

QUANTIFICAÇÃO DA DESCARGA DE NUTRIENTES DE AZOTO E FÓSFORO PARA A RIA FORMOSA POR ESCOAMENTO SUPERFICIAL

STIGTER, Tibor *; CARVALHO DILL, Amélia *; MALTA, Erik-jan **; SANTOS, Rui **

*IMAR/FCMA Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro

**ALGAE – Marine Plant Ecology Research Group, CCMAR, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro

Resumo

No âmbito do projecto POCI/MAR/58427/2004 - Florescências de algas verdes na Ria Formosa e praias adjacentes, foi feita uma primeira abordagem à quantificação das descargas dos nutrientes de azoto e fósforo para a Ria Formosa, por escoamento superficial, com base nas três maiores sub-bacias: Rio Séqua/Gilão, Ribeira do Almargem e Rio Seco. Simultaneamente comparou-se os resultados com as descargas dos nutrientes provenientes das ETAR localizadas próximas dos locais de confluência das ribeiras com a Ria. O processo da quantificação das entradas dos nutrientes pelas ribeiras, envolve a determinação do volume de escoamento superficial e a análise da concentração de nutrientes na água. Conclui-se que o Rio Séqua/Gilão e a Ribeira do Almargem constituem fontes importantes de nutrientes na Ria no inverno. No caso do Rio Seco, em anos de precipitação média o volume escoado é elevado, sendo as entradas de nutrientes na Ria comparáveis com as descargas da ETAR de Faro Nascente.

Palavras-chave: Ria Formosa, escoamento superficial, azoto, fósforo, eutrofização

1. Introdução

A existência de agricultura intensiva e a ausência de redes de drenagem de águas residuais fora das cidades, causaram a degradação do ecossistema terrestre em muitas áreas do Algarve, provocando a contaminação dos solos e das águas superficiais e subterrâneas, cuja carga de nutrientes aumentou drasticamente nas últimas duas décadas. A área afectada corresponde em parte à bacia hidrográfica da Ria Formosa, um dos sistemas lagunares de maior relevância nacional, do ponto de vista ecológico (Parque Natural, Sítio Ramsar, Natura2000) e económico (piscicultura, aquacultura, extracção de sal e turismo), que se estende ao longo de 55 km da costa sul Portuguesa. Todos os anos observam-se florescências de algas verdes dentro da Ria durante o inverno, bem como ao longo das praias da zona costeira adjacente, durante o verão, mas a sua relação com a degradação do ecossistema terrestre não é muito conhecida.

Este desenvolvimento anormal de algas está relacionado com o aumento da carga de compostos inorgânicos azotados na água, perturbando a qualidade da água e, conseqüentemente, o equilíbrio biológico. O azoto é geralmente considerado o nutriente limitante para a produção primária nestes destes ecossistemas (HOWARTH e MARINO, 2006). Apesar de existir uma elevada taxa de renovação da água pelas marés (ANDRADE, 1990), existem zonas na laguna interior onde a concentração de nutrientes é bastante elevada, o que poderá indicar que a renovação não chega a ser suficiente para impedir a sua acumulação (NEWTON et al., 2003; NEWTON e MUDGE, 2005). Entre as possíveis origens, NEWTON et al. (2003) destacam as descargas de águas residuais tratadas e não tratadas e o escoamento superficial proveniente das áreas com agricultura intensiva. Até agora nunca se tentou quantificar estas fontes de azoto na Ria, desconhecendo-se qual a contribuição absoluta e relativa de cada uma, incluindo também a possível origem por escoamento subterrâneo. Este conhecimento é fundamental para se conseguir uma correcta gestão e protecção desta reserva natural, já que a florescência de algas na Ria pode ter conseqüências nefastas para o seu ecossistema, além de ter impactos muito negativos no turismo.

O objectivo do projecto “Florescências de algas verdes na Ria Formosa e praias adjacentes” (POCI/MAR/58427/2004) é identificar os processos que as desencadeiam, considerando várias escalas: a dos fluxos de azoto no ecossistema da Ria Formosa, a da biologia populacional das espécies de algas envolvidas e a da ecofisiologia do metabolismo do azoto dessas espécies. Uma das finalidades do projecto é a elaboração de um modelo de florescências de algas verdes na Ria Formosa e na zona costeira adjacente, determinado por variáveis extrínsecas como a carga de azoto e o clima, bem como por variáveis intrínsecas como o metabolismo de azoto e a dinâmica populacional das algas. Uma das fontes de informação importantes para a avaliação da carga de azoto na Ria são os efluentes das ETARs, que foram caracterizados no projecto “Avaliação do Efeito das Descargas de Águas Residuais Urbanas na Ria Formosa” (<http://www.ccdr-alg.pt/ccr/index.php?module=ContentExpress&func=display&ceid=288>) desenvolvido pela CCDR-Algarve em colaboração com a Universidade do Algarve, o Instituto de Investigação das Pescas e do Mar (IPIMAR), o Parque Natural da Ria Formosa (PNRF) e o Instituto Superior Técnico (IST).

Nesta comunicação foca-se uma das tarefas do projecto, a da quantificação das descargas dos nutrientes de azoto e fósforo para a Ria Formosa, por escoamento superficial. Será efectuada uma primeira tentativa de quantificação, com base nas três maiores sub-bacias. Simultaneamente será feita a comparação com os volumes de água, azoto e fósforo provenientes das ETAR localizadas próximas dos locais de afluência das três ribeiras na Ria Formosa.

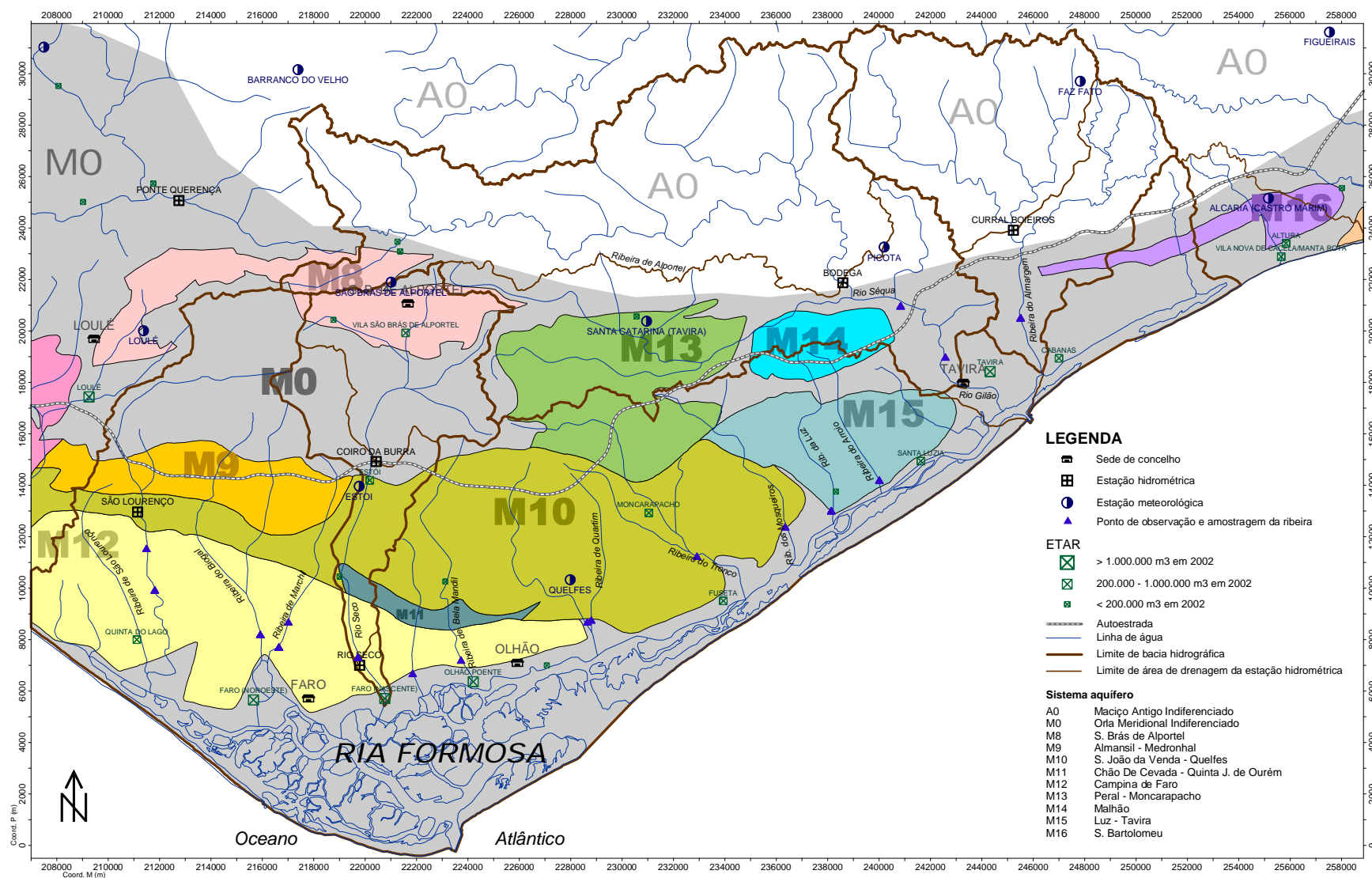
2. Área de estudo

A Figura 1 apresenta a delimitação e caracterização da bacia hidrográfica da Ria Formosa, relativamente à rede hidrográfica, hidrogeologia, ao uso do solo, e às várias fontes de informação disponíveis.

A área total da bacia hidrográfica é de 844 km², ligeiramente inferior ao valor de 864 km² indicado pelo Plano de Bacia Hidrográfica (PBH) das Ribeiras do Algarve (Consórcio PROCESL/HIDRO4/PROSISTEMAS, 2000), dado que esta última inclui uma pequena área que drena directamente para o Oceano. De acordo com o PBH a altitude máxima é média da bacia são de 512 m e 112 m, respectivamente, enquanto o declive médio é de 11%. A bacia pode ser subdividida em várias sub-bacias hidrográficas associadas aos rios ou às ribeiras que afluem na Ria Formosa. As duas sub-bacias mais importantes, em termos de área e volume de escoamento, são as do Rio Séqua/Gilão (231 km²) e da Ribeira do Almargem (98 km²), que juntos cobrem 39% da área total. A terceira maior sub-bacia é a do Rio Seco, com 64 km², 8% da área total.

A área caracteriza-se por ter um clima mediterrâneo, com verões quentes e prolongados e invernos moderados e chuvosos. Os valores médios anuais da temperatura e precipitação registadas em Faro são de 17,3 °C (SILVA, 1988) e 531 mm (LOUREIRO e COUTINHO, 1995), respectivamente. A precipitação concentra-se quase toda no inverno e aumenta para o interior, devido à subida da altitude e ao efeito orográfico associado.

Figura 1. Localização e caracterização da bacia hidrográfica da Ria Formosa e das sub-bacias de algumas ribeiras afluentes



NICOLAU (2002) modelou a distribuição espacial da precipitação em Portugal Continental, aplicando vários métodos de estatística multivariada e de geostatística. Obteve os melhores resultados com a krigagem com deriva externa, utilizando a altitude como variável externa. A precipitação média anual para a bacia da Ria Formosa determinada com base nesta metodologia é de 664 mm. A precipitação do ano hidrológico de 05/06 foi próxima da média, estimada em 645 mm, com base nos registos na estação meteorológica de São Brás de Alportel e a relação entre as precipitações médias anuais desta estação e da bacia. A evapotranspiração potencial média anual é de 1351 mm em Faro, de acordo com o PBH, muito maior que a precipitação, enquanto a evapotranspiração real varia entre 60 e 90%, dependente do tipo de solo e geologia associada e da vegetação.

A hidrogeologia da bacia hidrográfica da Ria Formosa encontra-se resumida na Figura 1, através da apresentação dos oito sistemas aquíferos identificados na área. A caracterização exaustiva destes sistemas aquíferos é dada por ALMEIDA et al. (2000). Para o presente trabalho interessa sobretudo saber que eles são constituídos por calcários e dolomitos altamente carsificados (i.e. com porosidade secundária elevada devido a fenómenos de dissolução dos minerais calcite e dolomite) e formações detríticas (areias e siltes). A infiltração da água da chuva nestas formações é relativamente rápida e eficaz, razão pela qual a componente de escoamento superficial é pouco significativa. A rede de drenagem é geralmente pouco densa e as ribeiras tornam-se muitas vezes influentes nos troços que passam pelos sistemas aquíferos, o que quer dizer que perdem água para o aquífero por infiltração.

Fora da área dos sistemas aquíferos distinguem-se duas zonas: (1) a Orla Meridional Indiferenciada, onde afloram frequentemente formações argilosas e margosas, com uma taxa de infiltração mais baixa e conseqüentemente maior escorrência superficial; (2) o Maciço Antigo Indiferenciado, constituído por xistos e grauvaques, com permeabilidades muito baixa, onde a escorrência superficial é mais significativa.

Apenas o Rio Séqua/Gilão e a Ribeira do Almargem escoam maioritariamente do Maciço Antigo, razão pelo qual são responsáveis por aproximadamente 70-90% do escoamento superficial na bacia da Ria Formosa, embora as suas sub-bacias hidrográficas ocupem apenas 39% da área total).

As restantes linhas de água que afluem na Ria Formosa são de regime efémero, ou seja, descarregam apenas durante, e pouco tempo depois, os eventos de precipitação intensa. A sua contribuição em termos de escoamento superficial é bastante pequena. No entanto, a elevada carga de nutrientes verificada em algumas ribeiras, leva a que o seu impacto não possa ser ignorado.

3. Metodologia

A quantificação da descarga de nutrientes pelas ribeiras ao longo do ano envolveu duas componentes: (1) a determinação do volume de escoamento superficial através das ribeiras que afluem na Ria Formosa e (2) a análise da concentração de nutrientes na água.

3.1. Determinação do volume de escoamento superficial

As três ribeiras estudadas, Rio Séqua/Gilão, Ribeira do Almargem e Rio Seco, têm estações hidrométricas instaladas, cujos dados foram disponibilizados pelo Instituto da Água (INAG) e pela CCDR-Algarve. A sua localização pode ser observada na Figura 1 e as suas

características encontram-se na Tabela 1. A primeira etapa consistiu na análise da série temporal do nível hidrométrico instantâneo (h) e a sua conversão para caudal instantâneo (Q), através da chamada curva de vazão (disponíveis no INAG, <http://snirh.inag.pt>), que relaciona o caudal com o nível hidrométrico:

$$Q = a(h - h_0)^b$$

Em que: h_0 é o nível abaixo do qual não há escoamento (caudal zero) e a e b são coeficientes que dependem das características intrínsecas da bacia hidrográfica (i.e. geologia, solo, relevo, rede de drenagem), do uso do solo, do regime climático e da localização da estação hidrométrica, entre outros factores. Foi necessário proceder à análise rigorosa das séries temporais e curvas de vazão, para detectar e corrigir as irregularidades existentes. A partir da série temporal do caudal instantâneo contabilizou-se o volume total de água escoada, através do cálculo da área abaixo da curva correspondente à série temporal. No caso da estação hidrométrica do Rio Seco mais a jusante, não existem dados no INAG, mas a CCDR-Algarve forneceu os dados de caudal médio diário.

Como se pode observar na Tabela 1 e na Figura 1, a estação hidrométrica nunca abrange toda a bacia hidrográfica da ribeira principal, dado que não se encontra instalada no local de confluência da ribeira na Ria Formosa. Por essa razão é preciso converter o volume registado pela estação num volume total de escoamento superficial da bacia hidrográfica. Esta tarefa não é muito complicada, caso as características intrínsecas das duas bacias da ribeira (no local da estação e no local da confluência com a Ria Formosa) sejam semelhantes - neste caso as taxas de precipitação, evapotranspiração, infiltração e escorrência superficial também serão parecidas. No entanto, quando existem diferenças na geologia e no tipo de solo, a tarefa torna-se mais complexa e sujeita-se inevitavelmente a alguma subjectividade e simplificação.

Na Figura 1 também é possível cruzar a informação hidrogeológica com a área das bacias. A correcção do caudal registado nas respectivas estações hidrométricas pela área do Maciço Antigo não coberta pela estação, foi feita simplesmente com base na regra de três simples. Na área de afloramento dos sistemas aquíferos considerou-se escoamento nulo, pois toda a precipitação que não se perde por evapotranspiração, se infiltra rapidamente no solo.

O mesmo foi considerado para a área da Orla Meridional “não diferenciada”, i.e. fora dos sistemas aquíferos. Sabe-se que aqui se introduz um erro que pode ser significativo em anos húmidos, dado que afloram maioritariamente sedimentos detríticos pouco permeáveis (e.g. margas e argilas), onde o escoamento pode ser considerável. No entanto, no ano hidrológico de 05/06 o escoamento na Orla Meridional não diferenciada foi pouco significativo, não tanto devido à fraca pluviosidade (que atingiu a média da região), mas mais devido ao facto do ano que se antecedeu ter sido extremamente seco, resultando num aumento drástico da capacidade de armazenamento do solo.

Este fenómeno é bem visível na bacia hidrográfica do Rio Seco, particularmente na área de drenagem da estação hidrométrica de Coiro da Burra, que recebe água maioritariamente da Orla Meridional não diferenciada (ver Figura 1). Nos anos húmidos de 2000/2001 e 2001/2002 drenou 20% da precipitação, mas no ano hidrológico de 05/06, drenou apenas 1,9% (15 mm, ver Tabela 1). Dado que os dados de volume escoado na estação hidrométrica do Rio Seco mais a jusante ainda não se encontram disponíveis para o ano hidrológico em estudo, considerou-se o volume registado na estação de Coiro da Burra.

Tabela 1. Características das bacias hidrográficas da Ria Formosa e de três ribeiras afluentes

Corpo de água	Área de drenagem	Área (km ²)	Pméd (mm) ^a	P 05/06 (mm) ^b	Qe (mm) ^c
Ria Formosa	Toda a bacia	844.5	664	645	
Rio Sequa/Gilao	Toda a sub-bacia	222.7	745	723	
	EH Bodega	133.6	779	756	214
Ribeira do Almargem	Toda a sub-bacia	98.0	738	717	
	EH Curral Boieiros	61.3	697	677	114
Rio Seco	Toda a sub-bacia	64.0	743	721	
	EH Coiro da Burra	36.8	794	771	15
	EH Rio Seco	62.4	751	729	

EH = Estação hidrométrica;

^aPrecipitação média anual, determinada num SIG através do cruzamento dos dados de NICOLAU (2002) com as delimitações das áreas de drenagem;

^bPrecipitação no ano hidrológico de 05/06, estimada com base nos registos na estação meteorológico de São Brás de Alportel e a relação entre as precipitações médias anuais da estação e da área de drenagem;

^cCaudal específico da área de drenagem, igual ao volume dividido pela área de drenagem.

3.2 Análise da concentração de nutrientes na água

Foram feitas várias saídas de campo no ano hidrológico de 05/06, após cada ocorrência de precipitação significativa, com o objectivo de recolher amostras das principais ribeiras que afluem na Ria Formosa e determinar a sua carga de nutrientes. A localização dos pontos de observação é dada na Figura 1. Mediram-se a Condutividade Eléctrica e o pH in situ e fizeram-se análises semi-quantitativas da concentração de nitratos e de amónio. Tentou-se, sempre que possível, estimar o caudal. Nalgumas ribeiras não foi possível recolher mais do que uma amostra ao longo do ano hidrológico, devido ao seu regime efémero (descarregando em períodos de tempo extremamente curtos) e à sua localização mais afastada do local de trabalho. O contributo destas ribeiras para a descarga total dos nutrientes na Ria Formosa é muito pequeno, apesar de ser possível haver algum impacto nos locais de confluência.

Para determinar o teor em nutrientes nas ribeiras, recolheu-se, em cada ponto, cerca de 90 ml de água, filtrada através de filtros de membrana (0.45 µm), transportadas em gelo e conservadas em Laboratório a -20°C até serem analisadas. Analisaram-se as concentrações de NH₄, PO₄, NO₂ e NO₃, num “loop flow analyser” (µMAC – 1000 MP, Systea, Italia). As análises baseiam-se nos métodos colorimétricos standard, i.e. o método de azul de indofenol para o NH₄, o método de azul de molibdénio para os ortofosfatos e o método de diazónio para NO₂ e NO₃ (este último após redução através de uma coluna de Cádmio).

4. Resultados e discussão

A Figura 2 apresenta a série temporal do caudal registado (hidrograma) na estação hidrométrica de Bodega, no Rio Séqua/Gilão (ver localização na Figura 1). No mesmo gráfico projectam-se os resultados das análises de azoto total (Ntot) e fósforo total (Ptot). Na Figura 3 e Figura 4 apresentam-se o mesmo tipo de gráficos para a Ribeira do Almargem e para o Rio Seco, respectivamente.

Os caudais instantâneos mais elevados registam-se no Rio Séqua/Gilão, tal como era de esperar, devido à maior área de drenagem da sua estação hidrométrica, que se encontra quase inteiramente no Maciço Antigo (Figura 1). Pode deduzir-se da forma dos hidrogramas anuais e de cheia que o período de drenagem deste rio é também o maior, associado à forma alongada da bacia, com a área de contribuição mais distante situada a 24 km da estação.

Figura 2. Séries temporais do caudal na estação hidrométrica e da concentração de azoto e fósforo total no Rio Séqua/Gilão

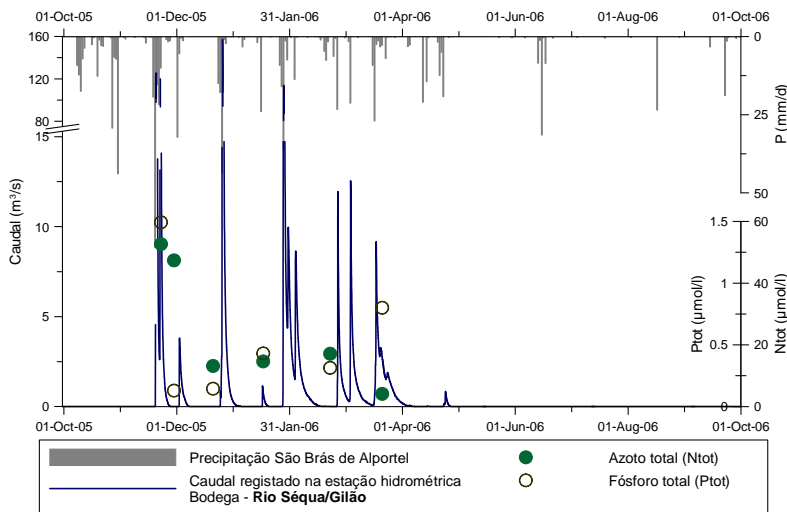


Figura 3. Séries temporais do caudal na estação hidrométrica e da concentração de azoto e fósforo total na Ribeira do Almargem

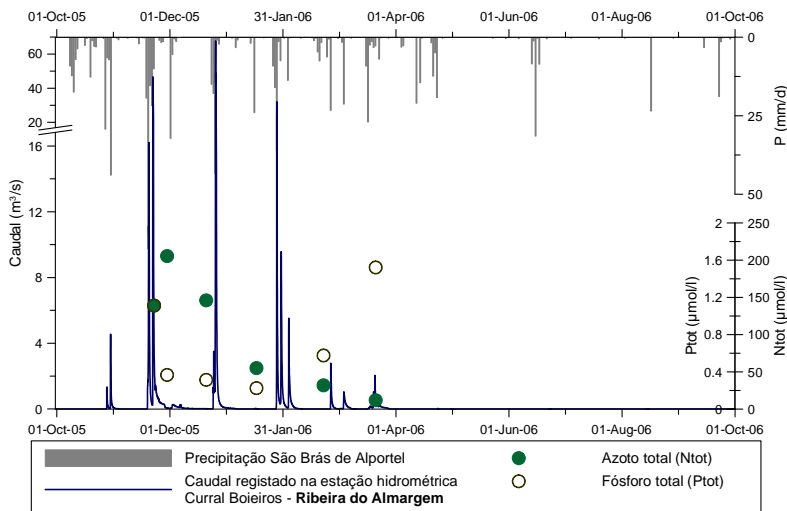
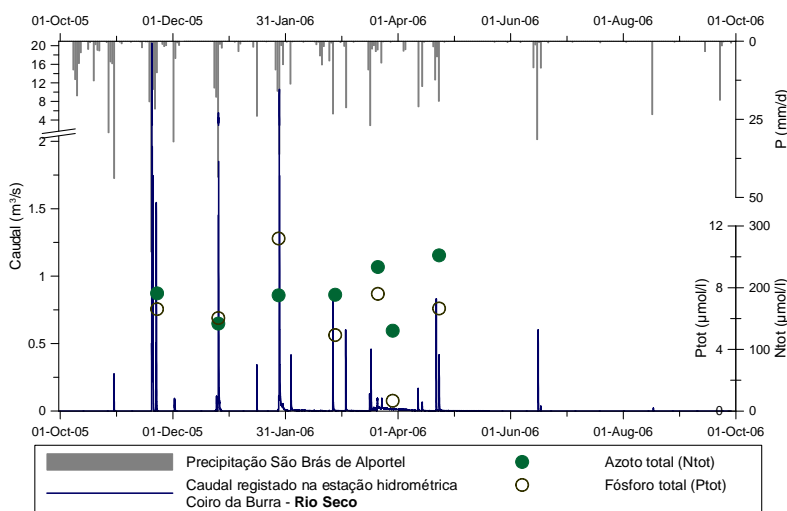


Figura 4. Séries temporais do caudal na estação hidrométrica e da concentração de azoto e fósforo total no Rio Seco



De um modo geral, os hidrogramas indicam que a contribuição das águas subterrâneas (o escoamento de base) é muito pequena, o que corresponde à descrição da geologia das bacias. O caudal específico na área de influência da estação hidrométrica, que corresponde ao volume dividido pela área de drenagem, é de 214 mm (Tabela 1), 28% da precipitação. No caso da Ribeira do Almargem, o caudal específico é de 114 mm (17% da precipitação), bastante inferior, apesar das duas áreas de drenagem terem a mesma geologia. Uma das causas é a maior precipitação na bacia de drenagem, que resulta numa maior contribuição do escoamento superficial relativamente à evapotranspiração. Outros factores, tais como o uso e tipo do solo, a topografia do terreno e diferenças locais na duração e intensidade da chuva, também influenciam a percentagem de escorrência superficial. No entanto, como se pode observar no caso do Rio Seco, onde o caudal específico da estação da Coiro da Burra é de 1,9% da precipitação (15 mm), a geologia e tipo de solo associado são factores particularmente determinantes em anos secos e no primeiro ano seguinte.

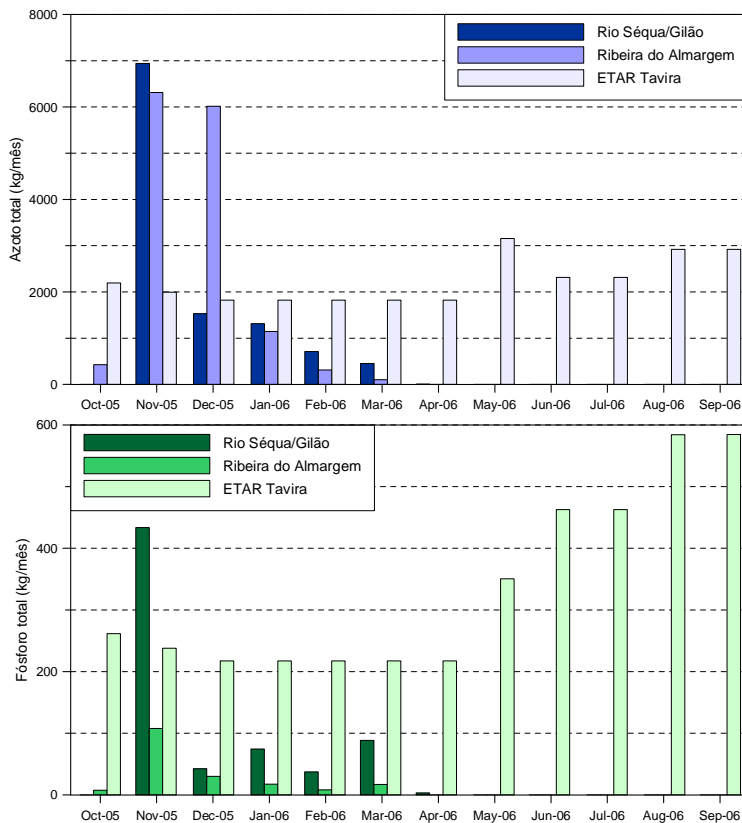
Em termos da concentração de azoto e fósforo total, acontece o contrário ao que se observou nos caudais. O Rio Seco tem a maior carga em nutrientes, com concentrações de N_{tot} e P_{tot} na ordem dos 200 e 6 $\mu\text{mol/l}$, respectivamente. Estas concentrações extremamente elevadas (10 a 50 vezes mais elevadas do que no Rio Gilão/Séqua), tem duas causas distintas: 1) o menor caudal da ribeira resultando numa menor diluição; 2) a existência de um maior número de fontes de contaminação, associada às actividades agrícolas (STIGTER et al., 2006a/b) ou a fossas sépticas e pequenas ETAR existentes na zona (ver Figura 1). A importância do segundo factor torna-se mais clara com o decorrer do ano hidrológico, dado que nas bacias da Ribeira do Almargem e do Rio Séqua/Gilão a concentração de nutrientes diminui substancialmente em episódios de precipitação subsequentes.

É importante realçar que a carga de nutrientes é dominada por completo pelo azoto em forma de nitrato (NO_3), devido à sua elevada mobilidade. O fósforo é um elemento de baixa mobilidade sendo adsorvido /absorvido com facilidade nas/pelas partículas do solo, nomeadamente pelos minerais de argila e pela matéria orgânica. Desta maneira, as entradas de fósforo na Ria ocorrerão sobretudo com os sedimentos em suspensão na água das ribeiras e devem ser quantificadas em trabalhos futuros.

Na avaliação do impacto do escoamento superficial na eutrofização da Ria Formosa podem ser determinantes, tanto a carga (concentração) dos nutrientes na água da ribeira como o volume total de descarga. A Figura 5 mostra a descarga mensal de azoto e fósforo total através do Rio Séqua/Gilão e da Ribeira do Almargem e compara os valores com as descargas mensais da ETAR de Tavira, que são efectuadas precisamente no rio Gilão, mas a jusante da cidade de Tavira, já na Ria Formosa. Os dados relativos aos caudais e carga de nutrientes dos efluentes das ETAR foram cedidos pela CCDR-Algarve. Para os meses de Janeiro a Setembro de 2006 ainda não havia dados disponíveis, razão pelo qual se optou por utilizar os valores de 2005.

Observa-se que a contribuição das ribeiras no inverno foi muito significativa. No mês de Novembro, o primeiro mês de grande precipitação e escoamento superficial, a descarga total de azoto das duas ribeiras é superior a 13000 kg, o que corresponde a uma quantidade seis vezes superior à descarga da ETAR. Relativamente ao fósforo total, a descarga total neste mês foi de 500 kg (não contemplando o fósforo absorvido às partículas em suspensão), sensivelmente o dobro da originada pela ETAR. Em Fevereiro a descarga por escoamento superficial ainda foi significativa, e só deixou de existir em Abril, a partir do qual a contribuição tornou a ser exclusivamente das ETARs.

Figura 5. Descarga mensal de azoto (*cima*) e fósforo (*baixo*) total através do Rio Séqua/Gilão e da Ribeira do Almagem em comparação com as descargas mensais da ETAR de Tavira



A contribuição do Rio Seco, apresentada na Figura 6, parece ser pouco importante quando comparado com a ETAR de Faro Nascente, que descarrega para a Ria Formosa perto do local de confluência com a ribeira (Figura 1). Este facto deve-se ao baixo caudal do Rio Seco no ano hidrológico de 05/06 e à enorme carga mensal da ETAR (mais de 15000 kg de azoto e 1500 kg de fósforo). Para tentar perceber a contribuição em anos mais húmidos, calculou-se a descarga mensal que ocorreu no ano de 02/03, ano em que a precipitação atingiu igualmente o valor próximo da média anual, mas se verificou um escoamento dez vezes superior. Esta grande diferença explica-se sobretudo pelos dois anos anteriores (00/01 e 1/02) terem registado uma precipitação muito acima da média, o que aumentou o grau de saturação dos solos, diminuindo a sua capacidade de armazenamento, e promoveu a escorrência superficial. A Figura 7 apresenta os resultados com base na série temporal da concentração de azoto e fósforo total de 05/06, o que introduz um grau de incerteza, dado que o aumento do caudal poderia resultar num aumento da diluição. Verifica-se no entanto que a carga de nutrientes varia pouco ao longo do ano e não parece depender do caudal.

5. Considerações finais

Pode-se concluir que o Rio Séqua/Gilão e a Ribeira do Almagem são fontes importantes de nutrientes na Ria Formosa, particularmente no inverno. No caso do Rio Seco, a carga não é tão elevada no ano hidrológico de 05/06, devido ao baixo caudal. No entanto, em anos húmidos ou sempre que haja dois anos consecutivos de precipitação média, o volume escoado é muito superior, e as entradas de nutrientes na Ria já se comparam com as descargas da ETAR de Faro Nascente.

Figura 6. Descarga mensal de azoto (*cima*) e fósforo (*baixo*) total através do Rio Seco em comparação com as descargas da ETAR de Faro Nascente, no ano hidrológico de 05/06

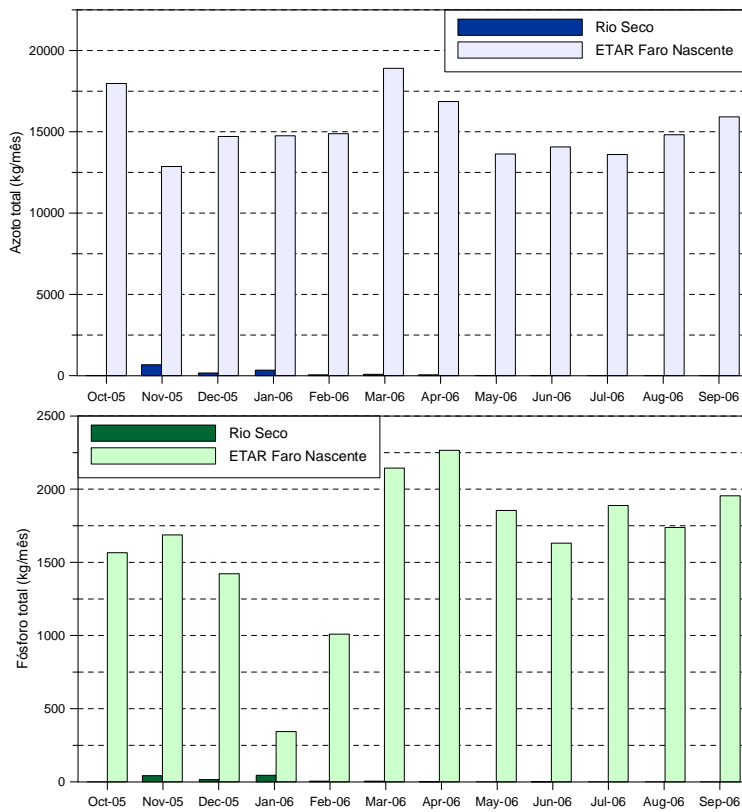
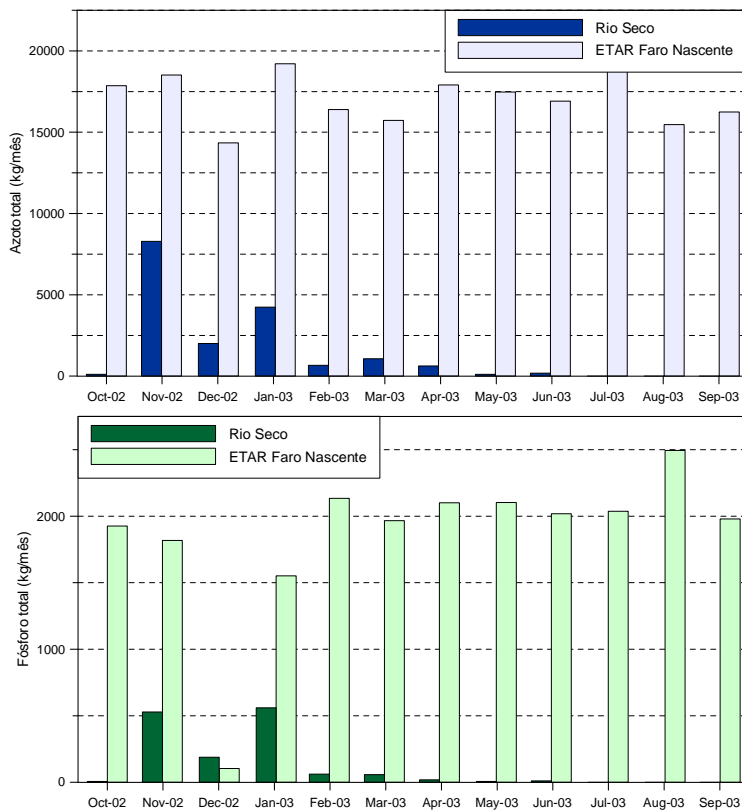


Figura 7. Descarga mensal de azoto (*cima*) e fósforo (*baixo*) total através do Rio Seco em comparação com as descargas da ETAR de Faro Nascente, no ano hidrológico de 02/03



A Ribeira da Luz e a Ribeira de Marchil (Figura 1) registam caudais artificiais e concentrações muito elevadas de nutrientes (Tabela 2, cf. Figura 4). No caso da Ribeira da Luz a água provém da ETAR da aldeia de Luz-Tavira, enquanto a alimentação (natural ou artificial) da Ribeira do Marchil ocorre na zona de uma quinta já próxima da Ria Formosa.

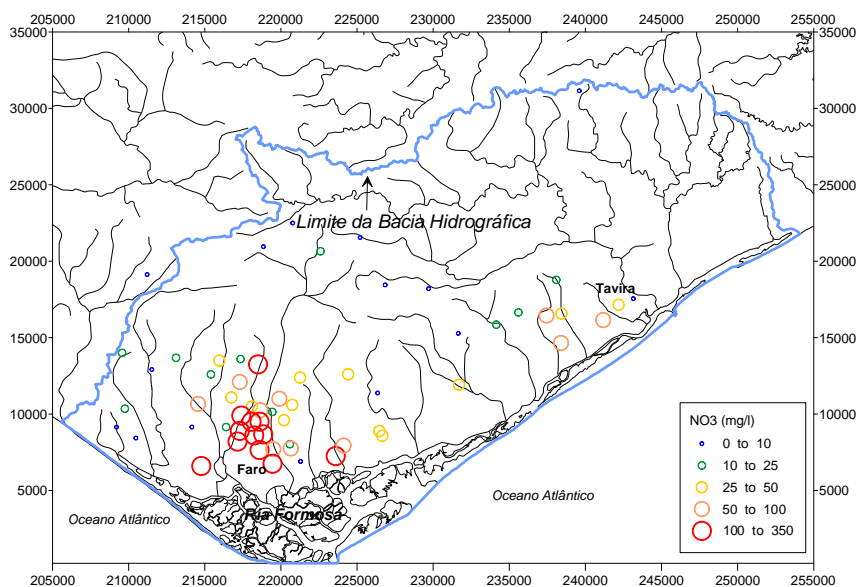
Tabela 2. Concentrações de azoto total analisadas nas Ribeiras da Luz e de Marchil

Ribeira da Luz		Ribeira de Marchil		Ribeira da Luz		Ribeira de Marchil	
Data	N ($\mu\text{mol/l}$)	Data	N ($\mu\text{mol/l}$)	Data	N ($\mu\text{mol/l}$)	Data	N ($\mu\text{mol/l}$)
23-Nov-05	430	17-Jan-06	536	20-Nov-05	284	17-Jan-06	3139
30-Nov-05	1162	22-Feb-06	867	23-Nov-05	2682	27-Jan-06	544
21-Dec-05	825	22-Mar-06	344	30-Nov-05	3681	13-Feb-06	2736
				21-Dec-05	3532	22-Mar-06	1651

Na determinação dos caudais de afluência das ribeiras, a maior incerteza associa-se à sub-bacia do Rio Séqua/Gilão, dado que a estação hidrométrica cobre 60% da sub-bacia total. Na restante área, sabe-se que existe uma contribuição para o caudal através da alimentação do rio pelas águas subterrâneas, que é difícil de quantificar e deve ser estudado em trabalhos futuros. Outra questão importante será a delimitação futura da área de influência das descargas das ribeiras na Ria Formosa, tal como foi feita para algumas ETAR no projecto “Avaliação do Efeito das Descargas de Águas Residuais Urbanas na Ria Formosa” (<http://www.ccdr-alg.pt/ccr/index.php?module=ContentExpress&func=display&ceid=288>).

No âmbito do projecto POCI/MAR/58427/2004, também está em estudo a possibilidade de entradas de nutrientes através de escoamento da água subterrânea na Ria Formosa, desconhecendo-se ainda o seu contributo. Sabe-se da existência de casos de estudo descritos na literatura onde a sua influência é significativa (e.g. CABLE et al., 1996; MOORE, 1996, 2003; NOWICKI et al, 1999; BURNETT et al., 2001, 2003; SLOMP e VAN CAPPELLEN, 2004). Caso se verifique a interacção entre a Ria e as águas subterrâneas, é de se esperar o agravamento do estado trófico da Ria, dado que grande parte da sua bacia hidrográfica regista níveis de contaminação por nitratos muito elevados (e.g. STIGTER et al., 2006a/b), como pode ser observado na Figura 8. A velocidade de escoamento subterrâneo no aquífero superior é extremamente baixa (na ordem de centenas de m por ano), pelo que potenciais consequências desta contaminação podem levar décadas até se revelarem na Ria Formosa.

Figura 8. Concentrações de nitratos na água subterrânea da bacia hidrográfica da Ria Formosa



Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) o financiamento do projecto POCI/MAR/58427/2004, no âmbito do qual se apresenta esta comunicação.

Referências bibliográficas

- ALMEIDA, C., MENDONÇA, J.J.L., JESUS, M.R., GOMES, A.J. (2000): *Actualização do Inventário dos Sistemas Aquíferos de Portugal Continental*, INAG, Relatório Técnico, Lisboa.
- ANDRADE, C.F. (1990): *O ambiente de barreira da Ria Formosa Algarve-Portugal*. Dissertação para obtenção do grau de Doutor, Universidade de Lisboa.
- BURNETT, W.C., TANIGUCHI, M., OBERDORFER, J. (2001): "Measurement and significance of the direct discharge of groundwater into the coastal zone", *Journal of Sea Research* 46(2): 109-116.
- BURNETT, W.C., BOKUNIEWICZ, H., HUETTEL, M., MOORE, W.S., TANIGUCHI, M. (2003): "Groundwater and pore water inputs to the coastal zone", *Biogeochemistry* 66: 3-33.
- CABLE, J.E., BURNETT, W.C., CHANTON, J.P., WEATHERLY, G.L. (1996): "Estimating groundwater discharge into the northeastern Gulf of Mexico using radon-222", *Earth and Planetary Science Letters* 144: 591-604.
- HOWARTH, R.W., MARINO, R. (2006): "Nitrogen as the limiting nutrient for eutrophication in coastal marine ecosystems: Evolving views over three decades", *Limnology and Oceanography* 51(1, part 2): 364-376.
- LOUREIRO, N.S., COUTINHO, M.A. (1995): "Rainfall changes and rainfall erosivity increase in the Algarve (Portugal)", *Catena*, 24: 55-67.
- MOORE, W.S. (1996): "Large groundwater inputs to coastal waters revealed by Ra-226 enrichments", *Nature* 380(6575): 612-614.
- MOORE, W.S. (2003): "Sources and fluxes of submarine groundwater discharge delineated by radium isotopes", *Biogeochemistry* 66(1-2): 75-93.
- NEWTON, A., ICELY, J., FALCÃO, M., NOBRE, A., NUNES, J.P., FERREIRA, J.G., VALE, C. (2003): "Evaluation of Eutrophication in the Ria Formosa Coastal Lagoon, Portugal", *Continental Shelf Research*, 23: 1945-1961.
- NEWTON, A., MUDGE, S. (2005) "Lagoon-sea exchanges, nutrient dynamics and water quality management of the Ria Formosa (Portugal)", *Estuarine Coastal and Shelf Science* 62: 405-414.
- NICOLAU (2002): *Modelação e Mapeamento da Distribuição Espacial da Precipitação- Uma Aplicação a Portugal Continental*, Dissertação para obtenção do grau de Doutor. Universidade Nova de Lisboa, 356pp.
- NOWICKI, B.L., REQUINTINA, E., VAN KEUREN, D., PORTNOY, J. (1999): "The role of sediment denitrification in reducing groundwater-derived nitrate inputs to Nauset Marsh estuary, Cape Cod, Massachusetts", *Estuaries* 22(2): 245-249.
- PROCESL/HIDRO4/PROSISTEMAS (2000): *Plano de Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Algarve, 1ª Fase, Análise e Diagnóstico da Situação de Referência*, Volumes I-IV, Lisboa.
- SILVA, M.J.B.L. da (1988) *Hidrogeologia do Miocénico do Algarve*, Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Geologia, Universidade de Lisboa, 496pp.
- SLOMP, C.P., VAN CAPPELLEN, P. (2004): "Nutrient inputs to the coastal ocean through submarine groundwater discharge: controls and potential impact", *Journal of Hydrology* 295: 64-86.
- STIGTER, T.Y., CARVALHO DILL, A.M.M., RIBEIRO, L. (2006a): "Evaluation of an intrinsic and a specific vulnerability assessment method in comparison with groundwater salinisation and nitrate contamination levels in two agricultural regions in the south of Portugal", *Hydrogeology Journal* 14(1-2): 79-99.
- STIGTER, T.Y., CARVALHO DILL, A.M.M., RIBEIRO, L., REIS, E. (2006b): "Impact of the shift from groundwater to surface water irrigation on aquifer dynamics and hydrochemistry in a semi-arid region in the south of Portugal", *Agricultural Water Management* 85(1-2): 121-132.