Figura 11 representa graficamente a análise desenvolvida e exposta em cima. Na figura a informação a azul corresponde ao nitrato enquanto poluente e a informação a vermelho corresponde ao fosfato/fósforo enquanto poluente que poderá afetar a lagoa de Melides.

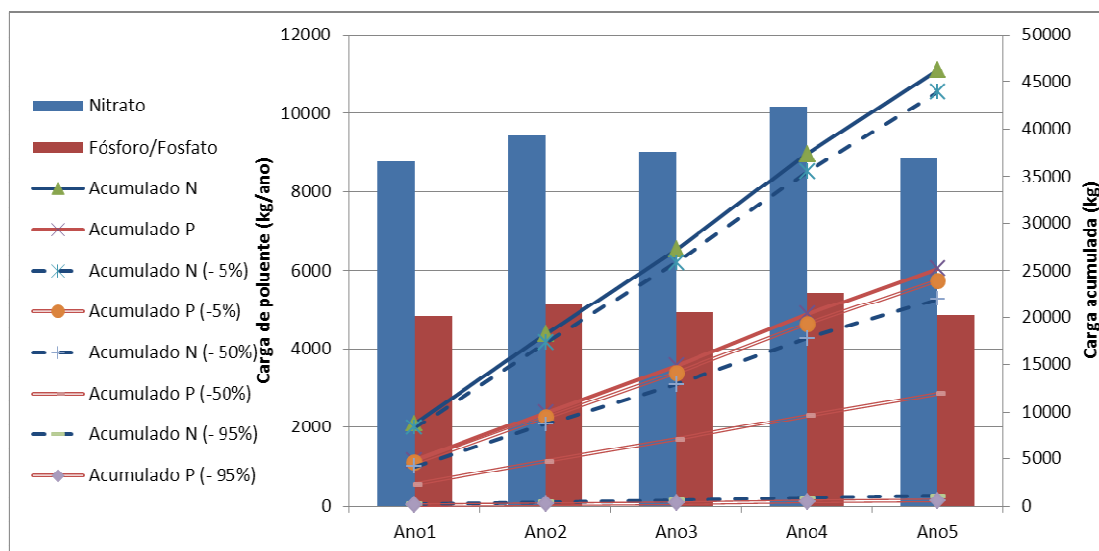


Figura 11 – Análise referente à chegada de carga poluente à lagoa de Melides

Utilizando o valor do volume da lagoa de Melides foi possível transformar as cargas anuais de poluentes representados na Figura 11 em concentrações, gerando o gráfico da Figura 12.

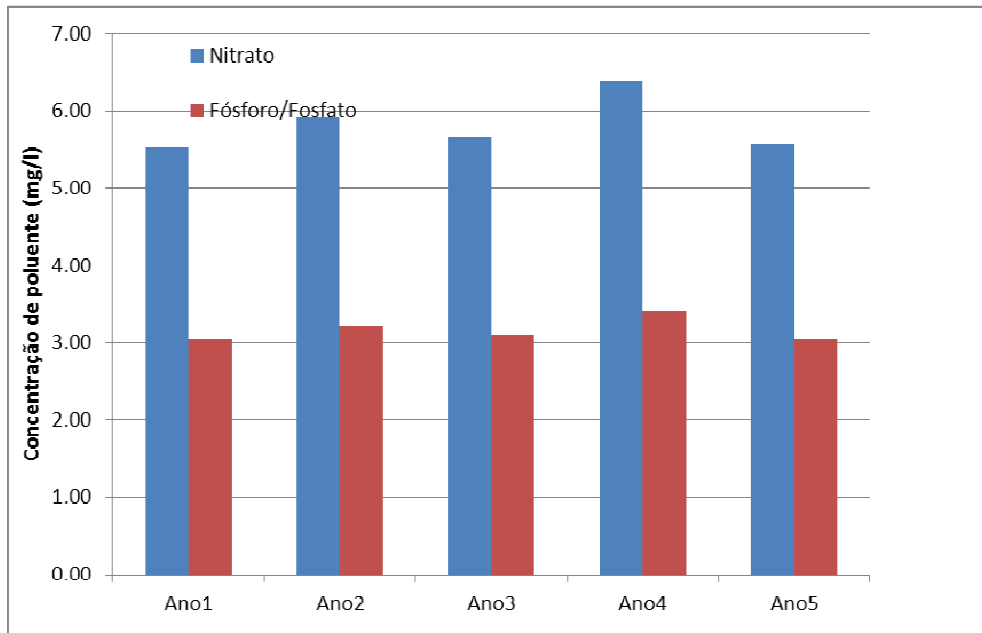


Figura 12 – Análise referente à concentração associada à carga poluente que atinge a lagoa de Melides

4 Considerações finais

O presente relatório apresenta uma análise que permite ser um contributo para a componente LNEC da última tarefa do projeto PROWATERMAN, a tarefa 7.

Realizaram-se diferentes estudos que foram apresentados, podendo obter-se as seguintes considerações finais:

- a) Em termos de contribuição quantitativa de água para a lagoa de Melides, existe uma contribuição entre os 19 hm³ por ano e os 20 hm³ por ano;
- b) O volume aproximado da lagoa de Melides é de 1,5 hm³;
- c) Os tempos de percurso de uma determinada partícula desde as diferentes fontes poluidoras até à lagoa de Melides encontram-se relatados no Quadro 28. Estes valores podem variar desde chegadas ao fim de alguns dias a vários anos;
- d) Verificou-se, em termos do nitrato enquanto carga poluente, que existem diferentes fontes poluidoras com semelhante carga anual, de 1500 a 2500 kg por ano;
- e) Verificou-se, em termos do fosfato enquanto carga poluente, que o arrozal é a maior fonte poluidora contribuindo em 30% da carga total de todas as fontes poluidoras;
- f) O nitrato enquanto poluente tem sempre uma maior contribuição que o fósforo em todas as fontes poluidoras;
- g) Verificou-se na análise de cinco anos que a chegada de nutrientes à lagoa de Melides apresenta aproximadamente a mesma carga e, logo, a mesma concentração diluída no volume da lagoa.

Como apreciação final considera-se que a análise desenvolvida se revela um passo necessário para o desenvolvimento das medidas de mitigação para melhoramento da qualidade da lagoa de Melides.

**ÁGUA, ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS E ACTIVIDADE HUMANA –
PROJETO PROWATERMAN**

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


Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil

julho de 2012

VISTOS

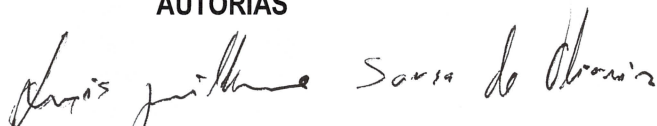


J.P. Cárcamo Lobo Ferreira
Chefe do Núcleo de Águas Subterrâneas



Rafaela de Saldanha Matos
Diretora do Departamento de Hidráulica e
Ambiente

AUTORIAS



Luís G. S. Oliveira

Mestre em Engenharia do Ambiente
Bolseiro de Investigação



Maria Emília Novo

Geóloga, Doutora em Ciências do Ambiente
Investigadora Auxiliar



J.P. Cárcamo Lobo Ferreira
Doutor Eng. Civil
Investigador-Coordenador
Núcleo de Águas Subterrâneas

Bibliografia

Agostinho, J.M.; Pimentel, M. (2005) – “Estudos de Casos de Boas Práticas Ambientais em Agricultura”. Livros da colecção “Agricultura e Ambiente”. Sociedade Portuguesa de Inovação. Porto.

Anderson M.P. & Woessner W.W. (1992) – Applied groundwater modeling: simulation of flow and advective transport. Academic Press. San Diego. 381pp.

AQUAVEO (2010) – Groundwater Modeling System: GMS v.6.5. Software. Copyright Aquaveo, 2007.Utah, USA. <http://www.aquaveo.com>.

Arceivala, S. J. (1981) – “Wastewater treatment and disposal. Marcel Dekker”, New York, 892 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.

Freitas, M. C.; Silva, C.; Freire de Andrade, C.; Cabral, H.; Marques da Silva, J.; Carvalho M. R.; Correia O.; Brotas V.; Vieira, A. R.; Cruces, A.; Wouters, N.; Branquinho, C.; Santos, P. R.; Gameiro, C.; Antunes, C. (2008) “Projecto de recuperação da lagoa de Melides- Relatório final; Volume I – Memória descritiva”. FCUL. 86 pp.

Lobo-Ferreira, J.P., Oliveira L., Terceiro, P., Novo, M.E. Salgado, F.M. (2010) - "Parecer Relativo ao Plano de Urbanização de Alcântara: 1º Relatório da Componente “Águas Subterrâneas”. - Relatório 344/2010 – NAS/NFTOS, 92 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,

McDonald, M.G. & Harbaugh, A.W. (1988) - MODFLOW – A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. U.S.G.S. Book 6, Chapter A1, 528 p. 1988. (Geological Survey Open File Report 83-875).

Monteiro, J.P.; Chambel, A.; Martins, J. (2008) – “Conceptual and Numerical Flow Model of the Sines Aquifer System (Alentejo, South Portugal)”. Artigo no âmbito do Projecto POCTI/AMB/57432/20004. International Groundwater Symposium. International Association of Hydraulic Engineering and Research (IAHR). Istanbul-Turkey, pp. 7684.

Oliveira, L. G. S.; Martins, T. A.; Lobo Ferreira, J.P.; Oliveira, M. M.; Novo, M. E.; Leitão, L. (2012) - "Contributos para o desenvolvimento de medidas para uma gestão sustentável dos recursos hídricos no sul de Portugal". Relatório 153/2012-DHA/NAS, 44 pp.

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.

Paul E., Spérandio M. (2001) - “Sludge production and costs associated to phosphorus removal”. Second international conference on Recovery of Phosphates from sewage and animal wastes, Environ. Technol. Journal

Soveral Dias, J. C. (1999) - “Código de boas práticas agrícolas”. Laboratório Químico-Agrícola Rebelo

Da Silva. Lisboa. 36 pp.

Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais (INSAAR),(2008).
“Relatório do Estado do Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais: Sistemas Públicos Urbanos“ - Campanha INSAAR de 2006.

ANEXO I

Modo de funcionamento dos modelos matemáticos de fluxo subterrâneo

(texto adaptado de Lobo Ferreira *et al.*, 2010)

Os modelos matemáticos baseiam-se em equações que governam o sistema (no caso do presente estudo, a equação fundamental de fluxo de água subterrânea), assim como pelas condições iniciais e de fronteira.

A equação aplicada ao modelo matemático que governa o fluxo da água subterrânea, considerando-se um meio heterogéneo e anisotrópico, é obtida pela combinação matemática da equação de balanço de água e da lei de Darcy (Anderson & Woessner, 1992). A equação fundamental é representada na Eq.1

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) + R^*(x, y, z, t) = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

Eq.1

Sendo, h = carga hidráulica [L], K_x , K_y e K_z são valores de condutividade hidráulica ao longo dos eixos x , y e z , respetivamente [L/T], S_s = armazenamento específico [1/L], t = tempo [T] e $R^*(x, y, z, t)$ = termo que representa as fontes/sumidouros de água. Intrinsecamente positivo, define o volume de água que entra no sistema por unidade de volume de aquífero por unidade de tempo.

Neste trabalho, foi utilizado como modelo matemático, para a representação do sistema físico de água subterrânea, o modelo tridimensional de diferenças finitas *MODFLOW*, elaborado por McDonald & Harbaugh (1988), que contém o algoritmo utilizado para resolver o modelo matemático de forma numérica, constante no programa *Groundwater Modeling System – GMS v.6.5*. O *MODFLOW* executa análises tanto em estado estacionário como em transitório e apresenta uma grande variedade de condições de fronteira e de dados de entrada (AQUAVEO, 2010).

O modelo matemático de fluxo subterrâneo fundamenta-se na definição do modelo hidrogeológico da área em estudo. Este modelo hidrogeológico, denominado de modelo conceptual, é elaborado com base nas características físicas da área e permite definir o domínio do modelo, o tipo de aquífero a ser modelado, as condições iniciais e de fronteira e as entradas e saídas de água do sistema (Anderson & Woessner, 1992). O modelo conceptual foi elaborado com o suporte dos módulos *TIN*, *2D Scatter data*, *Map Data*, *GIS Layers*, *Images* e *3D Grid Data*, que constam na interface *GMS v.6.5* (AQUAVEO, 2010).

O MODFLOW encontra-se dividido numa série de componentes, chamados de pacotes. Cada pacote permite realizar uma tarefa específica e, embora existam pacotes que são obrigatórios para uma simulação, existem outros que são opcionais (AQUAVEO, 2010). Estes são os pacotes que foram utilizados no presente trabalho:

- a) *Layer property flow* (LPF) associado ao *Preconditioned Conjugate Gradient Method* (PCG2) são pacotes obrigatórios para a corrida de fluxo do modelo,
- b) *Drain Package* (DRN1) é o pacote que permite simular linhas de drenagem,
- c) *General Head Boundary* (GHB1) de forma a simular um nível de água constante que funciona como sumidouro ou fonte ao modelo,
- d) *Recharge* (RCH1) de forma a simular a recarga natural.
- e) Para a simulação de rios existe o pacote *River Package* (RVP) que utiliza os valores do nível potencial do rio ou ribeira e as características geológicas do fundo do rio com o intuito de utilizar o rio ou ribeira como sumidouro ou fonte para a água subterrânea.

