



RISCO DE INTRUSÃO SALINA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - GESTÃO INTEGRADA DE ÁGUA SUBTERRÂNEAS*

SALINE INTRUSION RISK AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT - GROUNDWATER INTEGRATED MANAGEMENT

Henrique Carvalho

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Univ. do Algarve
a41816@ualg.pt

Carita Ponte

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Univ. do Algarve
a48605@ualg.pt

Nuno Veloso

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Univ. do Algarve
a42387@ualg.pt

Edite Reis

Agência Portuguesa do Ambiente - ARHAlgarve
edite.reis@apambiente.pt

Pedro Coelho

Agência Portuguesa do Ambiente - ARHAlgarve
pedro.coelho@apambiente.pt

Manuela Moreira da Silva

Instituto Superior de Engenharia da Univ. do Algarve
CIMA- Centro de Investigação Marinha e Ambiental,
University of Algarve
msanti@ualg.pt

RESUMO

Tal como outros aquíferos costeiros, o Sistema Aquífero da Mexilhoeira Grande - Portimão (Algarve), está sob a ameaça da intrusão salina. Analisou-se a evolução nos últimos 30 anos dos níveis piezométricos, do balanço hídrico, de alguns indicadores da qualidade da água e dos usos do solo. Conclui-se que a salinidade devida à intrusão salina e/ou à presença de diapiros está confinada a zonas restritas e que, desde que devidamente monitorizado, este aquífero pode contribuir para a implementação de novos projetos agrícolas importantes para a economia da região.

Palavras-chave: Águas Subterrâneas, sustentabilidade, desenvolvimento económico.

ABSTRACT

The aquifer system of Mexilhoeira Grande - Portimão (Algarve) located in coastal zone, is under the threat of saline intrusion. It was analyzed the evolution over the last 30 years of piezometric levels, water quality indicators, water balance, and land uses. It was concluded that the saline intrusion is confined to restricted areas and if this aquifer system is properly managed, can contribute to the implementation of new agricultural projects of great importance to the economy of Algarve.

Keywords: Groundwater, sustainability, economic development.

RESUMEN

Riesgo de intrusión salina y desarrollo sostenible - gestión de agua subterránea - El sistema acuífero de Mexilhoeira Grande - Portimão (Algarve), ubicado en la zona costera, está bajo la amenaza de una intrusión salina. Se analizó la evolución en los últimos 30 años de los niveles piezométricos, de los indicadores de calidad del agua, del balance hídrico y de usos del suelo. Se concluyó que la intrusión salina se limita a zonas restringidas y si este sistema acuífero se gestiona adecuadamente, puede contribuir a la implementación de nuevos proyectos agrícolas de gran importancia para la economía del Algarve.

Palabras clave: Aguas subterráneas, sostenibilidad, desarrollo económico.

RESUMÉ

Risque d'intrusion saline et développement durable - la gestion intégrée de l'eau souterraine - Le système aquifère de Mexilhoeira Grande - Portimão (Algarve) situé dans la zone côtière, est sous la menace de l'intrusion saline. On a analysé l'évolution au cours des 30 dernières années de niveaux piézométriques, les indicateurs de qualité de l'eau, de l'équilibre de l'eau, et l'utilisation des sols. Il apparaît que l'intrusion saline est confinée aux zones restreintes et si ce système aquifère est correctement géré, il peut contribuer à la mise en œuvre de nouveaux projets agricoles de grande importance pour l'économie de l'Algarve.

Mots-clé: Eau souterraine, pérennité, développement économique.

* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no I Seminário da Rede Incêndios-Solo e I Simpósio Ibero-Afro-Americano de Riscos, tendo sido submetido em 14-10-2015, sujeito a revisão por pares a 18-03-2016 e aceite para publicação em 31-03-2016.

Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 23, 2016, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

Introdução

Gestão Sustentável da Água

Em todas as realidades geográficas são os ecossistemas que suportam as sociedades, e são estas que criam as suas economias, desta forma a sustentabilidade social e económica só será possível num planeta saudável. Apesar de nas últimas décadas no cenário internacional o conceito de desenvolvimento sustentável ter sido muito debatido, a componente económica continua a ser a mais explorada, acarretando consideráveis custos ambientais (WWF, 2014).

Sempre foi evidente o valor e a preciosidade da água. Ao longo do tempo o acesso aos recursos hídricos existentes em cada região permitiu o desenvolvimento das sociedades. Nas últimas décadas, tem-se verificado um aumento acentuado da procura da água devido ao crescimento populacional, à melhoria dos padrões médios de qualidade de vida, e também a mudanças nos episódios de pluviosidade, devidas às alterações climáticas (Bocanegra-Martínez, 2014; Xi & Poh, 2013). À escala global existem diversas regiões do planeta sujeitas a escassez de água, sobretudo em África, na Ásia, e em certas regiões da América Latina e da Europa Mediterrânica (WWAP, 2012). Estima-se que hoje em dia 1,6 biliões de pessoas vivam em realidades de escassez severa de água, e que esse número possa aumentar em 2050 para 3,9 biliões de pessoas (WEF, 2013; OECD, 2012). A água é fundamental não só para consumo humano, mas também para as inúmeras atividades inerentes ao funcionamento das sociedades, nomeadamente urbanização, indústria e agricultura. Nestas atividades, globalmente, a agricultura corresponde ao setor que mais água consome. Atualmente cerca de 70% do consumo de água está associado à agricultura, variando entre 40%, em países desenvolvidos e que importam alimentos, e 95% em países nos quais a agricultura é a principal atividade económica (Bjornlunda & Wheeler, 2014).

Para se fazer frente ao desequilíbrio entre a procura e a oferta de água, são necessárias práticas de gestão integradas e baseadas em tecnologias inovadoras, de modo a podermos garantir, água suficiente e com a qualidade adequada para suprir as necessidades das gerações atuais e futuras (WHO/UNICEF, 2013). Em cada realidade geográfica deve-se conhecer e monitorizar de formas quantitativa e qualitativa os recursos hídricos disponíveis, superficiais e subterrâneos, gerindo a sua utilização de forma integrada. Para além disso, num contexto de diminuição de recursos, deve apostar-se em tecnologias que possibilitem a reutilização de águas residuais tratadas e de águas das chuvas (em cenários climáticos favoráveis), em meios urbanos e/ou rurais para os usos que sejam compatíveis com a sua qualidade (Bousselmi & Regelberger, 2009).

Águas Subterrâneas e Intrusão Salina

Apesar de mais de 70% do planeta ser coberto por água, apenas 2,5% da água disponível na Terra é doce, e a sua distribuição é muito heterogénea (WWF, 2014). Da precipitação total sobre os continentes, apenas cerca de 35% dá origem a escoamento superficial e à recarga de aquíferos (Costa, 2007). Há zonas, como em algumas regiões da América Latina, com elevadas pluviosidades e que dispõem de numerosas massas de água superficiais (rios e lagos), enquanto outras zonas, além de apresentarem precipitação muito escassa, são exclusivamente dependentes de um único sistema aquífero, como por exemplo é descrito por Sefelnasr *et al.* (2015), para o Nordeste Africano. Outro aspeto relevante é que a população mundial cada vez mais se concentra nas zonas costeiras. Atualmente cerca de metade da população mundial vive a menos de 60 km do mar, e cerca de três quartos das grandes cidades mundiais localizam-se na orla costeira (UNEP, 2015). Esta procura crescente de água pelas populações costeiras, acarreta em muitas realidades geográficas, um aumento da extração de águas subterrâneas junto ao litoral. Por outro lado, as alterações climáticas estão a introduzir vários fatores de *stress* sobre os aquíferos costeiros. A alteração dos padrões nos episódios de pluviosidade que condicionam a sua recarga, o aumento da evapotranspiração, e a subida do nível das águas do mar, têm contribuído para o aumento das pressões exercidas sobre estes recursos hídricos (Werner *et al.*, 2013). Assim, o risco de intrusão salina tem-se acentuado nos últimos anos, em muitos dos sistemas aquíferos costeiros (Taylor *et al.*, 2013; Tomaszkiwicz, 2014; Zhang *et al.*, 2015). A salinização das águas subterrâneas é considerada como um processo dificilmente reversível, embora, em alguns países desenvolvidos, se tenha vindo a desenvolver esforços nesse sentido (Lu & Werner, 2013). Numa fase inicial pode não ser fácil detetar a intrusão salina num aquífero, uma vez que a sua perceção está relacionada com ocorrência de alterações na qualidade da água, que por limitações várias, nem sempre são controladas com a periodicidade conveniente. Os parâmetros vulgarmente utilizados como indicadores de intrusão salina são os cloretos e os sólidos totais dissolvidos ou a salinidade (Werner *et al.*, 2013). No entanto, o aumento das concentrações de cloretos e de sólidos totais dissolvidos ou salinidade, em águas subterrâneas, pode estar relacionado com interações água-rocha e com a lixiviação de sais, nada tendo a ver com o avanço da água do mar (Zhang *et al.*, 2015).

Uma das consequências diretas da intrusão salina em muitas realidades geográficas, é que transforma a água subterrânea em água não potável, e assim impossibilita a sua utilização ou exige a implementação de sistemas de pré-tratamento de água dispendiosos (Taylor *et al.*, 2013; Tomaszkiwicz, 2014). A questão da contaminação

dos aquíferos devida à entrada de poluentes oriundos de atividades humanas (principalmente indústria, agricultura e urbanização) também é relevante. Embora as águas superficiais sejam mais vulneráveis a esta poluição do que as águas subterrâneas, quando estas são contaminadas, não é fácil intervir para melhorar a sua qualidade (Chenini *et al.*, 2015). A vulnerabilidade de um sistema aquífero à poluição está relacionada com diversos aspetos, nomeadamente, com a litologia, a geometria do espaço em que está confinado e a hidrogeologia (Chenini *et al.*, 2015; Varol & Davraz, 2010; Moratalla *et al.*, 2011). Quando se faz a avaliação da qualidade da água de um sistema aquífero, deve atender-se aos vários aspetos hidrogeológicos, isto é, à sua zona de recarga, ao seu caudal e aos usos do solo na região.

Sistema Aquífero Mexilhoeira Grande - Portimão

O sistema aquífero Mexilhoeira Grande - Portimão (fig. 1) encontra-se na Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Algarve, distrito de Faro e concelhos de Portimão e Lagos, estando delimitado a Norte pelas formações do Hetangiano, a Sul pelo Oceano Atlântico, a Oeste pela Ribeira do Arão, e a Este pela Ribeira da Boina (Reis, 1993; Almeida *et al.*, 2000).

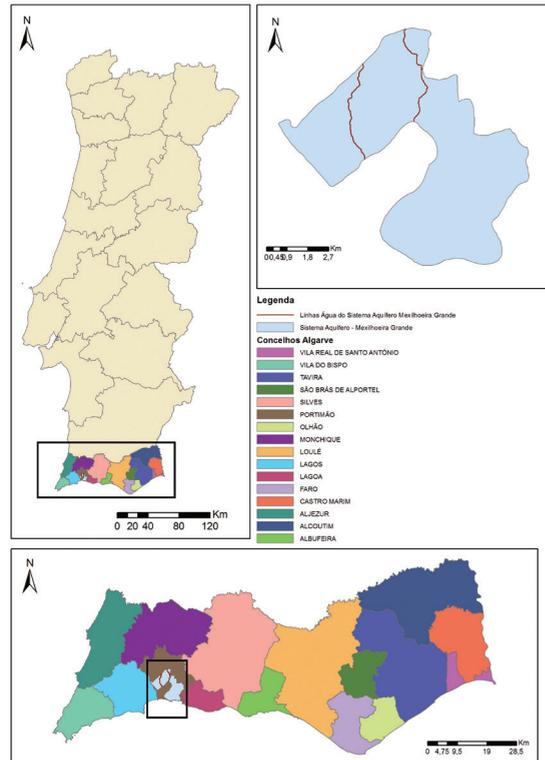


Fig. 1 - Localização do Sistema aquífero Mexilhoeira Grande - Portimão.

Fig. 1 - Location of the Aquifer System Mexilhoeira Grande - Portimão.

Este sistema aquífero tem como formações aquíferas dominantes (Fig. 2) os dolomitos e calcários dolomíticos do Jurássico Inferior, os calcários e dolomitos de Almádena do Jurássico Médio, os calcários e calcarenitos do Miocénico e as areias grosseiras do Pliocénico. As formações aquíferas jurássicas predominam a Norte, enquanto na parte Sul junto ao litoral, predominam as formações carbonatadas e detríticas do Miocénico. Este sistema apresenta características de multi-aquífero, do tipo cársico e poroso, de livre a confinado, ocupando uma área de 51,71 km² (PGBHRA, 2012). As formações aquíferas são atravessadas por várias falhas de direção aproximada N-S e NE-SW, que vão condicionar o sentido do fluxo subterrâneo e a qualidade da água, devido à intrusão de massas de salgema, existentes em profundidade. Devido principalmente à influência da tectónica, o sistema encontra-se compartimentado em vários blocos, separados pelas ribeiras da Torre e Farelo e, que funcionam de modo relativamente independente uns dos outros (Reis, 1993).

A recarga deste sistema aquífero ocorre essencialmente por infiltração direta da precipitação sobre as formações carbonatadas carsificadas aflorantes e a partir da infiltração das linhas de água, quando estas atingem as formações carbonatadas jurássicas e as atravessam no seu percurso para jusante. O fluxo dirige-se de Norte para Sul, ou seja das formações jurássicas em direção ao Miocénico, sendo este último recarregado por transferência de água das formações carbonatadas

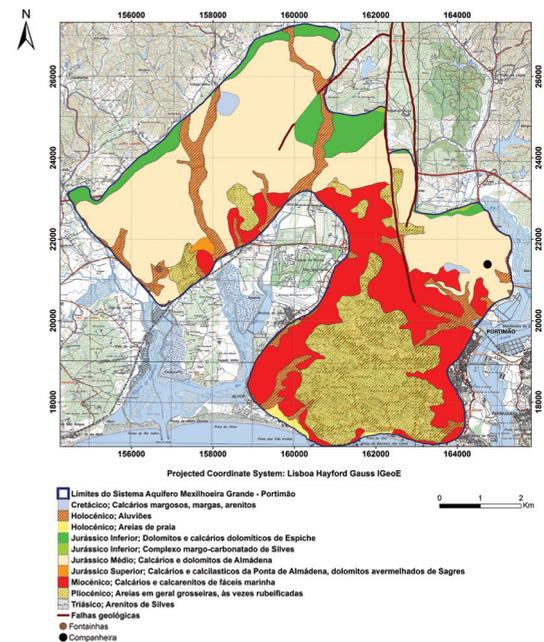


Fig. 2 - Geologia do Sistema aquífero Mexilhoeira Grande - Portimão.

Fig. 2 - Geology of the Aquifer System Mexilhoeira Grande - Portimão.

situadas a norte. A Este deste sistema aquífero a descarga realiza-se das formações jurássicas para a Ribeira da Boina (zona da Companheira), já a Ocidente a principal zona de descarga situa-se na zona das Fontainhas onde existem algumas nascentes temporárias (Reis, 1993). O principal uso atual dado à água captada no Sistema aquífero Mexilhoeira Grande - Portimão é a rega agrícola, onde nos últimos tempos existem numerosos pedidos pendentes, de licenciamento de captações para novas explorações. Atualmente nesta região do Algarve, a origem da água para consumo humano é sobretudo superficial e proveniente da Albufeira de Odelouca, sendo que a distribuição em alta é efetuada pela empresa Águas do Algarve (AdA, 2009). Relativamente à utilização das águas subterrâneas para os diversos usos, cabe às entidades oficiais com responsabilidades na gestão dos recursos hídricos, definir e utilizar critérios que, por um lado assegurem a conservação dos aquíferos, e que por outro, permitam o desenvolvimento de atividades económicas fundamentais ao crescimento sustentável do país.

Neste trabalho pretendeu-se atualizar alguma informação referente ao Sistema aquífero Mexilhoeira Grande - Portimão nomeadamente, em termos de caracterização dos usos do solo e respetivos consumos de água, níveis piezométricos e balanços hídricos, qualidade da água e evidências de intrusão salina. Foi feita uma análise temporal crítica, dos diversos indicadores já referidos, englobando cerca de 30 anos de dados. Foram considerados 3 cenários futuros, assumindo o aumento da extração de água para rega agrícola e para rega de novos espaços verdes urbanos.

Metodologia

Usos do Solo no Sistema Aquífero Mexilhoeira Grande - Portimão

Este estudo foi realizado em ambiente SIG, tendo sido utilizadas as folhas números 594 e 603 de 2005 da 3.ª edição da Carta Militar de Portugal, série M888, à escala de 1:25 000. Como base cartográfica, foram também utilizados os ortofotomapas do Instituto Português de Cartografia e Cadastro de 1991, monocromáticos, e os ortofotomapas do Instituto Geográfico Português de 2007, policromáticos, com resolução espacial de 0,5 m. A informação geográfica utilizada encontra-se georreferenciada no sistema de projecção Hayford-Gauss IGEOE, Elipsoide Internacional, Datum Lisboa, Coordenadas Militares. Para observação (ou confirmação) da geologia que constitui o aquífero, utilizou-se a Carta Geológica da Região do Algarve à escala 1:100 000 (Manuppella, 1992). Procedeu-se à classificação do uso dos solos, para determinar as áreas regadas e com potencial agrícola, através da fotointerpretação e discriminaram-se as várias culturas. Utilizando o

software ArcGis, criaram-se os temas vetoriais, editando polígonos na área do aquífero, correspondentes aos diversos usos do solo de acordo com ortofotomapas dos anos 1991 e 2007. Calcularam-se as respetivas áreas e representaram-se os usos dos solos na forma de mapas.

Consideram-se como áreas regadas, as relativas a espaços verdes regados com água deste aquífero, e as áreas com culturas de citrinos, hortícolas ao ar livre, vinhas e hortícolas em estufa. Foram consideradas áreas não regadas, as não cultivadas e as correspondentes a culturas de sequeiro.

Georreferenciação das Captações de Água com Base nos Pedidos de Licenciamento

Em 2014, quando este estudo se iniciou, a APA-ARHAlgarve dispunha de 201 captações já georreferenciadas neste aquífero pelo sistema de licenciamento Geslic (2002-2012) e outras 97 captações georreferenciadas pelo sistema de licenciamento Siliamb (2012-2014). Foi criada uma nova base de dados georreferenciada, com 485 pedidos de licenciamento de captações de furos e poços, recebidos até aquele momento na APA-ARHAlgarve, referentes ao Concelho de Portimão. Posteriormente, foram selecionadas as captações incluídas dentro da área do aquífero, correspondendo a 180.

Determinação dos Volumes Extraídos com Base nos Diversos Usos do Solo

Os volumes de água subterrânea extraída com base nos diversos usos do solo, foram quantificados do seguinte modo,

$$A = B \times C$$

Em que:

A = Volume de água extraída (m³/ano);

B = Área relativa a cada uso do solo (ha);

C = Dotações de rega (m³/ha/ano).

Entende-se por dotação de rega, o conceito estabelecido no Plano de Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Algarve (MAOT, 2002), de acordo com o tipo de cultura agrícola. Apresenta-se na TABELA I a dotação de rega relativa a cada uso do solo na região estudada. Para o cálculo do consumo de água nos jardins, consideraram-se os jardins das áreas urbanas correspondentes a 3 tipologias, jardins de manchas urbanizadas, jardins de edificações dispersas e jardins de edifícios turísticos. Para este efeito, fez-se uma amostragem, representativa do número de jardins em cada tipologia e em dois anos de estudo (1991 e 2007). Determinaram-se as áreas totais ocupadas pelos jardins para as 3 tipologias estudadas, estimando-se em seguida o volume de água extraída para a respetiva rega.

De acordo com o Dec. Lei 226-A/2007 de 31 de Maio (Artigo 42º), um sistema de abastecimento particular só pode utilizar água subterrânea para consumo humano na condição de ser impossível o seu acesso ao abastecimento público. Assim sendo, para o cálculo da água extraída para consumo humano, fez-se a georreferenciação das casas que estão fora da zona servida pela rede de abastecimento público, contabilizando-se o número de habitações nestas condições. A partir daí calculou-se o volume de água subterrânea extraída para consumo humano, multiplicando-se o número total de habitações por uma dotação de consumo, neste caso não de rega, mas assumido um consumo médio de 4 pessoas por habitação unifamiliar.

TABELA I - Dotação de rega para os diferentes usos de solo no concelho de Portimão.

TABELA I - Water allocation for different land uses in Portimão.

<i>Uso do Solo</i>	<i>Dotação de Rega (m³/ha/ano)</i>
Citrinos	4580
Vinha	3040
Hortícolas ao ar livre	2170
Hortícolas em estufa	4300
Prunoideas	5520
Pomar	3922
Jardins	3364
Habitação Unifamiliar - Consumo Humano	150 (m³/habitação/ano)

Determinação dos Níveis Piezométricos

Recolheram-se dados de medições mensais dos níveis piezométricos efetuadas entre 1983 e 2015, em vários piezómetros instalados neste sistema aquífero que fazem parte da rede de monitorização da APA-ARHALgarve. Para a análise destes dados, elaboraram-se mapas de isopiezas e gráficos da evolução dos níveis piezómetros, de forma a analisar a evolução espacial e temporal da piezometria no aquífero.

Recolha de Dados de Qualidade da Água Referentes ao Sistema Aquífero Mexilhoeira Grande - Portimão

Foram recolhidos dados na APA-ARHALgarve obtidos ao longo do tempo, por diversas entidades regionais (cujas designações se foram alterando), nomeadamente Administração da Região Hidrográfica do Algarve (ARH-

Algarve), Agência Portuguesa do Ambiente (APA), Direção Regional do Ambiente e Recursos Naturais do Algarve (DRARN-Algarve), Direção Regional do Ambiente e Ordenamento Território do Algarve (DRAOT-Algarve), Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Algarve (CCDR-Algarve), Direção Regional da Agricultura do Algarve (DRAALG), Câmara Municipal Portimão (CMP), Empresa Municipal de Águas e Resíduos de Portimão (EMARP), Morgado do Reguengo Golfe, referentes ao período entre 1981 e 2012. Os parâmetros monitorizados nestas campanhas, não foram sempre os mesmos nos diversos pontos de amostragem, nos casos em que a monitorização foi mais completa, foram quantificados cloretos, condutividade, sulfatos, nitratos e bicarbonatos.

Efetuuou-se uma nova campanha de amostragem entre setembro e novembro de 2014, no sentido de se voltar a quantificar os parâmetros de qualidade da água considerados indicadores de intrusão salina (cloretos, condutividade e sulfatos) e de pressão antrópica de origem agrícola (nitratos), acrescidos de bicarbonatos. Atendendo a que na zona do sistema aquífero Mexilhoeira Grande - Portimão se encontram implantadas 298 captações licenciadas e 180 captações em fase de licenciamento (correspondendo a um total de 478 captações), determinou-se estatisticamente o número mínimo de captações a serem analisadas para assegurarem a representatividade da realidade do aquífero, otimizando-se em simultâneo os encargos com os ensaios laboratoriais. A análise estatística (Thompson, 2012) demonstrou que, com um intervalo de confiança de 90%, a amostragem necessária devia incluir a caracterização de 61 captações.

Os resultados analíticos cedidos pela APA-ARHALgarve relativos aos anos anteriores correspondem a ensaios efetuados no laboratório da APA-ARHALgarve, de cloretos, condutividade, sulfatos, nitratos e bicarbonatos, utilizando-se as metodologias definidas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Eaton *et al.*, 2005), na edição em vigor à data. Na campanha de 2014, a condutividade foi quantificada *in situ* utilizando-se para tal uma sonda multiparamétrica YSI model 6820 V2. As amostras para os outros ensaios foram recolhidas e imediatamente transportadas para o Laboratório de Engenharia Sanitária (LES) da UAlg, acreditado pelo IPAC (L0308), para análise posterior. Na TABELA II faz-se referência às metodologias analíticas utilizadas nos diversos parâmetros, bem como às estimativas de incertezas associadas.

Metodologia para Análise e Tratamento de Resultados

Foi utilizado o ArcGIS versão 10.1 (ESRI, 2012) para analisar e representar geograficamente os resultados obtidos. Relativamente aos parâmetros indicadores da

qualidade da água, os resultados recolhidos desde 1981 foram comparados com os obtidos na última campanha de amostragem em 2014. Compararam-se os resultados obtidos para cada parâmetro ao longo do tempo, com os Valores Máximos Recomendados (VMR) e com os Valores Máximos Admissíveis (VMA), definidos no Decreto - Lei 236/98, respetivamente para a qualidade de águas subterrâneas destinadas à produção de água para consumo humano (Anexo I) e para a qualidade das águas destinadas à rega (Anexo XVI).

Análise e Discussão de Resultados

Distribuição Geográfica das Captações e Volumes Extraídos para os Diversos Usos do Solo

Das 485 novas captações particulares georreferenciadas no Concelho de Portimão, 180 estão localizadas no interior do Sistema Aquífero Mexilhoeira Grande - Portimão, tal como se apresenta na (fig. 3).

Neste espaço temporal verifica-se que existem duas zonas com maiores densidades de novas captações, uma localizada entre Alvor e Penina e a outra entre Cabeço Esteves e Monte Judeu, estando ambos os casos associados à implementação de novas urbanizações. Os outros novos pedidos de licenciamento que foram formalizados na entidade gestora, referem-se a captações dispersas pelo sistema aquífero.

Usos do Solo e Respetivos Consumos de Água do Sistema Aquífero Mexilhoeira Grande - Portimão

Classificação dos Usos do Solo por Fotointerpretação

De acordo com os resultados obtidos em 1991 por fotointerpretação, foram identificadas 15 classes de

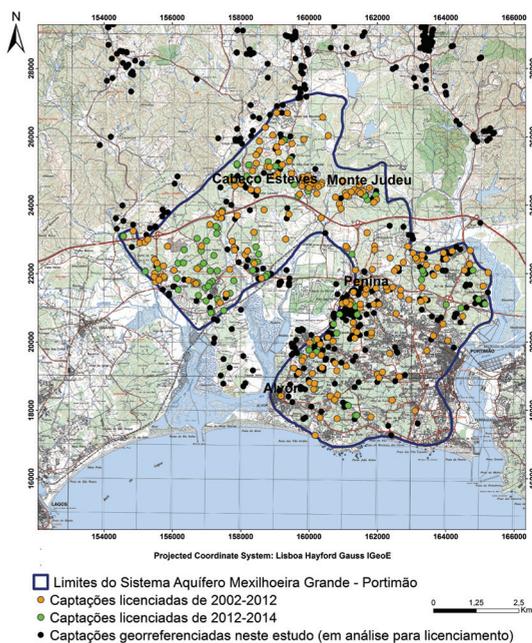


Fig. 3 - Mapa de captações atualmente georreferenciadas no Concelho de Portimão.

Fig. 3 - Georeferenced map of the water catchments in Portimão.

usos do solo (fig. 4). Nessa altura, a maior parte da área junto a este aquífero era não regada (69,63%), a área urbana correspondia a 17,62%, e apenas 12,75% da área era regada.

Em 2007 (fig. 5) a área não regada desceu para 54,57%, a área urbana aumentou para 33,32%, e houve uma diminuição muito ligeira da área regada para 12,11%.

Quanto aos usos de solo que não representam consumos de água para este aquífero, em 1991, o pomar de

TABELA II - Metodologias analíticas laboratoriais.

TABLE II - Analytical Methods.

<i>Ensaio</i>	<i>Unidade</i>	<i>Metodologia</i>	<i>Referência Bibliográfica ou Normativa</i>	<i>Incerteza (%)</i>
Bicarbonatos	mg/L HCO_3^-	Titulometria (2320 B)	A.D. Eaton <i>et al.</i> , 2005	10
Cloretos	mg/L Cl^-	Titulometria (4500 Cl- B)	A.D. Eaton <i>et al.</i> , 2005	7,4
Condutividade a 20 °C	mS/cm	Eletrometria (2510 B)	A.D. Eaton <i>et al.</i> , 2005	1,5
Nitratos NP	mg/L NO_3^{2-}	Espectrometria de Absorção Molecular	NP 4338-1:1996	11
Nitratos SMEWW	mg/L NO_3^{2-}	Espectrometria de Absorção Molecular (4500-NO3 B)	A.D. Eaton <i>et al.</i> , 2005	9,9
Sulfatos	mg/L SO_4^{2-}	Espectrometria de Absorção Molecular (7.49.2)	J. Rodier, 2009	14

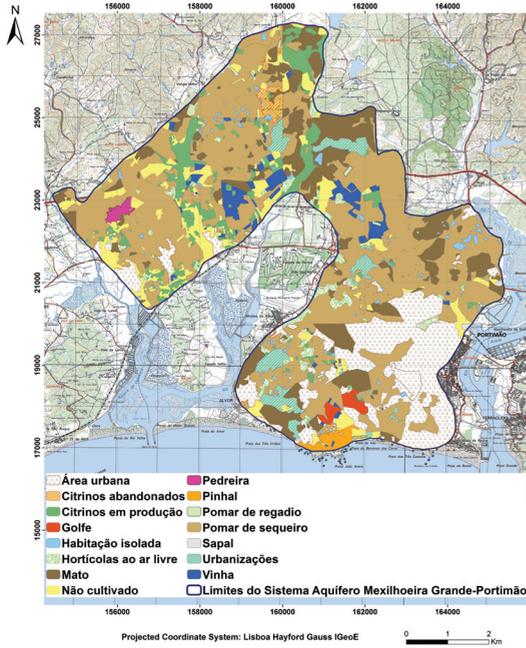


Fig. 4 - Classificação dos usos do solo em 1991.

Fig. 4 - Classification of land uses in 1991.

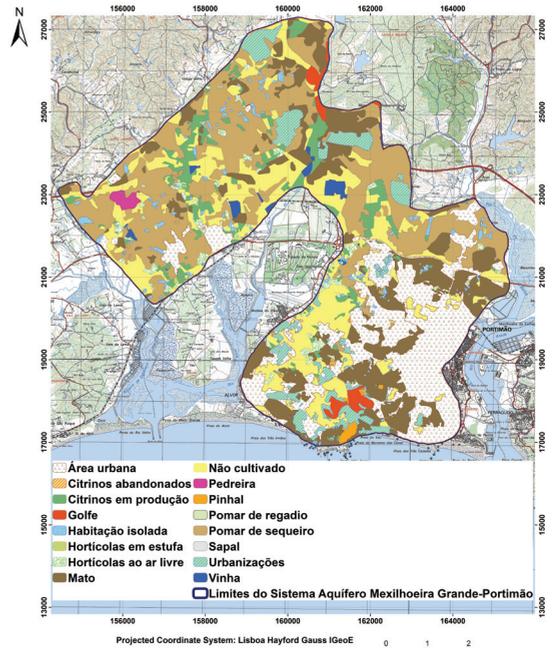


Fig. 5 - Classificação do uso do solo do ano de 2007.

Fig. 5 - Classification of land uses in 2007.

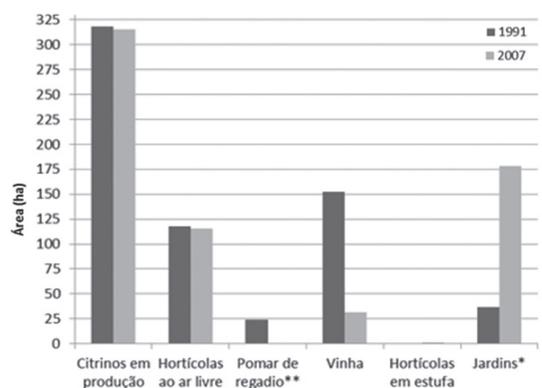
sequeiro, característico desta Região Mediterrânica, ocupava uma área de 2311 ha, sendo a classe mais representativa, no entanto, em 2007 verifica-se que este uso dos solos sofreu um decréscimo de 38,9 %. Relativamente à classe Não cultivado, que em 1991 tinha uma ocupação de 390,8 ha, em 2007 essa área sofreu um aumento de 42%. Também a classe Mato, em 1991 tinha uma ocupação de 823,15 ha, e em 2007 verificou-se um aumento de 10 % com Mato. Em 1991 os Citrinos abandonados ocupavam 40,97 ha, e até 2007 diminuíram em 84,1%. Quanto ao Pinhal implementado nesta região, tem ocupado uma área muito reduzida e que se manteve constante ao longo do tempo.

Na figura seguinte (fig. 6) apresenta-se a evolução entre 1991 e 2007 dos usos do solo que representam consumos de água no Sistema Aquífero Mexilhoeira Grande - Portimão.

Os citrinos são claramente a classe de usos de solo com a maior área de implantação neste sistema aquífero. Em 1991 ocupavam cerca de 318,3 ha, e mantiveram-se aproximadamente assim até 2007, tendo-se apenas verificado um ligeiro decréscimo (0,91 %).

Neste espaço de tempo verificou-se um aumento de 77 % da área ocupada com jardins. Este aumento traduz a existência de 161,72 ha de jardins em 2007, constituindo a segunda maior classe de usos do solo. Dentro dos jardins, estão incluídos os implementados em habitações isoladas e em urbanizações. A área ocupada por hortícolas ao ar livre manteve-se aproximadamente constante neste período, cerca de 117,4 ha, embora com um ligeiro decréscimo (1,5%).

Enquanto que em 1991 a vinha era o segundo maior uso do solo, com 152,3 ha, nos anos seguintes até 2007 sofreu uma diminuição de 79,4 %. Relativamente ao pomar de regadio, entre 1991 e 2007 também se verificou uma diminuição de área ocupada muito significativa, na ordem dos 97,3%. As hortícolas em estufa terão aparecido posteriormente a 1991, e em 2007 ocupavam uma área de 1,47 ha.



* Em Jardins incluem-se os jardins relativos a Habitação isolada e Urbanizações, de acordo com as fig. 4 e 5;

** Em Pomar de Regadio incluem-se pomares de espécies diversas excluindo-se os Citrinos.

Fig. 6 - Evolução temporal das áreas regadas, ocupadas pelos diversos usos do solo no aquífero.

Fig. 6 - Temporal evolution of irrigated areas occupied by the different land uses in the aquifer.

Volumes Extraídos do Sistema Aquífero Mexilhoeira Grande - Portimão

Quando se analisam os volumes de água utilizados para os diversos usos do solo (apresentados na fig. 7), verifica-se que a classe citrinos em produção é a responsável pela maior pressão extrativa do aquífero (entre 1,44 e 1,45 hm³/ano), no período em análise.

Em 2007, o uso que representou o segundo maior consumo de água deste aquífero foram os jardins (0,60 hm³/ano), seguido das hortícolas ao ar livre (0,25 hm³/ano) e da Vinha (0,09 hm³/ano). Já em 1991, o uso que representou o segundo maior consumo de água foi a vinha, seguido de hortícolas ao ar livre e os jardins apareciam em quarto lugar no consumo de água deste aquífero.

Como era de esperar, a fig. 7 está de acordo com a Fig. 6, apresentando a mesma evolução temporal para todas as classes de usos do solo, porque o volume extraído do aquífero resulta do consumo associado a cada uso pela respetiva área. No que diz respeito ao consumo humano, este foi calculado de acordo com o descrito anteriormente (TABELA I), e entre 1991 e 2007 variou respetivamente, entre 0,0018 e 0,0041 hm³/ano.

Níveis Piezométricos

A distribuição espacial dos níveis piezométricos pode ser observada no mapa de isopiezas que em seguida se apresenta (Fig. 8). Este mapa confirma o sentido do fluxo das águas subterrâneas de Norte para Sul, como já referido anteriormente, verificando-se

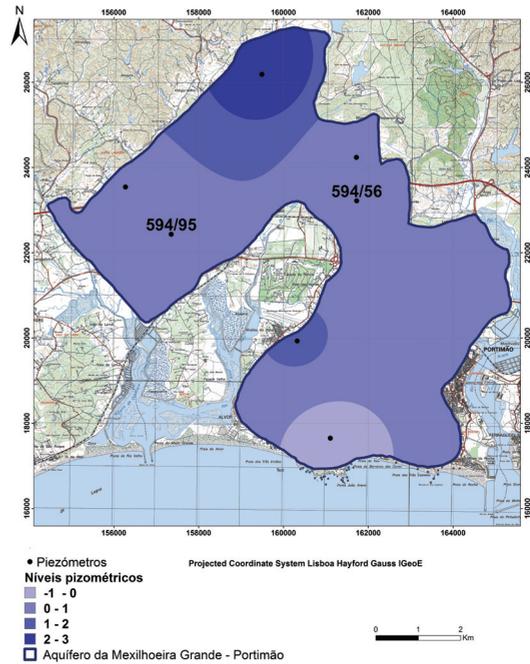
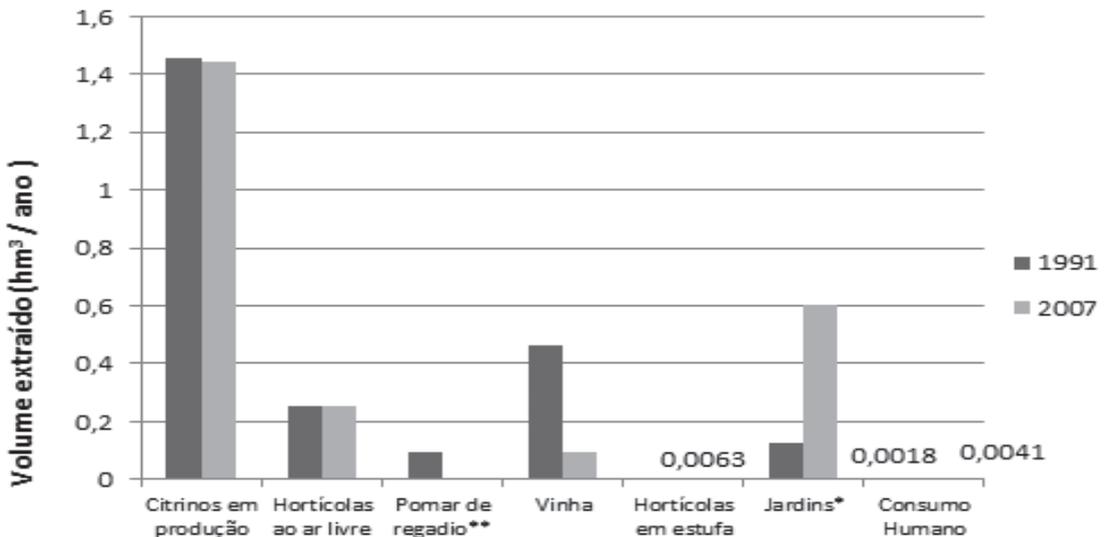


Fig. 8 - Isopiezas do Sistema aquífero Mexilhoeira Grande - Portimão em outubro de 2012.

Fig. 8 - Piezometric levels on the Aquifer System Mexilhoeira Grande - Portimão on October 2012.

um gradiente hidráulico muito baixo e a existência de cotas negativas no extremo sul do aquífero, no contacto com o mar. Esta situação pode significar risco de ocorrência de fenómenos pontuais de intrusão salina nesta zona.



* Em Jardins incluem-se os jardins relativos a Habitação isolada e Urbanizações, de acordo com as fig. 4 e 5;

** Em Pomar de Regadio incluem-se pomares de espécies diversas excluindo-se os Citrinos.

Fig. 7 - Evolução temporal entre 1991 e 2007 dos volumes captados (estimados) nos diferentes usos do solo.

Fig. 7 - Temporal evolution between 1991 and 2007 of the volumes (calculated) on the different land uses.

Procedeu-se à análise da evolução temporal dos níveis piezométricos registados em dois piezómetros (594/95 e 594/56) instalados neste sistema aquífero, respetivamente nas formações jurássicas e miocénicas. Essa evolução é apresentada nas figuras seguintes fig. 9 e fig. 10).

Como se pode verificar, os dois piezómetros revelam comportamentos diferentes, nomeadamente no que se refere à amplitude de variação dos níveis piezométricos e por consequência nas respetivas capacidades de armazenamento.

O piezómetro 594/95 (Fig. 9) localizado entre as ribeiras do Farel e Arão, apresenta amplitudes de variação interanuais que podem atingir os 6 m, verificando-se rápidas subidas no período húmido, seguidas de descidas acentuadas no período seco, o que traduz uma fraca capacidade de armazenamento nesta zona do sistema.

O piezómetro 594/56 (fig. 10) situa-se no bloco entre a Ribeira da Torre e a Ribeira da Boina, próximo do contacto entre as formações Jurássicas e Miocénicas, este piezómetro revela uma menor amplitude de variação dos níveis piezométricos (sempre inferior a

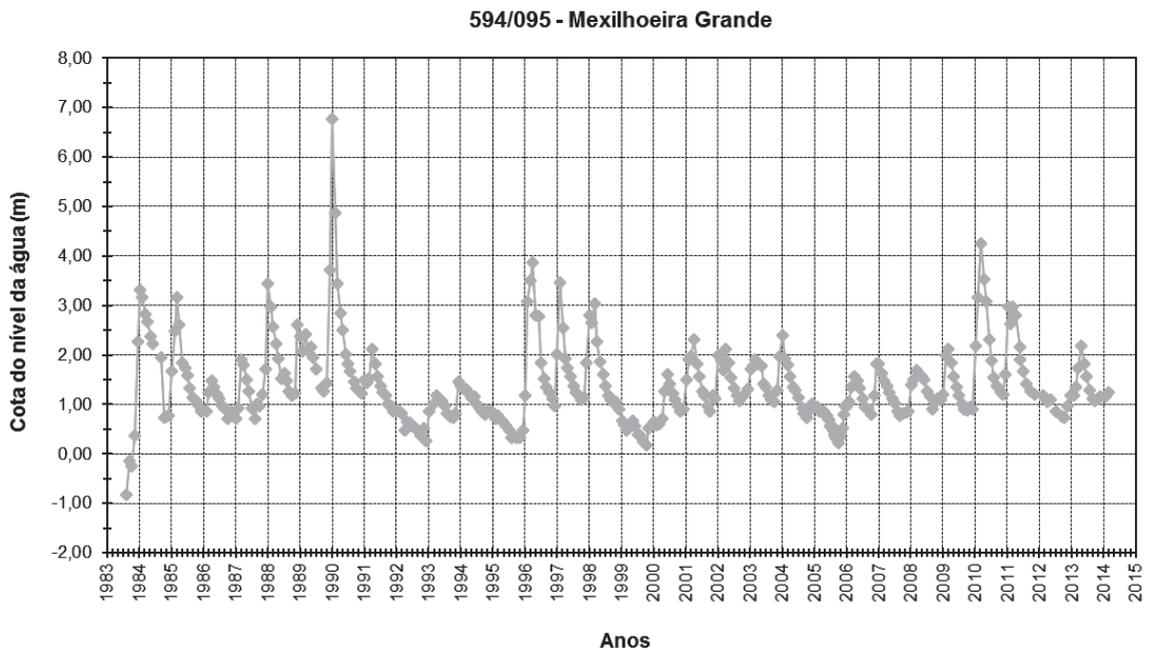


Fig. 9 - Evolução do nível piezométrico no ponto 594/95 do Sistema aquífero Mexilhoeira Grande - Portimão.

Fig. 9 - Evolution of piezometric level on the point 594/95 of the Aquifer System Mexilhoeira Grande-Portimão.

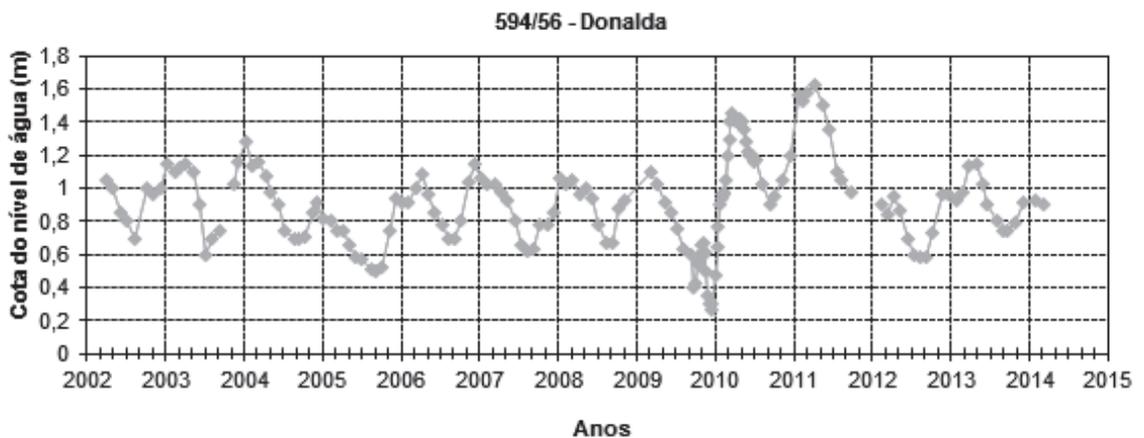


Fig. 10 - Evolução do nível piezométrico no ponto 594/56 do Sistema aquífero Mexilhoeira Grande -Portimão.

Fig. 10 - Evolution of the water level at the point 594/56 of the Aquifer System Mexilhoeira Grande-Portimão

1,8 m), bem como uma resposta mais lenta à recarga, evidenciando um maior período de permanência de água no aquífero, devido à recarga que vem de Norte.

Balanço Hídrico

146

De acordo com estudos anteriores (Almeida *et al.*, 2000) a recarga média do sistema aquífero Mexilhoeira Grande - Portimão estima-se em 10,00 hm³/ano, dos quais 8,00 hm³/ano são provenientes dos calcários do Jurássico e 2,00 hm³/ano dos calcarenitos do Miocénico. Posteriormente, de acordo com o PGBHRA (2012) a recarga deste aquífero foi estimada em 11,55 hm³/ano. Considerando-se que as descargas para os ecossistemas aquáticos e terrestres correspondem a 0,50 hm³/ano, ficarão disponíveis neste aquífero 11,05 hm³/ano. De acordo com este valor, a TABELA III faz referência ao balanço hídrico deste sistema aquífero, comparando as extrações de água conhecidas e estimadas no PGBHRA (2012) e neste estudo em 2014, constatando-se que, em ambos os casos é muito positivo.

De referir que as extrações conhecidas foram obtidas a partir dos dados de licenciamento e as extrações estimadas foram obtidas a partir dos resultados dos

usos do solo, determinados por fotointerpretação. Os valores apresentados na TABELA III relativos a este estudo (2014), no que se refere às extrações estimadas são referentes aos usos do solo em 2007, e as extrações conhecidas englobam todos de dados de licenciamento anteriormente referidos.

Evolução Temporal da Qualidade da Água do Sistema aquífero Mexilhoeira Grande - Portimão

Os resultados da qualidade da água obtidos em 2014 foram comparados com os dos anos anteriores e apresentam-se na TABELA IV. É feita referência aos valores mínimos, médios e máximos obtidos para cada parâmetro, bem como ao número de captações monitorizadas neste sistema aquífero em cada período.

Cloretos

As figuras que se seguem (fig.11 e fig. 12), mostram as classes de concentração de cloretos obtidas para as diversas zonas do sistema aquífero Mexilhoeira Grande - Portimão, respetivamente nos anos de 1981 e de 2014.

TABELA III - Extrações e Balanços Hídricos no Sistema Aquífero Mexilhoeira Grande - Portimão.

TABLE III - Catchments and Hydric Balances in the Aquifer System Mexilhoeira Grande - Portimão.

Sistema Aquífero Mexilhoeira Grande - Portimão		PGBHRA (2012)	Este estudo (2014)
Disponível: 11,05 hm ³ /ano			
Extrações (hm ³ /ano)	Conhecida	0,67	1,36
	Estimada	1,82	2,40
Balanços Hídricos (hm ³ /ano)	Conhecido	10,38	9,69
	Estimado	9,23	8,65

TABELA IV - Evolução temporal dos indicadores de qualidade da água.

TABLE IV - Temporal evolution of the water quality indicators.

Parâmetro/Período	1987-2012			2014 n = 61 captações para todos os parâmetros		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
Cloretos (mg/L) n = 132 captações	27	347	1882	52	346	2828
Condutividade (µS/cm) n = 65 captações	420	1948	5100	510	1560	8419
Nitratos (mg/L) n = 44 captações	0,1	29,2	200	4	34,9	144
Sulfatos (mg/L) n = 48 captações	4,3	58,4	531	8	75,9	530
Bicarbonatos (mg/L) n = 40 captações	150	383	510	162	353	464

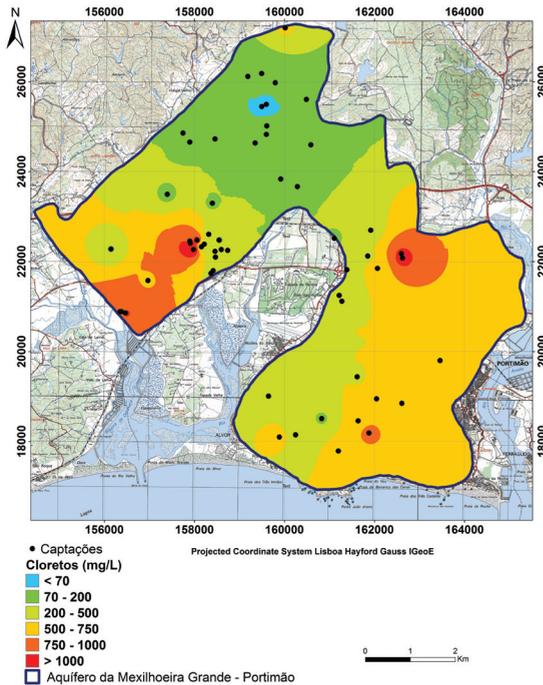


Fig. 11 - Classes de concentrações de cloretos no Sistema aquífero Mexilhoeira Grande - Portimão em 1981.

Fig. 11 - Variation of chloride concentrations in the Aquifer System Mexilhoeira Grande-Portimão in 1981.

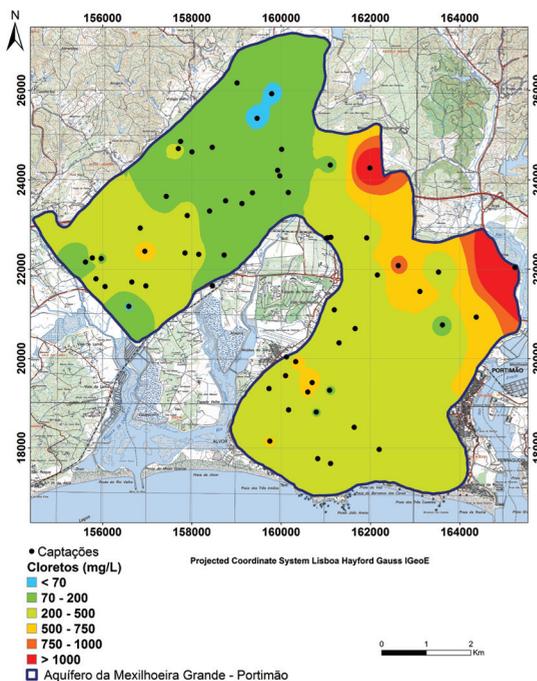


Fig. 12 - Classes de concentrações de cloretos no Sistema aquífero Mexilhoeira Grande - Portimão em 2014.

Fig. 12 - Variation of chloride concentrations in the Aquifer System Mexilhoeira Grande-Portimão in 2014.

Em termos de valores elevados de cloretos, as regiões mais críticas do aquífero localizam-se a Nordeste, chegando a atingir-se concentrações próximas de 3000 mg/L de cloretos. Estas concentrações podem estar relacionadas com a existência das falhas de Portimão com direção aproximadamente N-S, às quais estão associadas massas de salgema existentes em profundidade. Também podem dever-se à existência da interface água doce/água salgada, na zona da Companheira.

Comparando-se os resultados de 1981 com os de 2014, verifica-se que existem algumas regiões do aquífero em que houve diminuição clara de cloretos, nomeadamente na parte Sudoeste do Sistema Aquífero (Figueira-Mexilhoeira Grande). Esta diminuição está provavelmente associada à diminuição das extrações de água subterrânea para abastecimento público, cujas captações entraram em reserva em 1999/2000, quando o concelho de Portimão começou a ser abastecido por água de origem superficial. Como se pode verificar, de um modo geral houve uma diminuição da concentração de cloretos ao longo do tempo neste sistema aquífero. Mesmo assim, grande parte do aquífero apresenta cloretos superiores aos VMR para rega (70 mg/L) e para produção de água para consumo humano (200 mg/L).

Condutividade

Relativamente à análise da variação da condutividade, foi considerado o ano de 2009 (por escassez de dados nos anos anteriores) e comparou-se com 2014 (fig. 13 e fig. 14). Verifica-se que a distribuição espacial e evolução temporal dos valores da condutividade, são semelhante às observadas para as concentrações de cloretos. Na maioria do aquífero, a condutividade excede o VMR para a produção de água para consumo humano (1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). De acordo com Varennes (2003), valores de condutividade desta ordem de grandeza em águas utilizadas para rega, representam diferentes níveis de risco de salinização para os solos agrícolas, desde baixo risco (< 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$), médio risco (750 a 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$), alto risco (1500 a 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e muito alto risco (> 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Nitratos

A variação de nitratos neste aquífero entre 1981 e 2014 não apresentou uma tendência de evolução espacial regular, isto é, houve zonas em que as concentrações de nitratos aumentaram e outras em que diminuíram, tal como se apresenta nas figuras seguintes (fig. 15 e fig. 16).

Embora em 1981 (fig. 15) o número de amostras analisadas tenha sido muito inferior ao analisado em 2014, e portanto menos representativo, neste último ano existem evidências de maior pressão agrícola. Nos

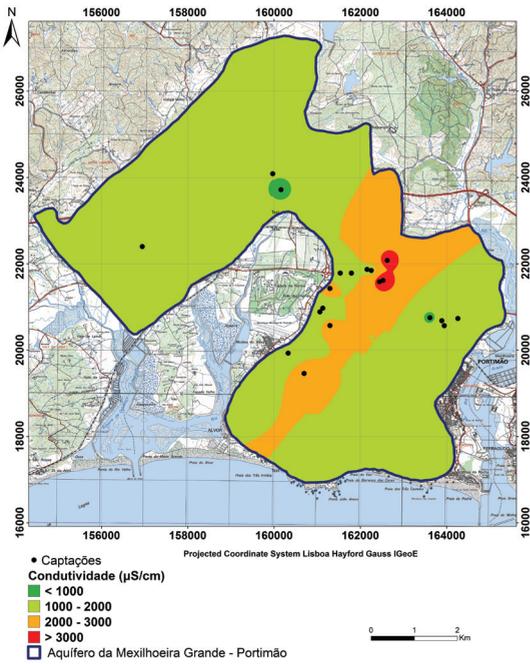


Fig. 13 - Variação dos valores de condutividade no Sistema aquífero Mexilhoeira Grande - Portimão em 2009.

Fig. 13 - Variation of conductivity in the Aquifer System Mexilhoeira Grande-Portimão in 2009.

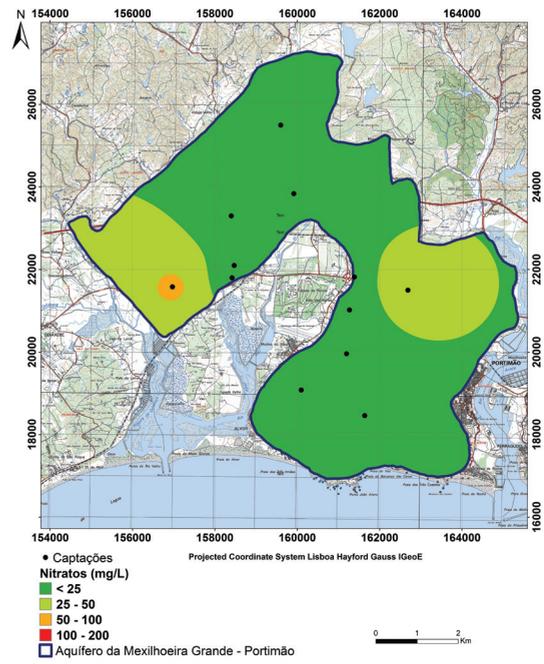


Fig. 15 - Classes de concentrações de nitratos no Sistema aquífero Mexilhoeira Grande - Portimão em 1981.

Fig. 15 - Variation of nitrates concentrations in the Aquifer System Mexilhoeira Grande-Portimão in 1981.

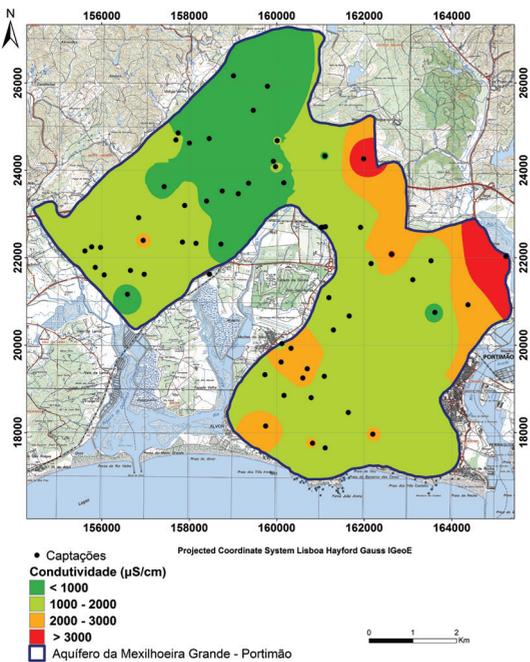


Fig. 14 - Variação dos valores de condutividade no Sistema aquífero Mexilhoeira Grande - Portimão em 2014.

Fig. 14 - Variation of Conductivity in the Aquifer System Mexilhoeira Grande-Portimão in 2014.

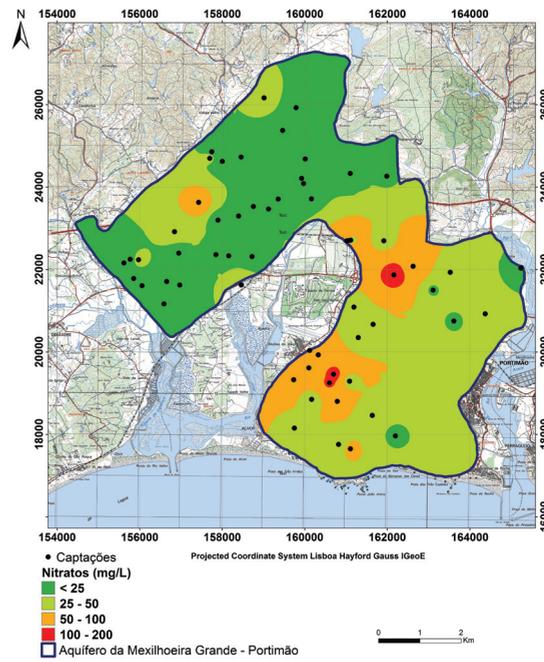


Fig. 16 - Classes de concentrações de nitratos no Sistema aquífero Mexilhoeira Grande - Portimão em 2014.

Fig. 16 - Variation of nitrates concentrations in the Aquifer System Mexilhoeira Grande-Portimão in 2014.

últimos anos verificou-se um aumento da área ocupada por jardins (de acordo com a fig. 6), que juntamente com outras atividades agrícolas, recorrerão à utilização de fertilizantes de síntese, que facilmente poderão ser arrastados por percolação e atingir este sistema aquífero, levando portanto ao aumento da concentração de nitratos nas zonas adjacentes.

Como se pode observar em 1981 as concentrações dos nitratos na generalidade do aquífero eram inferiores ao VMR para produção de água para consumo humano (25 mg/L), e em duas zonas específicas inferiores ao VMR para rega (50 mg/L), apenas houve a exceção de uma captação, que apresentou concentrações de nitratos entre 50 e 100 mg/L NO_3 .

Em 2014 (fig. 16), as concentrações de nitratos aumentaram em grande parte do sistema aquífero, sendo que em três pontos de amostragem foram superiores a 100 mg/L. Para inverter esta tendência será importante, a implementação de boas práticas agrícolas na região, que garantam a proteção dos recursos hídricos.

Sulfatos

As concentrações de sulfatos no sistema aquífero, desde 1981 (fig. 17) até 2014 (fig. 18), de um modo geral foram inferiores ao VMR para produção de água para consumo humano (150 mg/L) e portanto ao VMR para rega (575 mg/L). Assim sendo, caso haja necessidade, os sulfatos não constituem um obstáculo, na utilização destas águas subterrâneas para produção de água para consumo humano ou para o seu uso na rega.

De acordo com os dados históricos, a distribuição espacial das concentrações de cloretos acompanha a distribuição espacial das concentrações de sulfatos, embora para estes, em 1981, o número de pontos de amostragem seja reduzido. Se compararmos a fig. 12 relativa às concentrações de cloretos em 2014, com a Fig. 18 relativa às concentrações de sulfatos no mesmo ano, verifica-se que há coincidência nos pontos de amostragem onde houve aumento das concentrações de cloretos e de sulfatos. Esta situação pode dever-se, a fenómenos pontuais de intrusão salina e/ou à existência de gesso (sulfato de cálcio) geralmente associada a massas de salgema.

Bicarbonatos

As concentrações de bicarbonatos apresentadas na TABELA IV, são indicadoras da alcalinidade da água constituindo uma informação importante para a compreensão da sua composição química. De acordo com Mollema *et al.* (2013), os valores de bicarbonatos quantificados neste espaço temporal, podem considerar-se como *Moderados* (122 a 244 mg/L), *Moderados Altos* (244 a 488 mg/L) e *Altos* (488 a 976 mg/L). Quando se utiliza uma água para a rega, é

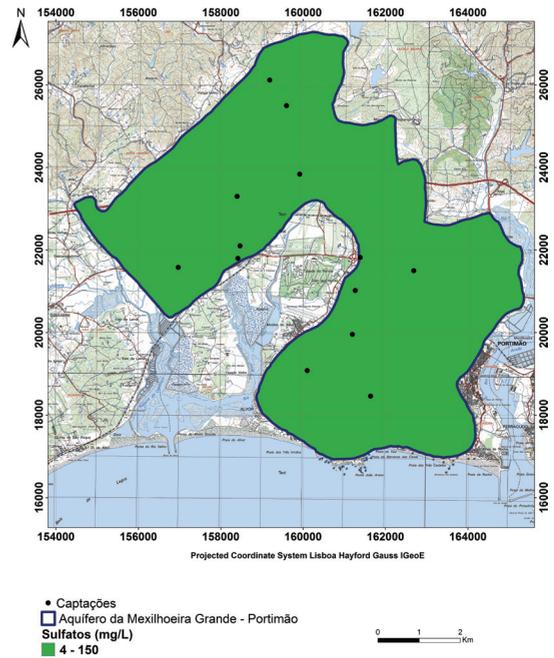


Fig. 17 - Classes de concentrações de sulfatos no Sistema aquífero Mexilhoeira Grande - Portimão em 1981.

Fig. 17 - Variation of sulfates concentrations in the Aquifer System Mexilhoeira Grande-Portimão in 1981.

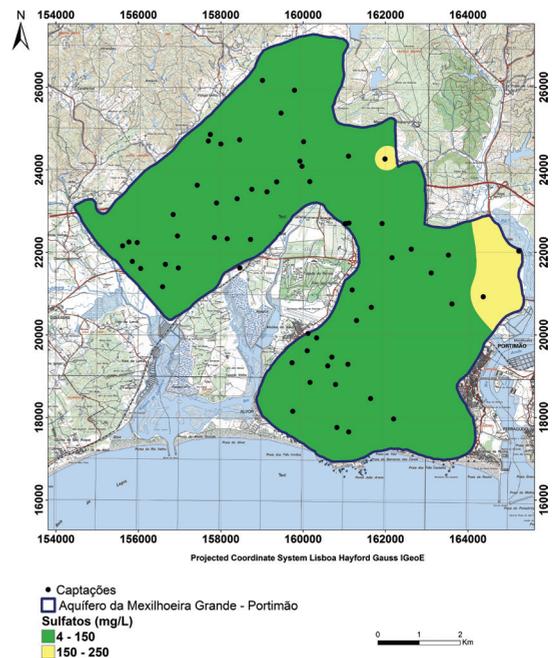


Fig. 18 - Classes de concentrações de sulfatos no Sistema aquífero Mexilhoeira Grande - Portimão em 2014.

Fig. 18 - Variation of sulfates concentrations in the Aquifer System Mexilhoeira Grande-Portimão in 2014.

conveniente que a concentração de bicarbonatos seja inferior a 520 mg/L, caso contrário correemos o risco que haja precipitação de cálcio e magnésio levando à salinização dos solos agrícolas (Varenes, 2003). Se a água deste sistema aquífero for utilizada para rega, deve ser verificado caso a caso, nomeadamente atendendo à espécie cultivada, se é necessário efetuar-se uma acidificação prévia.

Cenários Futuros de Utilização da Água do Sistema Aquífero Mexilhoeira Grande - Portimão

Para se perceber o efeito do aumento da pressão antrópica sobre este aquífero, em termos volumes extraídos, foram considerados novos cenários de ocupação do solo, para as áreas não regadas.

Cenário A:

- Se toda a área não regada (não cultivada, mato e pomar de sequeiro) for utilizada para citrinos com dotação de rega de 4500 m³/ha/ano;

Cenário B:

- Se toda a área não regada, classificada como Reserva Agrícola Nacional (RAN) for utilizada para citrinos com dotação de rega de 4500 m³/ha/ano;

Cenários C:

- Se os espaços não ocupados na área urbana de Portimão forem utilizados para espaços verdes, com dotação de rega equivalente a jardins.

Dentro destes Cenários C considerou-se ainda,

Cenário C1: todos os espaços não ocupados vão ser utilizados para jardins;

Cenário C2: 50% dos espaços não ocupados vão ser utilizados para jardins;

Cenário C3: 25% dos espaços não ocupados vão ser utilizados para jardins.

Para cada cenário foi calculado o aumento das extrações relativo à ocupação referida e a alteração correspondente no balanço hídrico do sistema aquífero, tal como se apresenta na TABELA V.

Como se pode verificar, com os resultados obtidos para os diferentes cenários, apenas o Cenário A corresponderia a um balanço hídrico negativo, indicando que as saídas de água deste sistema aquífero seriam superiores às entradas, revelando-se portanto insustentável pela sobre-exploração que representaria para este sistema aquífero.

A avançar para o Cenário A seria muito provável um aumento significativo da salinização da água do sistema aquífero, devido à intrusão salina.

Os restantes cenários B, C1, C2 e C3 a serem implementados, não parecem pôr em causa a sustentabilidade do sistema aquífero, uma vez que em todos os casos, estamos em situações de excedentes hídricos.

TABELA V - Cenários futuros para os usos do solo e respetivos balanços hídricos no sistema aquífero.

TABLE V - Future Scenarios for land uses and water balance of the aquifer system.

Cenário A	Extrações Estimadas (hm ³ /ano)	16,72
	Balanço Hídrico (hm ³ /ano)	-5,67
Cenário B	Extrações Estimadas (hm ³ /ano)	4,58
	Balanço Hídrico (hm ³ /ano)	6,47
Cenários C	C1	
	Extrações Estimadas (hm ³ /ano)	3,94
	Balanço Hídrico (hm ³ /ano)	7,11
	C2	
	Extrações Estimadas (hm ³ /ano)	1,97
	Balanço Hídrico (hm ³ /ano)	9,08
C3	Extrações Estimadas (hm ³ /ano)	0,98
	Balanço Hídrico (hm ³ /ano)	10,07

Considerações Finais

Este estudo permitiu a atualização da informação sobre o Sistema aquífero Mexilhoeira Grande - Portimão no que diz respeito à quantidade de água disponível, a alguns indicadores da sua qualidade química, aos diferentes usos do solo nesta área, e à evolução de todas estas variáveis nos últimos trinta anos. A integração de toda a informação recolhida, demonstra que este sistema aquífero pode efetivamente contribuir para o desenvolvimento económico desta região, tão carenciada no setor produtivo. Os níveis piezométricos são positivos na maior parte do sistema aquífero e não apresentam tendência de descida. Considera-se que, podem ser autorizadas novas captações de água sem pôr em causa a sustentabilidade deste sistema aquífero, nomeadamente sem risco de intrusão salina. No entanto, para isso será fundamental monitorizar-se periodicamente a situação do aquífero, atender à localização das novas captações, aos volumes extraídos e ao tipo de culturas agrícolas/jardins a implementar. As concentrações de nitratos quantificadas em 2014, demonstram que é imperativo o recurso a boas práticas agrícolas, que a par da utilização eficiente da água para rega, garantam o uso racional de fertilizantes, de forma a não pôr em causa o bom estado destas águas subterrâneas. Também o recurso a pesticidas deve ser devidamente acompanhado pelas entidades competentes, corretamente ajustado às pragas e doenças das culturas, de forma a potenciar a produtividade das explorações, mas sem contaminar estas águas subterrâneas. Deste modo será possível contar-se com este sistema aquífero como uma reserva estratégica de água, que pode ser fundamental para as populações locais, em situações críticas que venham surgir, no contexto atual das alterações climáticas e em particular nas regiões mediterrânicas, como o Algarve.

Referências Bibliográficas

- ÁGUAS DO ALGARVE (2009). Estação de Tratamento de Água de Acantariilha. *Águas do Algarve*, S.A., [Online]. Disponível em: <http://www.aguasdoalgarve.pt/content.php?c=47>. [Accessed: 01-Dec-2014].
- Almeida C., Mendonça J. J. L., Jesus M. R. and Gomes A. J. (2000). *Sistema Aquíferos de Portugal Continental*, Lisboa, INA.
- Bjornlunda H. and Wheeler S. A. (2014). Exploring some of the socio-economic realities of sustainable water management in irrigation: An overview. *Agricultural Water Management*. 145, p. 1-4.
- Bocanegra-Martínez A., Ponce-Ortega J. M., Nápoles-Rivera F., Serna-González M. Castro-Montoya A.J., El-Halwagi M.M. (2014). Optimal design of rainwater collecting systems for domestic use into a residential development. *Resources, Conservation and Recycling* 84, p. 44-56.
- Bousselmi L., Ghrabi A. and Regelberger M. (2009). Editorial of MEDA Water International Conference on Sustainable Water Management. *Desalination* 24, p. 320-321.
- Chenini I., Zghibi A., and Kouzana L. (2015). Hydrogeological investigations and groundwater vulnerability assessment and mapping for groundwater resource protection and management: State of the art and a case study. *Journal of African Earth Sciences*. 109, p. 11-26.
- Costa J. V. (2007). Água azul e água verde. In: Cunha L. V., Serra A., Ribeiro J. L. (coordenação). *Reflexos da água*. Lisboa. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, 1ª Edição, p.162-163.
- DECRETO-LEI nº 226-A/2007. D.R. I Série. 105 (2007-05-31) 24-48.
- DECRETO-LEI nº 236/1998. D.R. I Série - A. 176 (1998-08-01) 3676-3722.
- Eaton A. D., Clesceri L. S., Rice E. & Greenberg A. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environmental Federation. Washington. 21ª edition.
- ESRI (2012). ArcGIS Desktop: Release 10.1. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Lu, C. H., Werner, A. D. (2013). Timescales of seawater intrusion and retreat. *Adv. Water Resour.* 59, 39-51.
- MINISTÉRIO DO AMBIENTE E DO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO, (2002). Diário da República n.º 58/2002, Série I-B de 2002-03-09. Decreto regulamentar 12/2002 de 9 de março.
- Manuppella, G. (1992). Carta Geológica da Região do Algarve, escala 1: 100 000. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa. Portugal.
- Moratalla, A., Gómez-Alday, J. J., Sanz, D., Castaño, S., De Las Heras, J. (2011). Evaluation of a GIS-based integrated vulnerability risk assessment for the Mancha oriental system (SE Spain). *Water Resour. Manage.* 25, p. 3677-3697.
- Mollema P. N., Antonellini M., Dinelli E., Gabbianelli G., Greggio N. and Stuyfzand P. J. (2013). Hydrochemical and physical processes influencing salinization and freshening in Mediterranean low-lying coastal environments. *Appl. Geochemistry*, vol. 34, p. 207-221.
- OECD - ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (2012). OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction. OECD Publishing, <http://dx.doi.org/10.1787/9789264122246-en>.
- PLANO DE GESTÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DAS RIBEIRAS DO ALGARVE - RH8, (2012). Enquadramento e Aspetos Gerais. Volume 1 - Relatório. Consultado em: http://sniamb.apambiente.pt/infos/geoportaldocs/Planos/PGRH8/Volumel_Relatorio%5CParte1%5CPCGBHRH8_P1_Jun2012.pdf.
- Reis E. (1993). *Estudo hidrogeológico das formações do Lias-Dogger situadas a ocidente do Rio Arade (Algarve)* (Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Geologia Económica e Aplicada). Faculdade de Ciências da Univ. de Lisboa, p. 211.
- Rodier J., Legube B., Merlet N. & Brunet R. (2009). *L'Analyse de l'eau*. Dunot. 9ème édition
- Sefelnasr A., Gossel W. and Wycisk P. (2015). Groundwater management options in an arid environment: The Nubian Sandstone Aquifer System, Eastern Sahara. *Journal of Arid Environments* 122, p. 46-58.

- Taylor, R. G., Scanlon, B., Döll, P., Rodell, M., Van Beek, R., Wada, Y., Edmunds, M. (2013). Ground water and climate change. *Nat. Clim. Change* 3, p. 322-329.
- Thompson, S. K. (2012). *Sampling*, Wiley-Interscience, New York, p. 472.
- Tomaszkiewicz M., Abou Najm M., El-Fadel M. (2014). Development of a groundwater quality index for seawater intrusion in coastal aquifers. *Environmental Modelling & Software* 57, p. 13-26.
- Varenes, A. (2003). *Produtividades dos Solos e Ambiente*, Escolar Editora, Lisboa, p. 490.
- Varol, S. O., Davraz, A. (2010). Hydrogeological investigation of Sarkikaraagac Basin (Isparta, Turkey) and groundwater vulnerability. *Water Int.* 35 (2), p. 177-194.
- Werner A. D., Bakker M., Post V. E. A., Vandenbohede A., Lu C., Ataie-Ashtiani B., Simmons C.T. and Barry D.A. (2013). Seawater intrusion processes, investigation and management: Recent advances and future challenges. *Advances in Water Resources*. 51, p. 3-26.
- WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME (2012). United Nations World Water Development Report 4. Volume 1: Managing Water under Uncertainty and Risk. UNESCO Publishing: <http://publishing.unesco.org/>.
- WORLD ECONOMIC FORUM (2013). *Global Risks 2013*, Eighth Ed. World Economic Forum, Switzerland, 80 p.
- WORLD WILDLIFE FUND (2014). *Living Planet Report 2014*, Gland, Suíça, 180 p. ISBN 978-2-940443-87-1.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION AND UNICEF (2013). *Progress on sanitation and drinking-water*. ISBN 978 92 4 150539 0
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (2015). *Cities and Coastal Areas*. Publishing, http://www.unep.org/urban_environment/issues/coastal_zones.asp.
- Xi, X. and Poh, K. L. (2013). Using system dynamics for sustainable water resources management in Singapore. *Procedia Computer Science* 16, p. 157 - 166.
- Zhang W., Chen X., Tan H., Zhang Y. and Cao J. (2015). Geochemical and isotopic data for restricting seawater intrusion and groundwater circulation in a series of typical volcanic islands in the South China Sea. *Marine Pollution Bulletin* 93, p. 153-162.