



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

# **IMPACTOS E ADAPTAÇÃO ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS DA ÁREA METROPOLITANA DE LISBOA**

**Participação do LNEC no Projeto PMAAC-AML (Plano Metropolitano  
de Adaptação às Alterações Climáticas) na Componente Águas  
Subterrâneas – Volume I – Caracterização da Situação de Referência**

LNEC P21

Lisboa • junho 2021

**I&D** HIDRÁULICA E AMBIENTE

RELATÓRIO 213/2021 – **DHA/NRE**

## **Título**

### **IMPACTOS E ADAPTAÇÃO ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS DA ÁREA METROPOLITANA DE LISBOA**

Participação do LNEC no Projeto PMAAC-AML (Plano Metropolitano de Adaptação às Alterações Climáticas) na Componente Águas Subterrâneas – Volume I – Caracterização da Situação de Referência

## **Autoria**

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE

**Maria Emília Novo**

Investigadora Auxiliar, Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas

Copyright © LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, I. P.

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA

e-mail: [lnec@lnec.pt](mailto:lnec@lnec.pt)

[www.lnec.pt](http://www.lnec.pt)

Relatório 213/2021

Proc. 0605/1102/20383

## IMPACTOS E ADAPTAÇÃO ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS DA ÁREA METROPOLITANA DE LISBOA

Participação do LNEC no Projecto PMAAC-AML (Plano Metropolitano de Adaptação às Alterações Climáticas) na Componente Águas Subterrâneas. Vol. 1. Caracterização da Situação de Referência

### Resumo

---

Este relatório apresenta a contribuição do LNEC na caracterização da situação de referência para o Plano Metropolitano de Adaptação às Alterações Climáticas da Área Metropolitana de Lisboa no âmbito dos recursos hídricos subterrâneos. Neste primeiro volume faz-se um enquadramento geral da temática, a caracterização do estado actual dos abastecimentos, poluição e intrusão salina na generalidade da Área Metropolitana de Lisboa e para cada um dos respectivos concelhos.

Palavras-chave: Alterações climáticas / Adaptação / Águas Subterrâneas / Aquíferos

## IMPACTS AND ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE OF THE RESOURCES OF LISBON'S METROPOLITAN REGION

LNEC's contribution to the Project PMAAC-AML (Metropolitan Plan of Adaptation to Climate Change) concerning the groundwater resources. Vol 1. Baseline Characterization

### Abstract

---

This report presents the contribution of LNEC of the baseline characterization of the Metropolitan Plan of Adaptation to Climate Change of Lisbon's Metropolitan Area, for the groundwater resources component. In this first volume the general framework concerning climate change, the description of present-day situation concerning water supply, pollution and saltwater intrusion is presented for the whole Lisbon's Metropolitan Area and for each of its counties.

Keywords: Climate change, Adaptation, Groundwater, Aquifers



## Sumário executivo

---

As alterações climáticas causam impactos nos meios naturais e humanizados que serão mais ou menos graves consoante a exposição ao risco e a vulnerabilidade destes sistemas. A área metropolitana de Lisboa (AML), sendo um pólo de maior concentração populacional e económica, e com um território diversificado que vai das zonas litorais e de estuário às zonas de planície interior do concelho da Moita e às zonas de serra como Sintra ou Arrábida, está exposta a efeitos climáticos distintos, com distintas vulnerabilidades a eventos extremos. As alterações climáticas constituem uma potencial ameaça à segurança de pessoas e bens, funcionamento e sobrevivência dos ecossistemas, à economia, saúde humana e uso e gestão dos recursos hídricos, entre outros aspectos.

O Plano Metropolitano de Adaptação às Alterações Climáticas da Área Metropolitana de Lisboa (PMAAC-AML), realizado pelo consórcio liderado por CEDRU, teve a participação do LNEC na análise das questões associadas à energia e aos recursos hídricos. O PMAAC procurou identificar a exposição e sensibilidade climática, impactos e vulnerabilidades dos diferentes sectores sócio-económicos, recursos hídricos e ecossistemas às alterações climáticas e elaborou um conjunto de medidas de adaptação e conseqüente caminho adaptativo para a sua aplicação até 2100. Os cenários climáticos adotados são o RCP 4.5. e o RCP 4.8, considerando os horizontes temporais de 2040, 2070 e 2100, e um cenário de elevação global nível do mar de até 1 m em 2100.

Os dados necessários para esta análise provêm, no que concerne aos recursos hídricos, do Portal do Clima, de informação fornecida pelo consórcio, da base de dados SNIRH, do Projecto BINGO e de bibliografia diversa. Neste relatório apresenta-se a componente da análise realizada pelo LNEC para os recursos hídricos subterrâneos, referente à caracterização da situação de referência.

Um breve enquadramento da temática da adaptação às alterações climáticas, é realizado no Capítulo 1 |. No Capítulo 2 | apresenta-se um enquadramento geral das alterações climáticas, em termos gerais e da perspectiva das águas subterrâneas, e as questões de adaptação. Na caracterização do estado actual dos abastecimentos e intrusão salina (Capítulo 3 |), verifica-se a existência localizada de processos de intrusão salina, sobre-exploração e degradação da qualidade dos recursos. Esta degradação da qualidade pode ser consequência, dependendo dos casos, de processos de sobre-exploração e/ou de poluição decorrente da actividade humana. O presente relatório termina com algumas considerações finais no Capítulo 4.



## Índice

1	Introdução .....	1
2	Enquadramento geral.....	3
2.1	Considerações gerais .....	3
2.2	Estratégias para minorar impactos das alterações climáticas.....	8
2.3	A problemática das águas subterrâneas e alterações climáticas.....	14
2.4	Águas subterrâneas e adaptação às alterações climáticas na AML.....	16
2.4.1	Caracterização geral da situação atual das Águas subterrâneas .....	16
3	Caracterização do estado actual dos abastecimentos, poluição e intrusão salina .....	19
3.1	Disponibilidades hídricas dos recursos hídricos subterrâneos da AML .....	19
3.1.1	Situação atual de adaptação às alterações climáticas .....	29
3.2	Águas subterrâneas e abastecimentos na Área Metropolitana de Lisboa .....	33
3.3	Cenários de evolução dos consumos e cargas poluentes .....	36
3.4	Critérios para identificação da relevância dos recursos hídricos na Área Metropolitana de Lisboa.....	41
3.5	Caracterização do estado actual dos abastecimentos, vulnerabilidade à poluição e intrusão salina por concelho da AML.....	44
3.5.1	Alcochete .....	44
3.5.2	Almada .....	46
3.5.3	Amadora.....	50
3.5.4	Barreiro .....	51
3.5.5	Cascais .....	54
3.5.6	Lisboa.....	59
3.5.7	Loures .....	64
3.5.8	Mafra .....	66
3.5.9	Moita .....	67
3.5.10	Montijo.....	69
3.5.11	Odivelas .....	71
3.5.12	Oeiras.....	72
3.5.13	Palmela .....	75
3.5.14	Seixal .....	77
3.5.15	Sesimbra .....	80
3.5.16	Setúbal .....	81
3.5.17	Sintra.....	84
3.5.18	Vila Franca de Xira .....	85
4	Considerações finais .....	89
	Referências bibliográficas .....	91

## Índice de figuras

Figura 2.1 – Reconstrução das temperaturas médias globais de superfície desde o ano 0 D.C. ....	4
Figura 2.2 – Evolução das temperaturas médias globais de superfície desde 1880 .....	4
Figura 2.3 – Principais aquíferos mundiais e respectivo estado de equilíbrio face à sua exploração.....	8
Figura 2.4 – Alterações climáticas: interacções entre as perturbações antropogénicas, alterações do clima e respectivos impactos .....	9
Figura 2.5 – Evolução mundial das emissões de gases de efeito de estufa .....	10
Figura 2.6 – Emissões mundiais de gases de efeito de estufa desde 1970 .....	11
Figura 2.7 – Relação entre exposição (risco) e sensibilidade climática, impactos, capacidade adaptativa e vulnerabilidade às alterações climáticas.....	11
Figura 2.8 – Impactos previstos das alterações climáticas nas diferentes regiões da Europa .....	13
Figura 2.9 – Águas subterrâneas da AML. Sistemas aquíferos, Orlas indiferenciadas e captações de água subterrânea .....	17
Figura 3.1 – Disponibilidades hídricas subterrâneas por unidade de área na Região Hidrográfica 5 (RH5).....	21
Figura 3.2 – Pressões pontuais.....	23
Figura 3.3 – Pressões difusas associadas a campos de golfe e regadios públicos .....	23
Figura 3.4 – Zona vulnerável do Tejo, sistemas aquíferos e captações da base de dados do PMAAC .....	24
Figura 3.5 – Diferentes aspectos da intrusão salina .....	25
Figura 3.6 – Intrusão salina em sistemas aquíferos multicamada .....	25
Figura 3.7 – Ilustração das variáveis da equação de Ghyben-Herzberg.....	27
Figura 3.8 – Evolução da intrusão salina em condições de subida do nível do mar e de não exploração do aquífero .....	28
Figura 3.9 – Áreas inundáveis no estuário do Tejo.....	29
Figura 3.10 – Concelhos da AML com planos de adaptação às alterações climáticas .....	33
Figura 3.11 – Distribuição dos sistemas aquíferos, pontos de captação de águas subterrâneas por concelho (simbologia diferente para cada concelho) e rede WISE de monitorização da piezometria.....	36
Figura 3.12 – Furos de captação para abastecimento doméstico no concelho de Alcochete .....	44
Figura 3.13 – Distribuição de furos e poços de captação no concelho de Alcochete (base de dados SNIRH).....	45
Figura 3.14 – Recarga anual média estimada no concelho de Almada entre 1/10/1981 e 30/9/2011 .	47
Figura 3.15 – Distribuição de furos e poços de captação no concelho de Almada (base de dados SNIRH).....	48
Figura 3.16 – Litoral da Costa da Caparica e furos com teores de cloretos acima de 200 mg/l de cloretos (círculos a vermelho).....	50
Figura 3.17 – Captações no concelho da Amadora, segundo a base de dados do PMAAC .....	51
Figura 3.18 – Distribuição de furos e poços de captação no concelho do Barreiro (base de dados SNIRH).....	52
Figura 3.19 – Distribuição de furos e poços de captação no concelho de Cascais (base de dados SNIRH).....	55
Figura 3.20 – Distribuição de furos e poços de captação no concelho de Cascais (base de dados PMAAC) .....	55
Figura 3.21 – Distribuição dos espaços verdes, campos de golfe e furos licenciados no concelho de Cascais .....	56
Figura 3.22 – Distribuição da fracturação no sistema aquífero Pisões-Atrozela e formações envolventes, com localização da zona termal do Estoril (quadrado a vermelho) .....	57
Figura 3.23 – Vulnerabilidade dos aquíferos à poluição segundo o índice EPPNA .....	59

Figura 3.24 – Mapa hidrogeológico da cidade de Lisboa com distribuição dos pontos de captação de águas subterrâneas .....	60
Figura 3.25 – Mapa dos sistemas hidrogeológicos no concelho de Lisboa.....	61
Figura 3.26 – Captações de água subterrânea no concelho de Loures (base de dados SNIRH).....	65
Figura 3.27 – Captações de água subterrânea no concelho de Mafra (base de dados SNIRH) .....	67
Figura 3.28 – Captações de água subterrânea no concelho da Moita (base de dados SNIRH) .....	68
Figura 3.29 – Localização de indústrias e áreas de comércio no concelho da Moita .....	69
Figura 3.30 – Localização de furos de captação no concelho do Montijo (base de dados SNIRH).....	70
Figura 3.31 – Evolução temporal dos cloretos nas zonas ocidental (a) e oriental (b) do concelho do Montijo.....	71
Figura 3.32 – Distribuição de furos e poços de captação no concelho de Odivelas (base de dados SNIRH).....	72
Figura 3.33 – Distribuição de furos e poços de captação no concelho de Oeiras (base de dados SNIRH).....	73
Figura 3.34 – Distribuição de furos e poços de captação no concelho de Oeiras (base de dados PMACC) com ocorrências de pontos de água na zona litoral .....	74
Figura 3.35 – Mapa de vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas do concelho de Oeiras (vermelho = muito vulnerável; verde escuro = pouco vulnerável) .....	74
Figura 3.36 – Localização dos furos de captação para abastecimento humano do concelho de Palmela .....	75
Figura 3.37 – Distribuição de furos e poços de captação no concelho de Palmela (base de dados SNIRH).....	76
Figura 3.38 – Distribuição de furos e poços de captação no concelho de Palmela (base de dados PMAAC) .....	76
Figura 3.39 – Localização de captações no concelho do Seixal (base de dados PMAAC) .....	78
Figura 3.40 – Distribuição de furos e poços de captação no concelho do Seixal (base de dados SNIRH).....	78
Figura 3.41 – Carta de classes de infiltração (Vermelho = elevada, Amarelo = moderada; verde = baixa) .....	79
Figura 3.42 – Distribuição de furos e poços de captação no concelho de Sesimbra (base de dados SNIRH).....	81
Figura 3.43 – Distribuição de furos e poços de captação no concelho de Setúbal (base de dados SNIRH).....	82
Figura 3.44 – Distribuição de furos e poços de captação no concelho de Sintra (base de dados SNIRH).....	85
Figura 3.45 – Distribuição de furos e poços de captação no concelho de Vila Franca de Xira (base de dados SNIRH).....	86
Figura 3.46 – Intrusão salina nas águas superficiais do rio Tejo para diferentes condições de estiagem.....	87

## Índice de quadros

Quadro 2.1 – Conceitos-chave associados à adaptação às alterações climáticas .....	12
Quadro 2.2 – Características gerais dos sistemas aquíferos e orlas indiferenciadas na Área Metropolitana de Lisboa.....	18
Quadro 3.1 – Disponibilidades hídricas subterrâneas por massa de água .....	20
Quadro 3.2 – Caracterização da produtividade das massas de água subterrâneas .....	22
Quadro 3.3 – Classificação dos sistemas aquíferos e orlas indiferenciadas na Área Metropolitana de Lisboa.....	34
Quadro 3.4 – Evolução dos consumos para o horizonte 2027 nas bacias hidrográficas do Tejo e Ribeiras do Oeste .....	38
Quadro 3.5 – Variação da recarga para as 2 realizações climáticas e ensemble de realizações BINGO.....	38
Quadro 3.6 – Variação dos níveis de água para os 3 cenários climáticos BINGO.....	39
Quadro 3.7 – Variação dos níveis de água para os 3 cenários de secas BINGO .....	39
Quadro 3.8 – Evolução, face a 2016, das cargas poluentes por sector económico para o horizonte 2027 na área total da bacia hidrográfica do Tejo e Ribeiras do Oeste .....	41
Quadro 3.9 – Relevância das origens subterrâneas para o abastecimento nos concelhos .....	43
Quadro 3.10 – Composição hidroquímica de águas na zona litoral da Caparica (Almada) .....	49
Quadro 3.11 – Recuo do litoral de arriba no concelho de Cascais.....	58
Quadro 3.12 – Características hidrogeológicas das formações da cidade de Lisboa.....	61
Quadro 3.13 – Tipos de usos abastecidos por águas subterrâneas em Lisboa.....	62

# 1 | Introdução

As alterações climáticas afectam os diferentes sectores sócio-económicos assim como a biodiversidade e ecossistemas e respectivos serviços que estes fornecem. Por esta razão a União Europeia tem promovido iniciativas de actuação concreta para combater e adaptar às alterações climáticas, de que talvez um dos mecanismos de maior sucesso seja o Covenant of Mayors, que reúne 9 664 câmaras municipais espalhadas por 59 países, representando 326,671,680 de habitantes. Esta plataforma divulga boas práticas de adaptação implementadas nos municípios signatários e obriga, a cada município signatário à elaboração e implementação de um Plano de Acção Sustentável focado na Energia e Clima. Lisboa, assim como diversos municípios da Área Metropolitana de Lisboa (AML) são signatários deste convénio.

Por seu turno e em complemento da aplicação do Protocolo de Quioto à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas, Portugal desenvolveu a ENAAC - Estratégia Nacional de Adaptação à Alterações Climáticas, a qual enquadra as medidas de mitigação e adaptação às alterações climáticas implementadas e a implementar no território português.

A União Europeia desenvolveu igualmente a European Climate Adaptation Platform Climate-ADAPT, que é uma parceria entre a Comissão Europeia e a Agência Europeia do Ambiente (EEA), e tem nos seus objectivos partilhar dados e informação sobre projecções relativas a alterações climáticas em território europeu, avaliar regiões e sectores vulneráveis a estas alterações, bem como definir estratégias e acções de adaptação ao nível europeu, transnacional e nacional, de que é exemplo precisamente a ENAAC.

Na sequência do projecto ClimAdaPT que envolveu 30 municípios, alguns pertencentes à AML (Almada, Barreiro, Cascais, Lisboa, Mafra, Sintra), foram estabelecidos Estratégias Municipais de Adaptação às Alterações Climáticas (EMAAC) para cada um deles (CM Barreiro, 2016; CM Lisboa, 2016, CM Mafra, 2016).

Integrado nesta dinâmica surge o Plano Metropolitano de Adaptação às Alterações Climáticas da Área Metropolitana de Lisboa (PMAAC-AML), solicitado pela Área Metropolitana de Lisboa ao consórcio constituído por CEDRU (Centro de Estudos de Desenvolvimento Regional e Urbano), IGOT (Instituto de Geografia e Ordenamento do Território), WE CONSULTANTS (MEGALOCI – Plataforma Empresarial e Território), TIS (TIS.pt – Consultores em Transportes Inovação e Sistemas) e ESRI (ESRI Portugal – Sistemas e Informação Geográfica) e de que o LNEC é parte sub-contratada.

Este plano, que tem uma escala inter-municipal e uma escala ao nível do concelho, tem por objectivo avaliar os riscos climáticos, sensibilidades climáticas, impactos e vulnerabilidades, capacidade adaptativa dos sectores sócio-económicos assim como a elaboração de um conjunto de medidas de adaptação à escala-intermunicipal e concelhia, com vista a adequadamente preparar a economia e a sociedade para lidar com as alterações climáticas, em particular nas actividades pertencentes aos sectores sensíveis ao clima, tais como a agricultura, florestas, recursos hídricos e outros.

O presente relatório descreve a análise dos riscos climáticos, sensibilidades climáticas, impactos e vulnerabilidades, capacidade adaptativa para a componente dos recursos hídricos subterrâneos e o conjunto de medidas de adaptação para a protecção e aumento da resiliência destes recursos às alterações climáticas.

## 2 | Enquadramento geral

### 2.1 Considerações gerais

As alterações climáticas impactam diferentes áreas da biosfera, desde a biodiversidade, com a extinção já neste século de pelo menos uma espécie atribuída às alterações climáticas (cf. <https://www.uq.edu.au/news/article/2016/06/barrier-reef-rodent-first-mammal-declared-extinct-due-climate-change>), aos sectores económicos e aos recursos naturais, de que se destacam os recursos hídricos, objecto deste relatório no que respeita à sua componente subterrânea.

As alterações climáticas ocorrem por um conjunto variado de factores, desde a alteração na disposição global dos continentes (devido à tectónica de placas) e consequentes alterações das correntes oceânicas e atmosféricas (ex.: elevação da cadeia dos Himalaias), ciclos astronómicos (ex.: ciclos de Milankovitch; cf. <https://www.geological-digressions.com/astronomy-cycles-and-climate-change/>) ou alterações na composição atmosférica, seja devido a motivos puramente intrínsecos ao funcionamento natural do planeta (ex.: hiperactividade de grandes regiões vulcânicas) ou catástrofes cósmicas (ex.: colisão meteorítica), e/ou a acções humanas.

Assim, e embora alterações climáticas sempre tivessem ocorrido ao longo da história do planeta, fosse por razões endógenas (ex.: actividade vulcânica nas grandes províncias vulcânicas da Sibéria ou do Decão) ou exógenas (ex.: impactos meteoríticos), a presente alteração climática tem de diferente o facto de ser gerada pelas acções humanas (IPCC, 2001; 2007; 2013), com especial destaque para a emissão de gases de efeito de estufa (GEE), apresentando uma evolução sem precedentes nos últimos 1.300 anos (PMAAC-AML 2018; Lindsey e Dahlman, 2018; Figura 2.1). Relativamente às médias da primeira metade do séc. XX, a temperatura média do planeta é já superior em 0.85° C, tendo as últimas 3 décadas sido as mais quentes desde 1850 (Figura 2.2), sugerindo uma evolução exponencial que no limite poderá conduzir a uma situação *de runaway climate change*, o que conduzirá ao que na literatura é designado “*Hothouse Earth*” (Steffen et al., 2018).

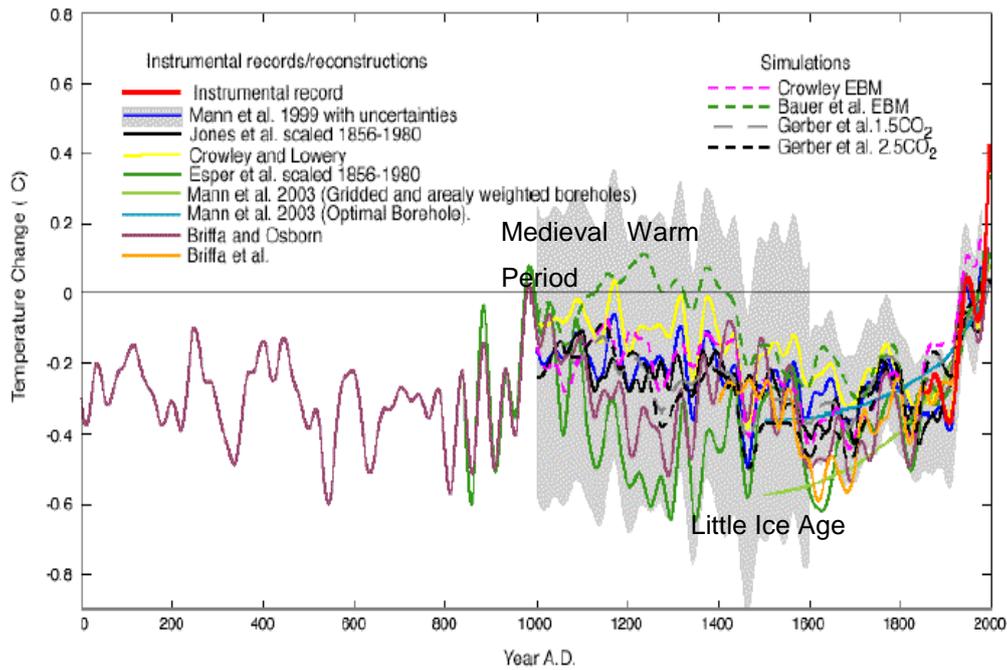


Figura 2.1 – Reconstrução das temperaturas médias globais de superfície desde o ano 0 D.C.

Fonte: Adaptada de [https://stephenschneider.stanford.edu/Climate/Climate\\_Science/Science.html](https://stephenschneider.stanford.edu/Climate/Climate_Science/Science.html) e [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2000\\_Year\\_Temperature\\_Comparison.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2000_Year_Temperature_Comparison.png)

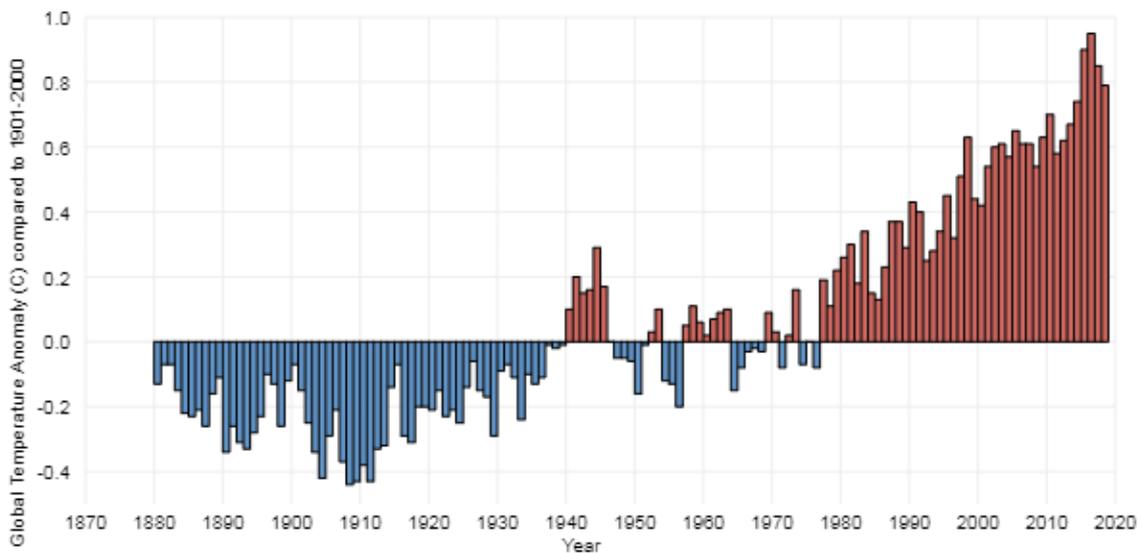


Figura 2.2 – Evolução das temperaturas médias globais de superfície desde 1880

Fonte: Lindsey e Dahlman (2018)

Tal como é referido em <https://www.geological-digressions.com/astronomy-cycles-and-climate-change/> tanto a concentração de CO<sub>2</sub> como as temperaturas de superfície do planeta estão a aumentar e isto num cenário que seria de arrefecimento progressivo do planeta, considerando a ritmicidade dos ciclos glaciações-aquecimento global que tem marcado os últimos milhões de anos da história da Terra. Com efeito, o IPCC (2001; 2007; 2013) considera que as presentes alterações climáticas são devidas às acções antropogénicas, com o nível de certeza a aumentar à medida que os estudos prosseguem sobre

as emissões de gases de efeito de estufa (GEE), o respectivo forçamento radiactivo e consequente subida da temperatura atmosférica e oceânica. De facto o relatório de 2013 (IPCC, 2013) afirma ser inequívoco que as emissões antropogénicas dos GEEs aumentaram significativamente o efeito de estufa e o forçamento radiactivo continua a aumentar. Isto resulta do facto da subida das emissões ter originado concentrações atmosféricas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) superiores a quaisquer outros ocorridos durante os últimos 800 000 anos (PMAAC-AML, 2018). Com efeito, a totalidade de emissões antropogénicas de CO<sub>2</sub>, entre 1750 e 2011, foram de 2040 ± 310 GtCO<sub>2</sub>; destas, 40% permanecem na atmosfera, 30% nos oceanos (o que tem gerado a crescente acidificação dos oceanos) e o restante armazenado dos solos, biosfera (PMAAC-AML, 2018) ou em sedimentos. Cerca de metade destas emissões ocorreram nos últimos 40 anos, com os maiores aumentos absolutos ocorridos entre 2000 e 2010 (PMAAC-AML, 2018).

Devido ao aumento das emissões dos GEEs a temperatura média actual do planeta é de +0,85.°C, face aos valores de 1880, cada uma das últimas três décadas foram, sucessivamente, as mais quentes na superfície da Terra desde 1850. Este ritmo de subida das temperaturas é o mais elevado desde há 1 300 anos e, se nada for feito para o reduzir, é possível que no final do século a meta para 2100 de subida de +2° C face aos valores de 1880, tal como foi definido no Acordo de Paris ([https://unfccc.int/sites/default/files/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf)), será ultrapassada e poderá aproximar-se de valores que iniciem o chamado *runaway climate change*. Este é um processo de aquecimento global acelerado, onde os sistemas naturais, tendo ultrapassado vários *tipping points* (pontos de não retorno) se comportarão de modos dificilmente simuláveis pelos modelos de previsão actuais. Assim a meta de 2° C tem por base as análises do IPCC de que este é limite máximo de aquecimento global a partir do qual existe um risco muito elevado de ocorrerem consequências ambientais significativas, ou mesmo catastróficas, à escala mundial.

O mais recente relatório do IPCC (IPCC, 2018) sugere que há apenas 12 anos para agir, em muitos dos casos exigindo alterações radicais dos processos de consumo e uso dos recursos se se quiser alcançar a meta definida na 21.ª Conferência das Partes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (COP21), ocorrida em 2015 em Paris, para limitar a subida da temperatura global a 2° C até ao fim do século. Aumentos superiores da temperatura média global em relação à temperatura registada no período pré-industrial levarão, de acordo com as simulações de modelos climáticos oceano-atmosfera e modelação dos respectivos impactos nas diferentes componentes do sistema Terra, a consequências ambientais eventualmente catastróficas à escala mundial (<https://climate.nasa.gov/news/2878/a-degree-of-concern-why-global-temperatures-matter/>).

Com efeito, e para se ter uma noção dos efeitos que estas alterações térmicas globais podem exercer nos sistemas do planeta, em particular sobre a biosfera mas não só, refira-se que por altura do final do Pérmico se registou um aumento da temperatura média global de 8 a 10° C (Benton, 2018). Isto deveu-se, tudo o indica, ao efeito conjugado do aumento da temperatura e acidificação dos oceanos por efeito do aumento dos gases de efeito de estufa emitidos pela mega-actividade vulcânica na Sibéria, a que talvez se hajam acrescido outros factores igualmente desestabilizadores ([https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/28jan\\_extinction](https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/28jan_extinction)). No entanto, o aquecimento global induzido pela

actividade humana, levará a um aumento da temperatura oceânica até 20% do aquecimento no Pérmico e que chegará até 35 a 50% até 2300 caso nada seja feito para reduzir as emissões de gases de efeito de estufa (<https://www.smithsonianmag.com/smart-news/how-did-great-dying-kill-96-percent-earths-ocean-dwelling-creatures-180970992/>). As consequências destas alterações nos ecossistemas terrestres e marinhos levaram à maior extinção em massa na história do planeta, que ficou conhecida como *The Great Dying*, em que 70% das espécies terrestres e 95% das espécies marinhas se extinguíram (<https://www.britannica.com/science/Permian-extinction>).

Os impactos das alterações climáticas sobre os recursos hídricos, uma das componentes fundamentais para a manutenção da vida na Terra e das sociedades humanas, são variáveis consoante a tipologia da massa de água, superficial ou subterrânea, a sua dimensão (ex.: grandes aquíferos são mais resilientes do que pequenos aquíferos). No caso das águas superficiais, os impactos são directos e facilmente visíveis, como consequência da subida da temperatura e alteração dos regimes de precipitação. Estes impactos expressam-se na alteração dos regimes de escoamento dos rios, taxas de evaporação (e salinização) dos lagos, impactos dos novos regimes e intensidades de cheias e outros eventos extremos, alterações no funcionamento de estuários e lagoas litorais, etc. Estes impactos são tanto de natureza quantitativa como qualitativa, sendo também expressos por alterações na duração dos períodos de cheia e de caudal reduzido dos cursos de água (Arnell e Gosling, 2013; Doll e Schmied, 2012) o que poderá levar até a que alguns pequenos rios permanentes possam passar a temporários nalgumas regiões do globo.

No que concerne aos recursos hídricos subterrâneos, embora os impactos das alterações climáticas sejam menos directos do que no caso dos recursos hídricos superficiais, são no entanto relevantes. Com efeito uma parte substancial do consumo mundial é abastecido por águas subterrâneas, como refere a publicação UNESCO de Zektser e Everett (2004), que apresenta os seguintes valores médios de consumo destas águas:

- Consumo humano = 50%
- Irrigação = 20%
- Indústria = 40%.

O que corresponde a cerca de 2 mil milhões de pessoas dependentes da água subterrânea (<https://www.seametrics.com/blog/groundwater/>).

A alteração da recarga dos aquíferos, nomeadamente a sua redução (especialmente importante nas zonas áridas e semi-áridas) pode pôr em risco algum deste abastecimento ou levar a mais casos de sobre-exploração – com as consequências sobre a quantidade e qualidade do recurso, assim como a um maior número de subsidências dos terrenos. No caso dos aquíferos costeiros, a conjugação da redução da recarga com a subida do nível do mar pode levar a uma degradação significativa do recurso tanto em qualidade como em área explorável do aquífero, por efeito da intrusão salina.

Ademais, por serem recursos com frequência volumosos, apresentando uma elevada resiliência a alterações pouco prolongadas dos regimes de chuvas, e estando no geral melhor defendidas de eventos poluentes – embora uma vez o aquífero poluído seja muito mais difícil de o recuperar e, de um

modo geral, só se dá conta da poluição quando esta já afectou partes significativas deste – são mais fiáveis do que os recursos superficiais. Isto é especialmente evidente em condições de eventos extremos (ex.: secas) pelo que estes recursos são com frequência considerados estratégicos. As alterações climáticas, porque induzem alterações de longo prazo nos regimes de precipitação/recarga, têm sobre os aquíferos um impacto mais marcado do que variações climatológicas ou eventos extremos de curta duração, podendo afectar a longo prazo o seu funcionamento e capacidade enquanto recurso estratégico ou a manutenção dos atuais níveis de abastecimento.

Outro aspecto importante a ser afectado pelas alterações climáticas é a conexão hidráulica entre as águas subterrâneas e superficiais, com consequentes impactos na recarga de aquíferos via rede hidrográfica e nos caudais de base dos cursos de água, o que pode ter efeitos particularmente significativos nos ecossistemas e regime de escoamento dos cursos de água temporários. A alteração dos níveis piezométricos médios sazonais e anuais também terá impactos nos ecossistemas parcialmente dependentes de águas subterrâneas (charcos temporários, pequenas lagoas, etc.), alguns deles classificados de prioritários pelas directivas europeias (cf. Estratégia Nacional de Conservação da Natureza e da Biodiversidade 2030) pois tanto a subida dos níveis poderá aumentar a área destes sistemas, como a descida destes mesmos níveis (ex.: em consequência de clima mais seco) poderá levar à sua redução ou até desaparecimento.

Com efeito esta interacção é extremamente importante para a resiliência dos recursos hídricos superficiais, como demonstra o artigo de Fergusson & Maxwell (2010). Neste trabalho os autores demonstraram que a resposta dum a bacia hidrográfica às alterações climáticas depende dos *feedbacks* com os aquíferos e que a magnitude e sazonalidade destes *feedbacks* são elas próprias sensíveis a alterações no estado do tempo e clima.

Todas estas problemáticas decorrem em simultâneo com a crescente sobre-exploração deste recurso, tendo a NASA contabilizado (através do satélite GRACE- Gravity Recovery and Climate Experiment), que 21 dos 37 maiores aquíferos do mundo estão em sobre-exploração e destes, 13 estão em sobre-exploração acentuada, ameaçando a segurança do recurso hídrico a nível regional, o que é ilustrado na Figura 2.3. O vídeo da NASA em <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-satellites-reveal-major-shifts-in-global-freshwater> ilustra a evolução dos recursos hídricos (superficiais e subterrâneos) entre 2002 e 2016, e nalguns locais a tendência de redução do recurso é francamente preocupante.

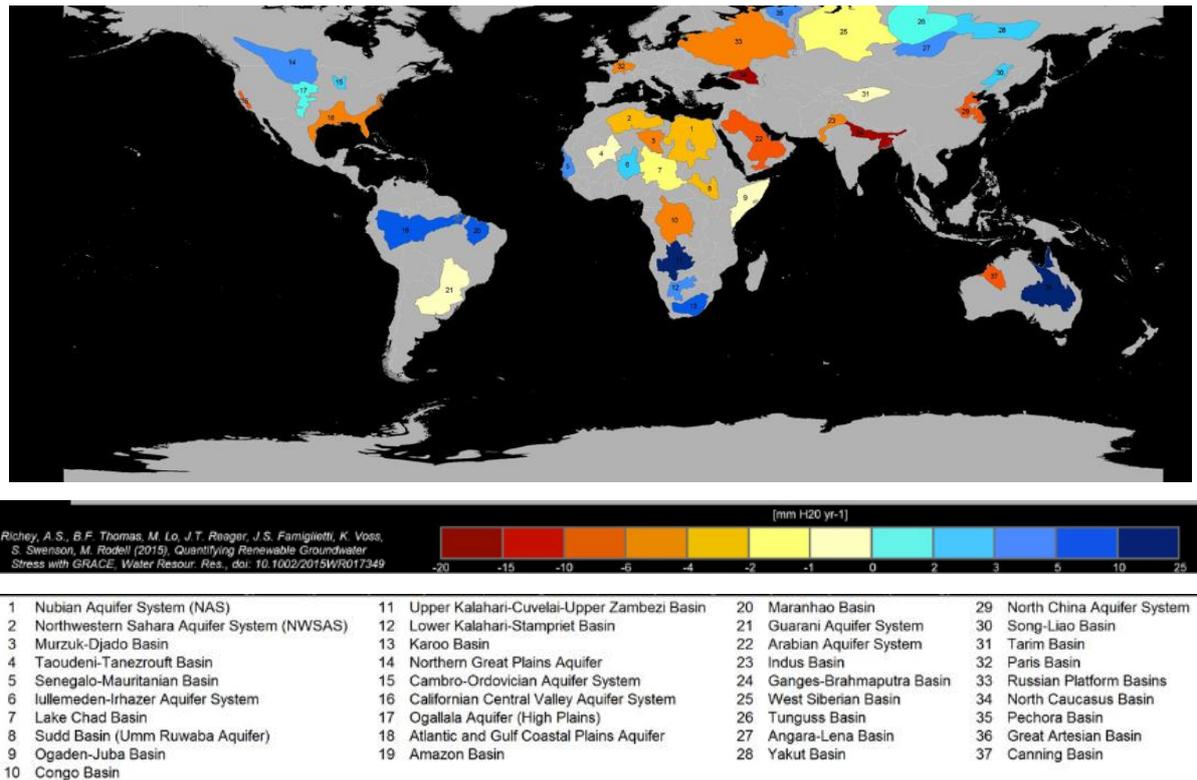


Figura 2.3 – Principais aquíferos mundiais e respectivo estado de equilíbrio face à sua exploração

Fonte: <https://gracefo.jpl.nasa.gov/resources/48/map-of-groundwater-storage-trends-for-earths-37-largest-aquifers>

Uma janela para as consequências das alterações climáticas e aviso para o futuro, está no facto de que, nas condições climáticas atuais, os eventos climáticos extremos são já responsáveis por impactos muito significativos nos sistemas naturais, sociais e económicos, sendo a sua severidade potenciada em situações nas quais a capacidade de adaptação é reduzida (PMAAC-AML, 2018). É disto exemplo o ciclone Idai, que atingiu o SW de África a 14 de Março de 2019 e foi considerada a tempestade mais violenta de que há memória (com ventos de 190 km/h), afectando cerca de 1,85 milhões de pessoas em Moçambique, 250.000 no Zimbábue e 868.895 no Malawi (<https://opais.co.ao/index.php/2019/03/31/numero-de-mortos-do-ciclone-idai-sobe-para-746-centenas-de-milhares-de-deslocados/>).

## 2.2 Estratégias para minorar impactos das alterações climáticas

As alterações climáticas constituem portanto o maior desafio global ao desenvolvimento sustentável, dada a natureza complexa e disruptiva dos seus impactos, que colocarão exigências acrescentadas à gestão dos recursos, funcionamento e protecção das sociedades e biosfera. As inter-relações entre as actividades antropogénicas que levam à emissão de GEEs, conseqüentes alterações no clima e impactos daí advindos são apresentadas na Figura 2.4.

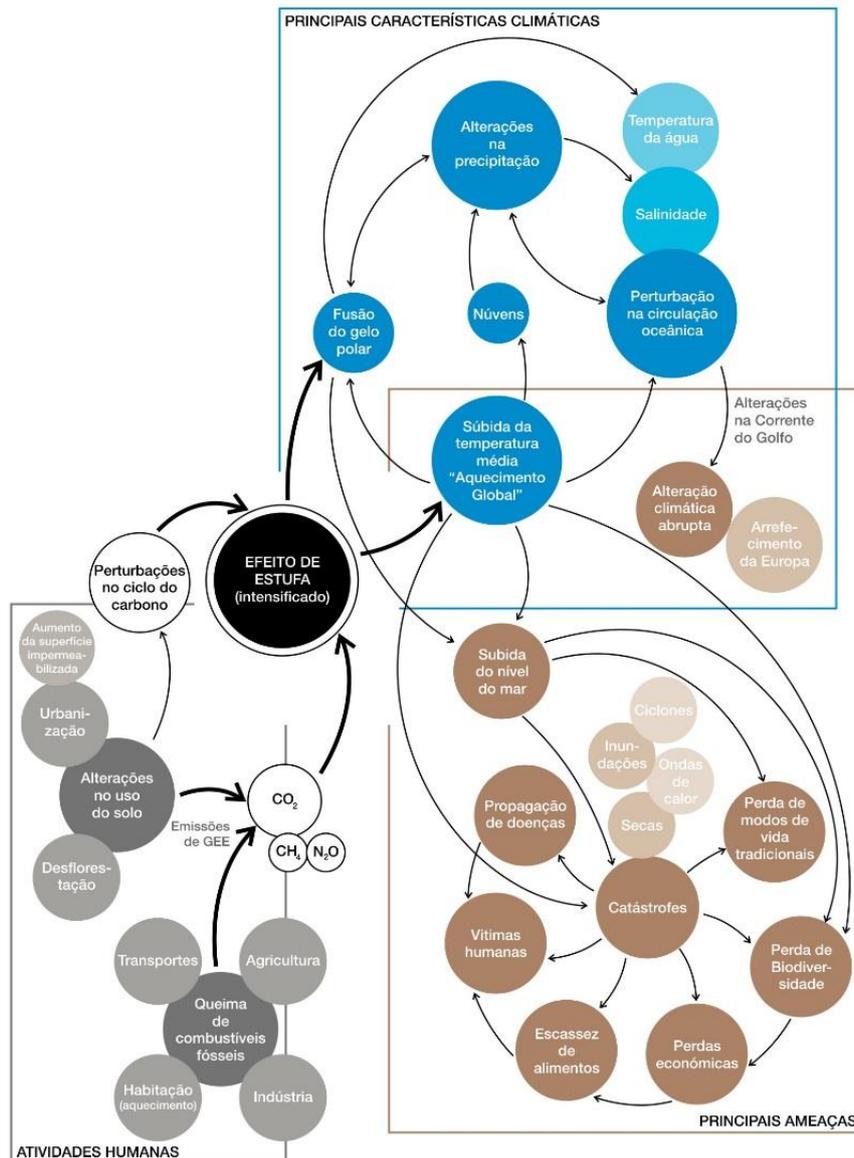


Figura 2.4 – Alterações climáticas: interações entre as perturbações antropogénicas, alterações do clima e respectivos impactos

Fonte: UNEP/GRID – Arendal (2005) in PMAAC-AML (2018)

Para minorar os impactos das alterações climáticas, a mitigação e a adaptação são as duas estratégias mais viáveis, dado que os impactos que possíveis acções de bioengenharia, como a emissão de aerossóis ou o aumento do albedo têm consequências ainda mal conhecidas e que muito provavelmente originarão efeitos em cascata que no estado actual dos conhecimentos são impossíveis de identificar ou quantificar (<https://www.dezeen.com/2018/10/18/five-geoengineering-solutions-climate-change-un-ipcc-technology/>).

A mitigação é a estratégia de redução das emissões (ex.: desenvolvimento de meios de transporte com menores taxas de emissões, uso de energias alternativas, carros eléctricos, modificação das dietas alimentares). No entanto, estas soluções para além de acarretarem desafios tecnológicos, têm-se traduzido num reduzido esforço de mitigação. Com efeito, e apesar do esforço desenvolvido pela União

Europeia e por alguns outros países, o valor total de emissões de GEEs atingiu um nível recorde de 53.5 Gt CO<sub>2</sub> em 2017 (Figura 2.5), tendo o aumento destas emissões vindo a acelerar acentuadamente desde 1999 (Figura 2.6).

Por esta razão, a adaptação é o caminho que, ao invés da mitigação – considerada como área prioritária de actuação nos primeiros anos de estudo das alterações climáticas (cf. IPCC, 1995) – tem sido mais explorado nos últimos anos, com o estabelecimento dos Programas de Acção Nacional para a Adaptação às Mudanças Climáticas (Relatórios NAPA) sob os auspícios da United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), que foi ratificada por 197 países. A adaptação consiste no conjunto de estratégias com vista a minimizar os impactos das alterações climáticas nos sistemas biofísicos e sócio económicos.

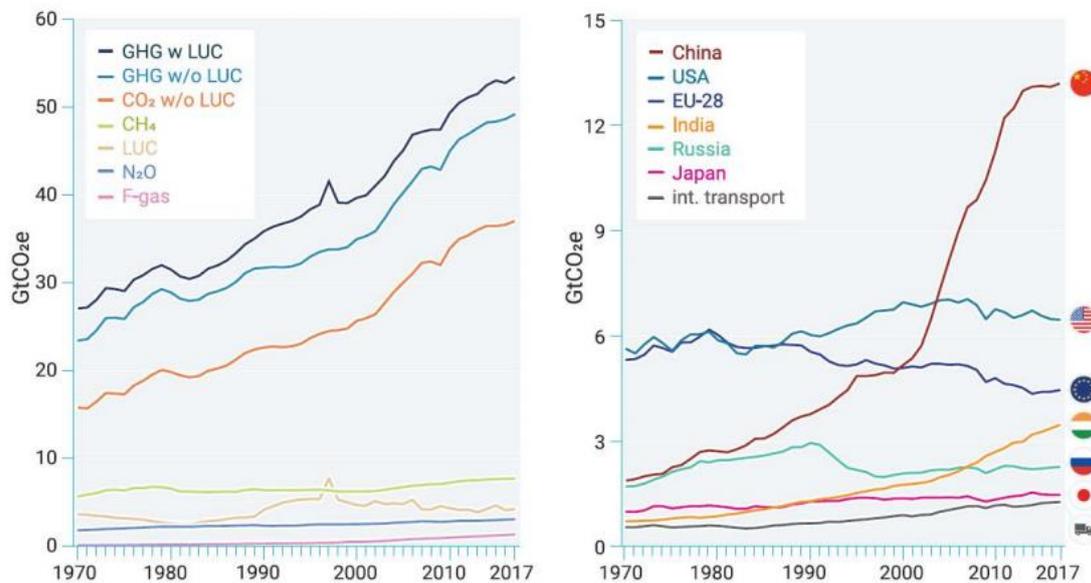


Figura 2.5 – Evolução mundial das emissões de gases de efeito de estufa

Fonte: UNEP (2018)

A adaptação às alterações climáticas é o processo de ajustamento do sistema natural e/ou humano para lidar adequadamente com os efeitos do clima actual ou expectável (IPCC, 2014). Nos sistemas humanos, a adaptação tem por objectivos moderar ou evitar prejuízos e explorar benefícios e oportunidades; nos sistemas naturais, a intervenção humana poderá facilitar os ajustamentos ao clima expectável e seus efeitos, pelo menos nalguns deles.

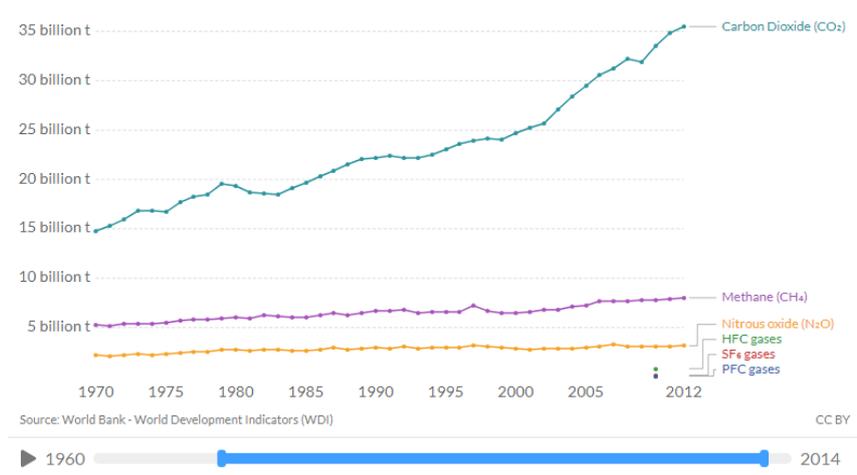


Figura 2.6 – Emissões mundiais de gases de efeito de estufa desde 1970

Fonte: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>

Para concretamente identificar as necessidades e opções mais eficazes de adaptação, um dos conceitos-chave a ter em mente é o de vulnerabilidade climática, a qual corresponde aos impactos possíveis causados pela combinação da exposição ao clima, sensibilidade e capacidade de adaptação. A vulnerabilidade agrega os seguintes conceitos (Quadro 2.1): exposição, sensibilidade/susceptibilidade, severidade, capacidade para lidar com as adversidades e capacidade de adaptação e a sua inter-relação é ilustrado na Figura 2.7.

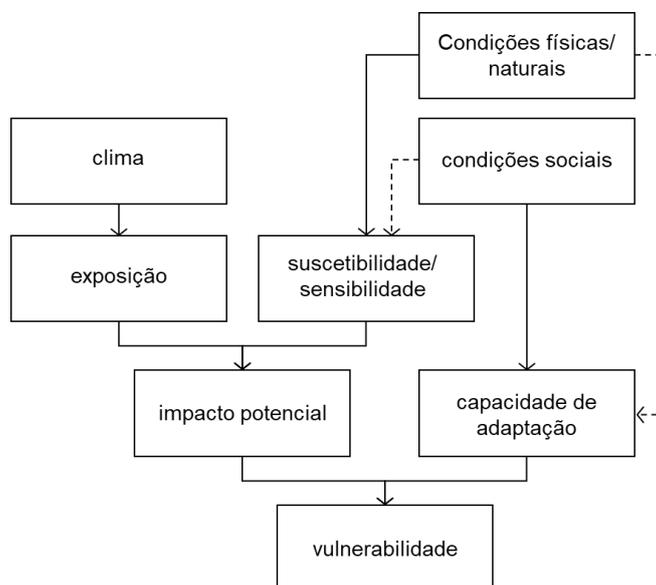


Figura 2.7 – Relação entre exposição (risco) e sensibilidade climática, impactos, capacidade adaptativa e vulnerabilidade às alterações climáticas

Fonte: Projecto PMAAC-AML (2018)

Quadro 2.1 – Conceitos-chave associados à adaptação às alterações climáticas

Conceito	Definição
Adaptação	Processo de ajustamento do sistema natural e/ou humano para resposta aos efeitos do clima actual ou expectável. Nos sistemas humanos, a adaptação procura moderar ou evitar prejuízos, bem como explorar benefícios e oportunidades. Em alguns sistemas naturais, a intervenção humana poderá facilitar os ajustamentos ao clima expectável e seus efeitos (IPCC, 2014a).
Exposição	De todos os componentes que contribuem para a vulnerabilidade, a exposição é o único directamente ligado aos parâmetros climáticos, ou seja, à magnitude do evento, às suas características e à variabilidade existente nas diferentes ocorrências. Tipicamente, os factores de exposição incluem temperatura, precipitação, evapotranspiração e balanço hidrológico, bem como os eventos extremos associados, nomeadamente chuva intensa/torrencial e secas meteorológicas (Fritzsche <i>et al.</i> , 2014).
Sensibilidade / Susceptibilidade	Determina o grau a partir do qual o sistema é afectado (benéfica ou adversamente) por uma determinada exposição ao clima. A sensibilidade ou susceptibilidade está tipicamente condicionada pelas condições naturais e físicas do sistema (por exemplo a sua topografia, a capacidade dos solos para resistir à erosão, o seu tipo de ocupação, etc.) e pelas actividades humanas que afectam as condições naturais e físicas do sistema (por exemplo práticas agrícolas, gestão de recursos hídricos, utilização de outros recursos e pressões relacionadas com as formas de povoamento e população. Uma vez que muitos sistemas foram modificados tendo em vista a sua adaptação ao clima actual (por exemplo, barragens, diques, sistemas de irrigação), a avaliação da sensibilidade inclui igualmente a vertente relacionada com a capacidade de adaptação actual. Os factores sociais, como a densidade populacional deverão ser apenas considerados como sensíveis se eles contribuírem directamente para os impactos climáticos (Fritzsche <i>et al.</i> , 2014).
Impacto potencial	Resulta da combinação da exposição com a sensibilidade. Por exemplo, uma situação de precipitação intensa (exposição) combinada com vertentes declivosas, terras sem vegetação e pouco compactas (sensibilidade), irá resultar em erosão dos solos (impacto potencial) (Fritzsche <i>et al.</i> , 2014). As alterações climáticas potenciarão um conjunto de impactos directos (ex.: erosão) e indirectos (por exemplo, perdas de produção e de rendimentos), afectando esferas tão diversificadas como a biofísica ou a social.
Vulnerabilidade	É a propensão ou predisposição que determinado sistema ou conjunto de sistemas têm para serem impactados negativamente. A vulnerabilidade agrega uma variedade de conceitos, incluindo exposição, susceptibilidade, severidade, capacidade para lidar com as adversidades e a capacidade de adaptação (IPCC, 2014a) (o que é determinadas pelas condições físicas/naturais da região, assim como pelas condições socioeconómicas que caracterizam as populações residentes e as actividades que aí se desenvolvem). A vulnerabilidade climática consiste nos impactos expectáveis causados pela combinação da exposição ao clima – no caso do clima futuro, obtida via diferentes projecções climáticas - da sensibilidade dos elementos expostos a esse clima e da capacidade de adaptação. A combinação da vulnerabilidade climática com a frequência dos eventos resulta em <b>risco climático</b> (Preston and Stafford-Smith, 2009)
Risco Climático	É definido como a probabilidade de ocorrência de consequências ou perdas danosas (morte, ferimentos, bens, meios de produção, interrupções nas actividades económicas ou impactos ambientais), que resultam da interacção entre o clima, os perigos induzidos pelo homem, e as condições de vulnerabilidade dos sistemas (adaptado de ISO 31010, 2009, UNISDR, 2011)
Capacidade de Adaptação	A capacidade que um sistema, instituição, Homem ou outros organismos têm para se ajustar aos diferentes impactos potenciais, tirando partido das oportunidades ou respondendo às consequências que daí resultam (IPCC, 2014). Resulta de uma conjugação de factores (recursos e as capacidades de índole socioeconómica, estrutural, institucional e tecnológica) que determinam a aptidão que um sistema tem para definir e implementar medidas de adaptação, para os impactos atuais e futuros. Uma vez que muitos sistemas foram modificados tendo em vista a sua adaptação ao clima actual (barragens, diques, sistemas de irrigação...), a avaliação da sensibilidade inclui obrigatoriamente a vertente relacionada com a capacidade de adaptação actual.

Fonte: Adaptado de IPCC (2014) in PMAAC-AML (2018)

De notar que a nível europeu são os países escandinavos e mediterrânicos que sofrerão os maiores impactos das alterações climáticas, e entre estes são os países mediterrânicos que serão atingidos pelo maior número de impactos adversos (EEA, 2012) como se representa na Figura 2.8. Portugal é assim um dos países europeus com maior vulnerabilidade aos impactos adversos das alterações climáticas.

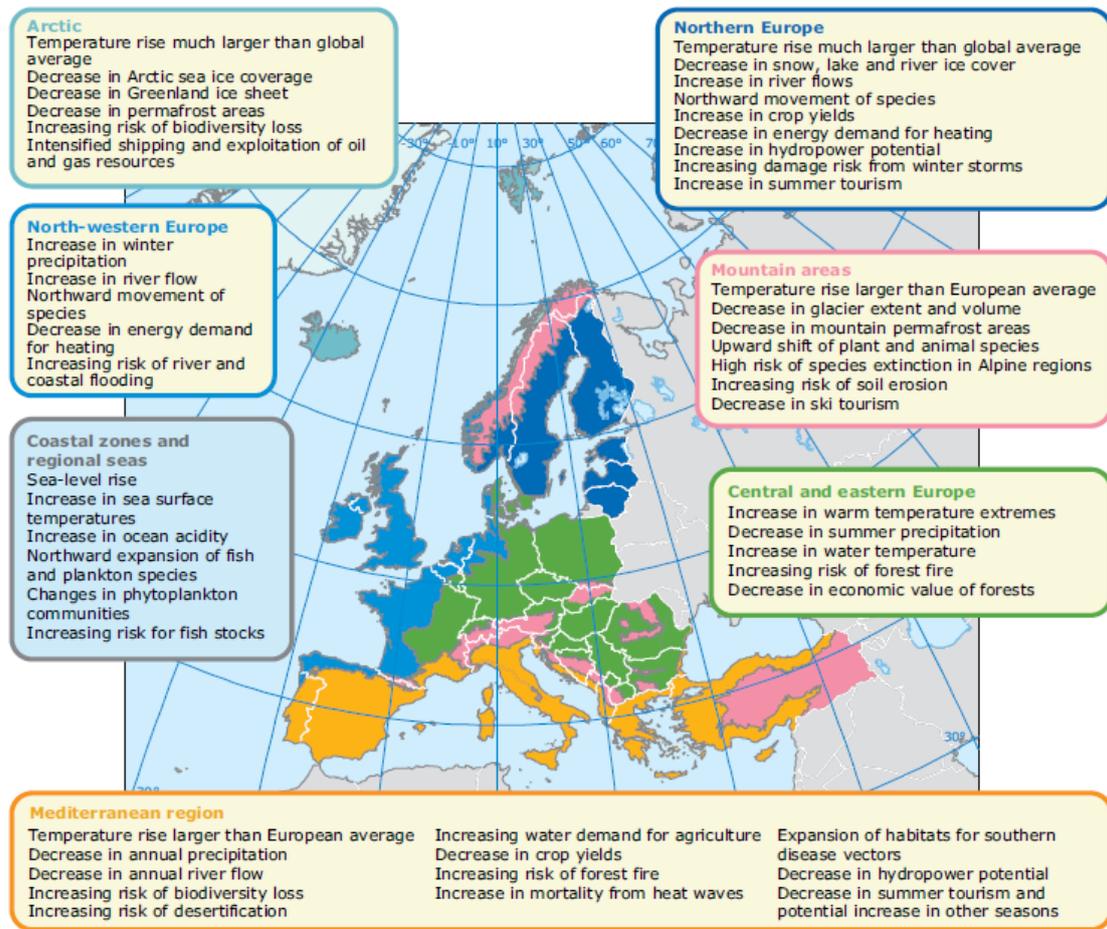


Figura 2.8 – Impactos previstos das alterações climáticas nas diferentes regiões da Europa

Fonte: EEA (2012)

Em consequência desta adversidade, e sendo um dos compromissos de Portugal para com a UNFCCC (da qual é uma das partes signatárias), foi elaborada a Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas (ENAA). Esta estratégia fornece o enquadramento e orientação gerais para os planos e acções de adaptação climática ao nível nacional, intermunicipal e municipal. É dentro deste enquadramento que surge o Plano Metropolitano de Adaptação às Alterações Climáticas (PMAAC) da Área Metropolitana de Lisboa (AML).

A Área Metropolitana de Lisboa tem registado nas últimas décadas uma alteração dos valores dos principais parâmetros climáticos e tem um historial de vulnerabilidade a eventos extremos, como é o caso das cheias<sup>1</sup>, inundações e deslizamentos de terras devido a precipitação excessiva, secas, galgamentos costeiros devido a tempestades (progressivamente incrementados pela subida do nível do mar) e, mais recentemente, uma maior frequência de ondas de calor. As alterações climáticas potenciarão uma maior frequência destes fenómenos e o aumento do seu potencial destrutivo.

<sup>1</sup> De que constitui um exemplo as cheias de 1947, com a morte de 700 pessoas, cf. <https://www.dn.pt/dossiers/cidades/inundacoes-em-portugal/cronologias/interior/grandes-cheias-1041990.html>). De notar ainda que na AML existem zonas especialmente susceptíveis a cheias, como é o caso de Alcântara ou da bacia do Trancão.

## 2.3 A problemática das águas subterrâneas e alterações climáticas

Tal como com os recursos hídricos superficiais – embora se com uma resposta mais diferida no tempo, e por isso mesmo menos evidente – as alterações climáticas afectam as águas subterrâneas, quer na sua qualidade, quer na sua quantidade. Em particular, as águas subterrâneas são afectadas pelas alterações climáticas devido a:

- **Alteração nos regimes de precipitação, temperatura, humidade atmosférica e ventos**, o que se reflecte na alteração das recargas (e consequentes alterações nas ligações hidráulicas com outras massas de água, superficiais ou subterrâneas). Em particular, as **modificações dos regimes de precipitação e temperaturas médias de longo prazo**, impacta a recarga a longo prazo e em consequência a evolução dos níveis piezométricos. Esta alteração dos regimes de precipitação, temperaturas e recarga tem impactos nos regimes de escoamento das redes hidrográficas e dos níveis de água nos aquíferos, o que modificará as cargas/descargas entre rio e aquífero (e vice-versa) tanto nos volumes de água trocados entre os aquíferos e as massas de água superficiais como na respectiva qualidade. Por exemplo, um aquífero poluído que, por efeito das alterações no regime de escoamento superficial do curso de água com o qual está em ligação hidráulica, passe a descarregar mais frequentemente para esse curso de água irá agravar a qualidade deste último. O oposto também se pode verificar.
- **Subida do nível do mar**, que promoverá o avanço da intrusão salina para o interior dos aquíferos, degradando a qualidade das águas captadas; este efeito é ainda mais agravado quando conjugado com uma alteração no sentido da redução da recarga. De facto a intrusão salina resulta sempre da combinação das alterações do nível do mar somando as alterações da recarga, isto sem contar com os impactos antrópicos.
- **Aumento do teor de CO<sub>2</sub> na atmosfera e água da chuva**, que estará na origem da alteração da qualidade das águas, com particular destaque para os aquíferos cársicos (Oliveira, 2011). Ao mesmo tempo, nestes aquíferos, os teores mais elevados de CO<sub>2</sub> na água de recarga promovem um aumento da dissolução das rochas que os constituem, pelo que, a longo prazo, ocorrerão impactos não apenas na qualidade mas nas próprias características hidráulicas e funcionamento destes aquíferos. A acidificação da água de recarga, em aquíferos cársicos, ou outros, pode promover uma maior mobilização de poluentes e consequente degradação da qualidade da água.
- **Acções antrópicas**, no geral associadas à gestão dos usos da água e do solo. Em resultado das alterações climáticas uma adaptação natural traduz-se no aumento dos consumos, o que pode gerar problemas de quantidade (e de qualidade, como por exemplo a disrupção do funcionamento das ETAR e retornos ao meio hídrico com pior qualidade); a problemas podem originar, essencialmente quando surgem com condições de redução da recarga de aquíferos, o aumento da intrusão salina ou rebaixamentos acentuados dos níveis de água, os quais, no limite, originar problemas de subsidência de terrenos e conduzir à inutilização de captações. A gestão em modo *business as usual*, como o aumento de áreas impermeabilizadas (por efeito da expansão dos núcleos urbanos) ou a degradação dos ecossistemas, trará reduções na

recarga, aumentando em contrapartida o escoamento superficial. Outras alterações ao uso do solo, advindas das opções agrícolas e/ou sua adaptação climática (ex.: aumento de regadio em áreas progressivamente mais áridas; alteração dos calendários de aplicação de fitossanitários devido a novas pragas e aumento das existentes) impactam também a quantidade e a qualidade das águas. As estratégias de adaptação integrada e adaptativa tendem a ter um impacto positivo na preservação dos recursos mas as contingências enfrentadas por cada sector-socioeconómico no processo de adaptação (ex.: mais necessidade de água para refrigeração de equipamentos, alteração do tipo e ciclo de desenvolvimento de pragas e áreas de cultivo) podem ter impactos negativos. Estratégias de adaptação desadequadas terão também impactos potencialmente negativos.

Ao invés das massas de água superficiais que respondem rapidamente aos eventos extremos, as massas de água subterrâneas são sistemas de maior inércia, sendo significativamente menos afectadas por estes fenómenos. Tal não quer dizer que os aquíferos não sejam vulneráveis aos eventos extremos em cenários de alterações climáticas. São-no, dependendo de um conjunto de factores intrínsecos (ex.: dimensão, tipo de aquífero, etc.) e de interacção com a antroposfera. No entanto, as massas de água subterrâneas são sobretudo afectadas por alterações de longo prazo nas variáveis climáticas (ex.: precipitação, temperatura) e cobertura do solo, tendo os impactos associados a eventos extremos, mesmo os de maior duração como as secas, no geral uma duração muito limitada e com impactos menores no longo prazo. **Para as águas subterrâneas, o factor mais importante é a variação de longo prazo (30 anos no mínimo) das médias das variáveis climáticas** ao nível do solo e as alterações na exploração destes recursos.

Assim, em particular as secas são dos eventos extremos as que terão naturalmente o maior impacto nos recursos hídricos subterrâneos. Note-se que os impactos das cheias, sobretudo na qualidade das águas subterrâneas, não são devidamente conhecidos, embora alguns estudos sugiram que esses impactos ocorrem e podem ser significativos (Koeniger & Leibundgut, 2000; Ghazavi et al., 2012; Wang et al., 2015; Sun et al., 2016). Outros eventos extremos como tempestades marítimas, galgamentos do litoral, quedas de granizo, tornados ou trovoadas têm pouco ou nenhum impacto nos recursos hídricos subterrâneos.

Normalmente os planos estratégicos de adaptação às alterações climáticas focam-se nos eventos extremos e situações de catástrofe, ou seja eventos que, embora de elevado impacto, têm muito curta duração. Ademais, as metodologias utilizadas não se focam nas variações de longo prazo das médias climáticas, de cobertura do solo e tendências de longo prazo de exploração deste recurso. Deste modo a problemática dos impactos das alterações climáticas nos recursos hídricos subterrâneos fica deficientemente analisada. Assim, para uma análise robusta será necessário usar não apenas a informação relativa a eventos extremos e Perfis de Impactos Climáticos (cf. PMAAC-AML, 2018a) mas também incluir um conjunto de outros dados como os relativos a evoluções e tendências de longo prazo.

## 2.4 Águas subterrâneas e adaptação às alterações climáticas na AML

### 2.4.1 Caracterização geral da situação atual das Águas subterrâneas

Os recursos hídricos subterrâneos na Área Metropolitana de Lisboa (AML; Figura 2.9) estão representados por 3 grandes sistemas aquíferos (Aluviões do Tejo, Tejo – Margem Direita, e Tejo/Sado – Margem Esquerda), um pequeno aquífero (Pisões-Atrozela) e 3 áreas que embora sem potencial de exploração para serem chamados de aquíferos, podem contudo ter interesse para o abastecimento local (Orlas Ocidental Indiferenciada da Bacia do Tejo, Orla Ocidental Indiferenciada das Bacias das Ribeiras do Oeste, Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Sado).

O sistema aquífero Tejo – Margem Direita está apenas vestigialmente representado na AML, ocorrendo apenas no extremo norte do concelho de Vila Franca de Xira. Os sistemas aquíferos da Bacia do Tejo/Sado – Margem Esquerda e das Aluviões do Tejo possuem significativas áreas externas à área da AML, com especial destaque para o Tejo/Sado – Margem Esquerda. Contudo estas áreas não podem ser ignoradas pois os fluxos subterrâneos delas provenientes são importantes fontes de alimentação das áreas pertencentes à AML, visto que os fluxos hídricos subterrâneos nestes aquíferos têm uma orientação geral em direcção ao Tejo.

No Quadro 2.2 apresentam-se os sistemas aquíferos e orlas indiferenciadas da AML, os concelhos que ocupam (total ou parcialmente), as respectivas recargas e, quando possível, os respectivos volumes de extracções e taxas de exploração. De notar que estas recargas se referem à totalidade da área aquífera e deste modo são superiores às registadas na AML. Contudo, parte dessa recarga externa à AML pode atingir a área metropolitana dada a orientação dos fluxos subterrâneos em direcção ao Tejo.

Os aquíferos presentes na AML são de dois tipos:

- **Cársico** – Pisões-Atrozela. É um pequeno aquífero, muito fracturado e compartimentado, com reduzida capacidade de regulação, respondendo rapidamente às variações normais da precipitação.
- **Poroso** – Aluviões do Tejo, Tejo – Margem Direita e Tejo/Sado – Margem Esquerda. Desenvolvidos nas unidades sedimentares da bacia terciária do Tejo-Sado, são aquíferos de grande dimensão, em particular o Tejo/Sado – Margem Esquerda, o que lhes confere uma grande inércia de resposta face às variações normais da precipitação.

As Orlas Indiferenciadas incluem terrenos fissurados (ex.: Serra de Sintra) e porosos, pelo que o seu comportamento hidrogeológico é muito variável no espaço.

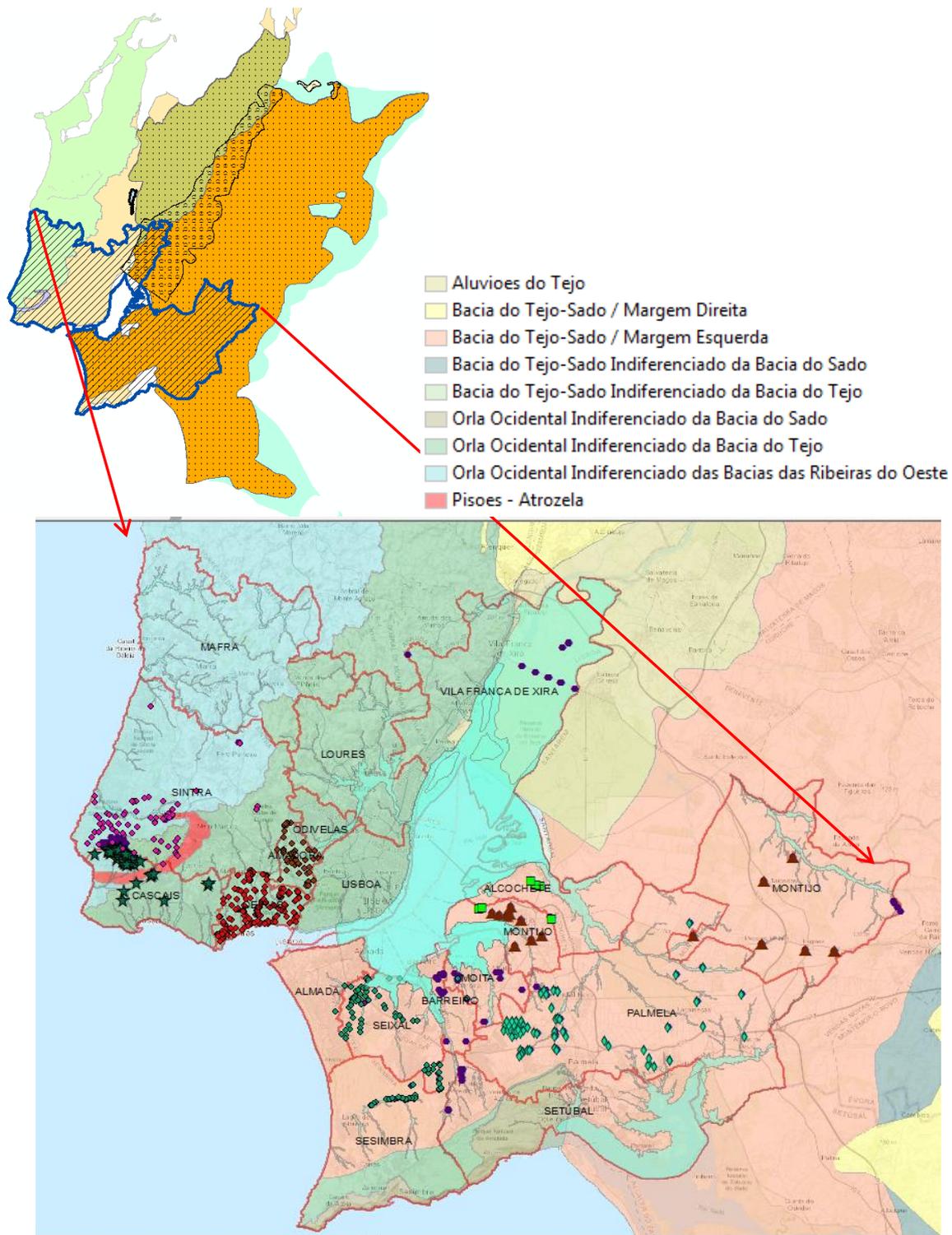


Figura 2.9 – Águas subterrâneas da AML. Sistemas aquíferos, Orlas indiferenciadas e captações de água subterrânea

Fonte imagem superior: [https://snirh.apambiente.pt/snirh/atlasagua/sistemasaquiferos/imagens/orla\\_ocidental.gif](https://snirh.apambiente.pt/snirh/atlasagua/sistemasaquiferos/imagens/orla_ocidental.gif); Imagem inferior: <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=4&idItem=3&idSubtem=link4d>; \*as captações, contidas na base de dados do PMAAC estão representadas por pontos, estrelas, triângulos e losângulos, consoante o concelho.

Quadro 2.2 – Características gerais dos sistemas aquíferos e orlas indiferenciadas na Área Metropolitana de Lisboa

Sistema aquífero	Concelhos*	Área (km <sup>2</sup> )	Recarga (hm <sup>3</sup> /ano)	Captações subterrâneas (hm <sup>3</sup> /ano)	Taxa de exploração
Aluviões do Tejo	Alenquer, Almeirim, Alpiarça, Azambuja, Benavente, Chamusca, Coruche, Entroncamento, Golegã, Salvaterra de Magos, Santarém, <b>V.F. de Xira</b> , V.N. da Barquinha	1090	217,87	126,54	58,1%
Tejo-Sado/Margem Direita	Alcanena, Alenquer, Almeirim, Alpiarça, Azambuja, Benavente, Cadaval, Cartaxo, Chamusca, Entroncamento, Golegã, Rio Maior, Salvaterra de Magos, Santarém, Tomar, Torres Novas, <b>V.F. de Xira</b> , V.N. da Barquinha	1620	172,80	103,98	60,2%
Tejo-Sado/Margem Esquerda	Abrantes, <b>Alcochete</b> , <b>Almada</b> , Almeirim, Alpiarça, Avis, <b>Barreiro</b> , Benavente, Chamusca, Constância, Coruche, Gavião, Grândola, <b>Moita</b> , Montemor-o-Novo, <b>Montijo</b> , Mora, <b>Palmela</b> , Ponte de Sôr, Salvaterra de Magos, Santarém <b>Seixal</b> , <b>Sesimbra</b> , <b>Setúbal</b> , Vendas Novas, <b>V.F. de Xira</b>	6920	1005,91	386,57	38,4%
Pisões-Atrozela	<b>Cascais</b> , <b>Sintra</b>	22,1	6,34	1,78	28,0 %
Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Tejo	<b>Amadora</b> , <b>Lisboa</b> , <b>Loures</b> , <b>Odivelas</b> , <b>Oeiras</b>	854,1	132,56	29,64	22,4%
Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Sado	<b>Sesimbra</b> , <b>Setúbal</b>	72,2			
Orla Ocidental Indiferenciada das Bacias das Ribeiras do Oeste	<b>Cascais</b> , <b>Mafra</b> , <b>Sintra</b>	1801	87,64	15,72	17,9%

\*A negrito identificam-se os concelhos da Áreas Metropolitana de Lisboa; Adaptado de: Lobo-Ferreira et al. (2011) e Almeida et al. (2000)

Dada a baixa produtividade das Orlas Indiferenciadas e reduzida capacidade de armazenamento do aquífero Pisões-Atrozela (devido às suas pequenas dimensões, funcionamento e relativamente rápido esgotamento após as chuvas), os consumos na margem direita do Tejo são suportados sobretudo por origens externas à AML, com excepções localizadas para abastecimento à agricultura. Na Margem Esquerda, devido à grande dimensão, capacidade de armazenamento e produtividade dos aquíferos, os diversos tipos de consumos são abastecidos essencialmente por águas subterrâneas.

### 3 | Caracterização do estado actual dos abastecimentos, poluição e intrusão salina

#### 3.1 Disponibilidades hídricas dos recursos hídricos subterrâneos da AML

Apesar da Área Metropolitana de Lisboa (AML), e tal como já foi referido, possuir grandes reservas de recursos hídricos subterrâneos, ocupando uma área importante do maior sistema aquífero do país (Tejo/Sado – Margem Esquerda) e de dois dos mais importantes a nível nacional (Aluviões do Tejo e, vestigialmente, Tejo/Sado – Margem Direita), estes recursos não estão uniformemente distribuídos pela região. Isto deve-se à distribuição das diversas unidades geológicas e resulta em que algumas áreas têm recursos subterrâneos mais ou menos abundantes e outras são claramente deficitárias.

Assim, como é ilustrado no Quadro 3.1, a **Margem Direita do Tejo** é dominada por unidades geológicas fissuradas e porosas de baixa permeabilidade, cuja capacidade aquífera é muito variável de local para local, designadas por Orlas Ocidentais Indiferenciadas (cf. Figura 2.9), pelo que apenas conseguem abastecer pequenos consumos locais. Além destas Orlas, existe ainda o pequeno aquífero cársico de Pisões-Atrozela, com baixa capacidade de armazenamento e grande sensibilidade à variação das precipitações. No extremo norte do concelho de Vila Franca de Xira, na área de contacto entre o sistema Aluviões do Tejo e a Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Tejo há ainda uma reduzida área do sistema aquífero Tejo – Margem Direita (cf. Figura 2.9). Sendo as Orlas zonas de baixa produtividade – com algumas excepções como por exemplo as zonas aluvionares ou até certo ponto a Serra de Sintra – a generalidade do abastecimento é realizado a partir de origens superficiais maioritariamente externas à AML. Isto porque os recursos hídricos superficiais são escassos e muito irregularmente distribuídos no tempo (excepção para o Tejo) e portanto não são alvo de captação, sendo as excepções o rio Trancão (abastecimento agrícola) e o rio da Mula (complementa abastecimento doméstico em Cascais).

No entanto, apesar de pouco produtivas, as Orlas Ocidentais Indiferenciadas conseguem abastecer pequenas captações de reduzido caudal), razão porque aqui ocorre um razoável número de captações para abastecimento local, concentradas sobretudo na área da Serra de Sintra (cf. Figura 2.9), região da Amadora e, embora não assinaladas, em certas freguesias do concelho de Mafra, para abastecimento sobretudo agrícola. No concelho de Vila Franca de Xira, na zona de Valada, as águas subterrâneas – captadas sobretudo no sistema aquífero das Aluviões do Tejo – são uma importante origem de abastecimento à indústria (Lobo-Ferreira et al., 2012), sendo ainda de destacar as captações soterrâneas entre Vila Franca de Xira e Samora Correia destinadas sobretudo ao abastecimento doméstico

A **Margem Esquerda do Tejo** está totalmente incluída no sistema aquífero Tejo/Sado – Margem Esquerda, com a excepção de algumas áreas dos concelhos de Sesimbra, Setúbal e Palmela, as quais abrangem as áreas das Orlas Ocidentais Indiferenciadas do Sado e extremo meridional da do Tejo. Ao

invés das Orlas, o sistema aquífero Tejo/Sado – Margem Esquerda é muito produtivo e com uma muito elevada capacidade de armazenamento, pelo que se torna na fonte de abastecimento para a quase totalidade dos consumos (doméstico, agrícola e industrial) de todos os concelhos da margem esquerda, sendo o remanescente fornecido por represas e charcas.

Deste modo, se na margem direita os recursos hídricos subterrâneos (e superficiais) são pouco significativos, tornando esta região dependente de origens de abastecimento externas à AML, na margem esquerda os recursos hídricos subterrâneos tornam-se de capital importância, tanto mais que os recursos hídricos superficiais são também pouco significativos. O Quadro 3.1 e a Figura 3.1 ilustram esta situação, sendo contudo de sublinhar que os valores de disponibilidades hídricas se referem ao conjunto da área destas massas de água para a totalidade da Região Hidrográfica Tejo e Ribeiras do Oeste (RH5), o que significa que os valores apresentados incluem as disponibilidades de vastas áreas externas à AML. Deste modo os valores expressos no Quadro 3.1 são muito superiores aos gerados por recarga na área da AML, com particular destaque para o sistema aquífero Bacia do Tejo/Sado – Margem Direita, cuja área de afloramento na AML é quase vestigial.

**Quadro 3.1 – Disponibilidades hídricas subterrâneas por massa de água**

<b>Massa de água</b>	<b>Disponibilidade hídrica subterrânea (hm<sup>3</sup>/ano)</b>	<b>Disponibilidade hídrica subterrânea por unidade de área (hm<sup>3</sup>/Km<sup>2</sup> ano)</b>
Bacia do Tejo/Sado – Margem Esquerda	1005,91	0,15
Aluviões do Tejo	217,87	0,20
Bacia do Tejo/Sado – Margem Direita	172,80	0,11
Orla Ocidental Indiferenciada das Bacias das Ribeiras do Oeste	213,61	0,12
Orla Indiferenciada da Bacia do Sado	132,56	0,14
Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Tejo	87,64	0,06
Pisões - Atrozela	6,34	0,29

Fonte: APA (2016)

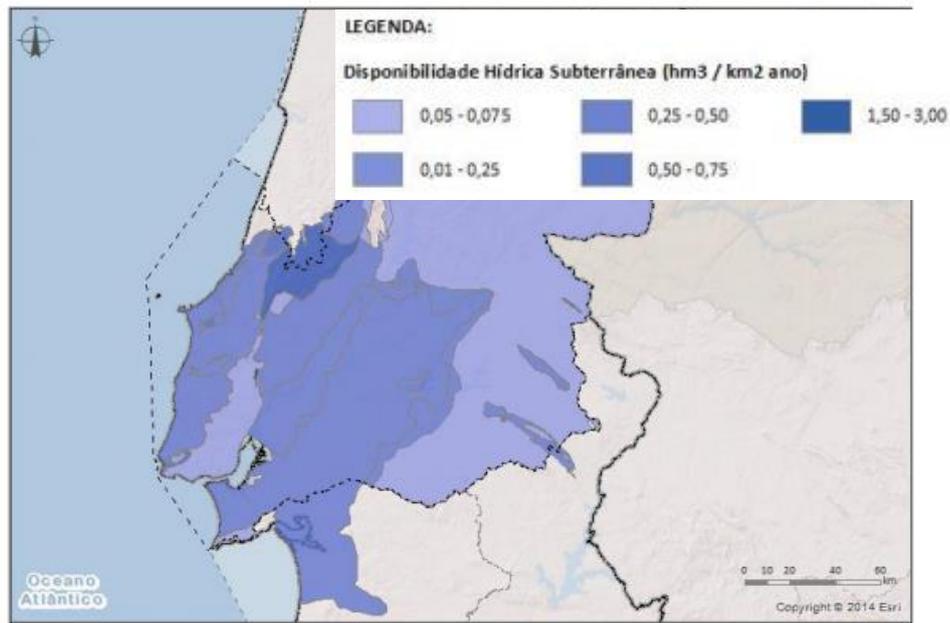


Figura 3.1 – Disponibilidades hídricas subterrâneas por unidade de área na Região Hidrográfica 5 (RH5)

Fonte: APA (2016)

Um indicador do potencial aquífero para exploração é a produtividade das massas de água, a qual é apresentada no Quadro 3.2. Neste pode verificar-se a baixa a média produtividade das Orlas Indiferenciadas, que só localmente poderão ter produtividades altas.

A evolução dos volumes de águas subterrâneas captadas entre os planos de bacia do 2º e 3º ciclo (Lobo-Ferreira et al., 2011; APA, 2016) foi de um total de 772,7 hm<sup>3</sup> em 2011 para 786,3 hm<sup>3</sup> em 2016, sendo tal aumento devido ao crescimento dos consumos urbanos (de 136 para 160,7 hm<sup>3</sup>) e industriais (de 15,4 para 29 hm<sup>3</sup>), ao passo que na agricultura a tendência foi inversa, tendo os consumos reduzido de 621 para 582 hm<sup>3</sup> (Rocha in PMAAC-AML, 2018b).

As disponibilidades hídricas para abastecimento dependem ainda da qualidade dos recursos hídricos, as quais, excluindo certas situações de má qualidade por motivos naturais (ex.: circulação em formações evaporíticas), dependem dos impactos poluentes das acções antrópicas. As origens de poluição urbana, industrial, agrícola e pecuária são as mais significativas. O turismo é responsável não apenas pelo seu contributo para a poluição de origem urbana/doméstica mas também pela poluição associada aos campos de golfe. De acordo com APA (2016a) a relação sectores/tipo de poluição é a seguinte:

- **Sector Urbano:** principal origem da poluição pontual.
- **Sector Industrial:** sendo também uma das origens de poluição pontual, é responsável pela poluição por substâncias prioritárias, estando as suas instalações associadas ao risco de acidentes grave (1/4 das quais com perigosidade de nível superior).
- **Sectores Agrícola e Pecuário:** responsáveis quase exclusivos pela poluição difusa mas também com peso na poluição pontual (associada a estabelecimentos de pecuária intensiva, como suiniculturas e aviários)

- **Sector Turismo:** associado a poluição pontual (descargas de efluentes domésticos) e difusa (sobretudo herbicidas), associada aos campos de golfe.

**Quadro 3.2 – Caracterização da produtividade das massas de água subterrâneas**

Massa de água		Produtividade (l/s)			Classe de produtividade
Designação da massa de água	Unidades constituintes	Mediana	Mínima	Máxima	
Bacia do Tejo/Sado – Margem Esquerda	Pliocénico	15,5	0,08	66,6	Alta
	Arenitos da Ota	9,7	0,5	90	Alta
	Série calco-gresosa marinha	35	4,1	110	Alta
Aluviões do Tejo	Terraços	10	1,1	50,0	Alta
	Aluviões	12,0	1,0	80,0	Alta
Bacia do Tejo/Sado – Margem Direita	Calcários de Almoester	6	0,1	20,8	Média a Alta
	Arenitos da Ota	11,1	0,08	75	Alta
Pisões - Atrozela		4,0	0,6	24,4	(Média)
Orla Ocidental Indiferenciada das Bacias das Ribeiras do Oeste			0,0	117	(Baixa a Alta)
Orla Indiferenciada da Bacia do Sado		-	3	10	(Média)
Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Tejo		-	0,4	41,7	(Baixa a Média)

Valores entre parêntesis não são estatisticamente relevantes dado o reduzido número de observações realizado.

Fonte: adaptado de Lobo-Ferreira et al (2011, 2011a, 2011b)

Uma ilustração da distribuição destas fontes de poluição é apresentada nas Figura 3.2 e Figura 3.3. Devido à intensa actividade agrícola na Lezíria e margem esquerda do Tejo, e conseqüente poluição por nitratos, a região assinalada na Figura 3.4 foi classificada como Zona Vulnerável, de acordo com a Directiva “Nitratos” (Directiva 91/676/CEE de 12 de Dezembro de 1991, expressa na lei portuguesa pelo Decreto-Lei n.º 68/99).

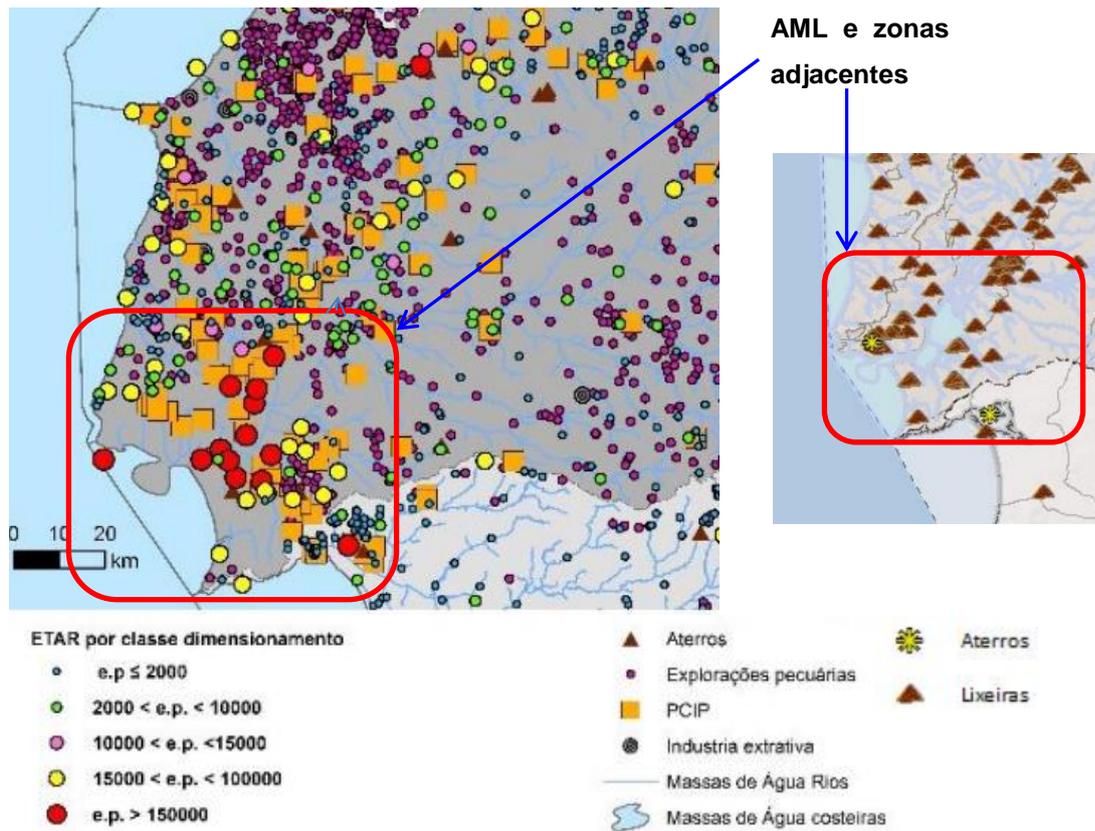


Figura 3.2 – Pressões pontuais

Fonte: adaptado de APA (2016)



Figura 3.3 – Pressões difusas associadas a campos de golfe e regadios públicos

Fonte: adaptado de APA (2016)

Além das questões de poluição tóxica e difusa, que se poderão agravar com as alterações climáticas se não se aplicarem medidas de adaptação adequadas, embora a eventual evolução destes agravamentos seja difícil de prever graças aos numerosos factores envolvidos e não exclusivamente climáticos, os recursos hídricos subterrâneos estão sujeitos a potenciais impactos na sua qualidade

devido à alteração do nível do mar. Este é um fenómeno que afecta apenas as regiões litorais, pois que resulta do equilíbrio na interface entre a água doce subterrânea da zona continental e a água do mar. Quando este equilíbrio se altera, seja pelo rebaixamento da superfície freática (ex.: sobre-exploração, menor recarga) ou pela subida do nível do mar, a interface água doce/água salgada avança para o interior (i.e. intrusão salina), podendo salinizar, e em consequência inutilizar, os furos de captação para abastecimento. Na Figura 3.5 estão representados diferentes aspectos deste fenómeno: a) interfaces complexas em casos de aquíferos multicamada, b) intrusão salina devido a sobre-exploração e consequente elevação da interface na zona de exploração (em aquífero homogéneo), c) factores que estão na origem da intrusão salina.

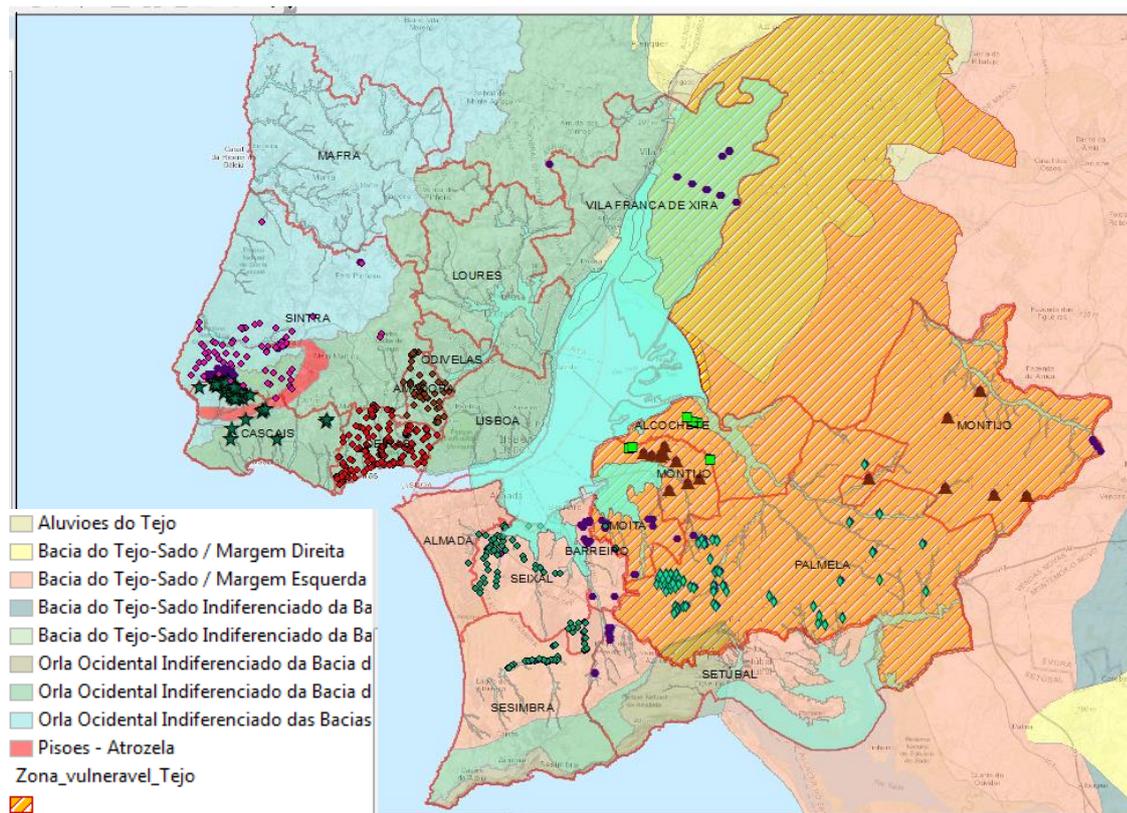


Figura 3.4 – Zona vulnerável do Tejo, sistemas aquíferos e captações da base de dados do PMAAC

Fonte: base de dados PMAAC

Além da poluição por origem antrópica, a poluição natural, seja por intrusão salina ou infiltração de águas provenientes de unidades produtivas cuja assinatura hidrogeoquímica torne as suas águas impróprias para consumo, é também uma condicionante negativa para as disponibilidades hídricas. Se a intrusão salina é um fenómeno intrinsecamente litoral (oceânico e de zonas estuarinas), já a infiltração a partir de unidades produtivas com águas de baixa qualidade – mesmo que por vezes o resultado seja a de uma salinização progressiva similar à da intrusão salina – pode ocorrer em qualquer ponto do território, sendo no geral resultado da sobre-exploração das unidades aquíferas para onde estas águas de baixa qualidade se infiltram.

A Área Metropolitana de Lisboa é, pelo seu contacto com duas zonas de estuário e o oceano, sensível aos fenómenos de intrusão salina e de acordo com a bibliografia (cf. Zeferino, 2016), há já casos

registados deste tipo de intrusão. Até ao momento a generalidade destes casos deve-se a situações de sobre-exploração, passada ou presente. No entanto, e devido à subida do nível do mar a intrusão salina tenderá a expandir-se ao longo do litoral dos sistemas aquíferos, agravando a situação das zonas actualmente já afectadas por este processo. (ex.: Barreiro; cf. Zeferino, 2016).

Teoricamente a intrusão salina é o resultado, muitas vezes conjugado, da sobre-exploração do aquífero, redução da recarga, alterações no uso do solo (ex.: empreendimentos turísticos, exigindo grandes extracções de água para irrigação de campos de golfe), e com as alterações climáticas, a subida do nível do mar. A intrusão salina que normalmente afecta as captações resulta de um avanço da interface água doce/água salgada ao longo do litoral e da subida desta mesma interface nas zonas de maior exploração como se ilustra na Figura 3.5 para um aquífero poroso homogéneo.

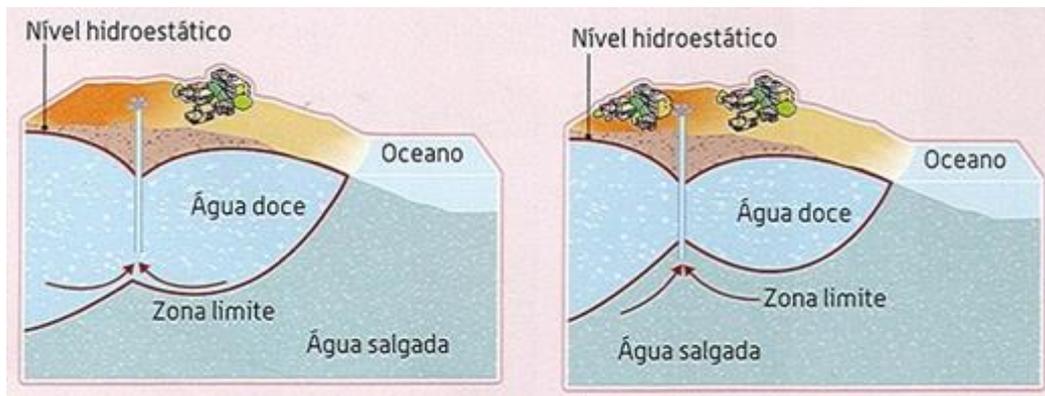


Figura 3.5 – Diferentes aspectos da intrusão salina

Fonte: adaptado <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1126518382177368/Saline%20Intrusion.pdf>

Para aquíferos multicamada a geometria simples da Figura 3.5 já não se verifica, o que tem impactos sobre as captações. Com efeito a intrusão salina, afectando todas as unidades aquíferas em contacto com o oceano, desenvolve uma interface água doce-água salgada complexa (Figura 3.6) que depende da permeabilidade, geometria e grau de confinamento destas unidades. Esta situação promove uma maior complexidade da geometria das áreas afectadas e em consequência do número de captações e profundidades de captação afectadas.

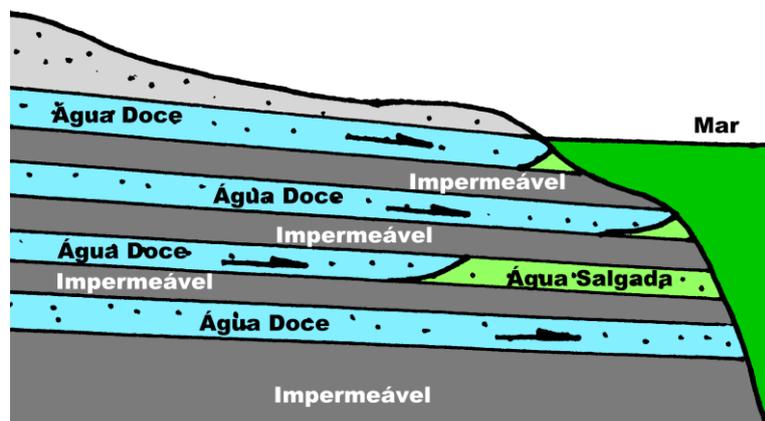


Figura 3.6 – Intrusão salina em sistemas aquíferos multicamada

Fonte: <http://www.geocities.ws/cesol999/AquiferoCosteiro.htm>

A intrusão salina pode contudo não resultar da entrada directa de água salgada na unidade aquífera em exploração mas de aportes verticais descendentes, situação que ocorre em condições de sobre-exploração, quando a unidade aquífera é sobre-explorada a um ponto em que o seu nível piezométrico desce abaixo do nível piezométrico da(s) unidade(s) aquífera(s) sobrejacente(s).

Nestas circunstâncias é promovida a descarga vertical descendente da unidade aquífera sobrejacente para a unidade sobre-explorada. Se porventura na unidade sobrejacente já ocorrer intrusão salina, seja por efeitos de sobre-exploração ou subida do nível do mar, essa água salinizada poderá atingir a unidade aquífera inferior. Deste modo tem-se uma intrusão salina na unidade inferior que resulta não do avanço directo da intrusão salina nessa unidade mas da descarga a partir de zonas afectadas por intrusão salina directa da unidade sobrejacente. Este parece ser o caso do Barreiro (Zeferino, 2016).

A salinização de pontos de captação nas zonas interiores do aquífero não são intrusão salina mas devem-se quer a condições naturais adversas (ex.: circulação das águas em rochas evaporíticas) ou a sobre-exploração. Neste último caso o processo é similar ao descrito no parágrafo anterior mas agora, a alteração do nível piezométrico na unidade sobre-explorada pode permitir a descarga para esta unidade de níveis aquíferos de pior qualidade não apenas superiores mas também inferiores, tudo dependendo das relações hidráulicas que se estabelecerem entre estes níveis e a piezometria da unidade sobre-explorada. Estão neste caso alguns furos da Mitrena no concelho de Setúbal (Mendonça e Silva, 2003).

A subida do nível do mar, ao alterar o equilíbrio hidráulico entre o oceano e os aquíferos promove também um avanço da intrusão salina para o interior, aumentando a área afectada pela salinização associada.

De um modo simplificado pode descrever-se a alteração vertical da interface água doce/água salgada através da fórmula de Ghyben-Herzberg, que descreve esta alteração para um aquífero homogéneo e isotrópico através da fórmula:

$$Z = \alpha * h$$

em que:

- Z = a profundidade da interface abaixo do nível do mar,
- $\alpha$  = relação de densidade água doce vs. água salgada = 40
- h = cota do nível freático acima do nível do mar

A Figura 3.7 ilustra a relação entre as variáveis Z e h.

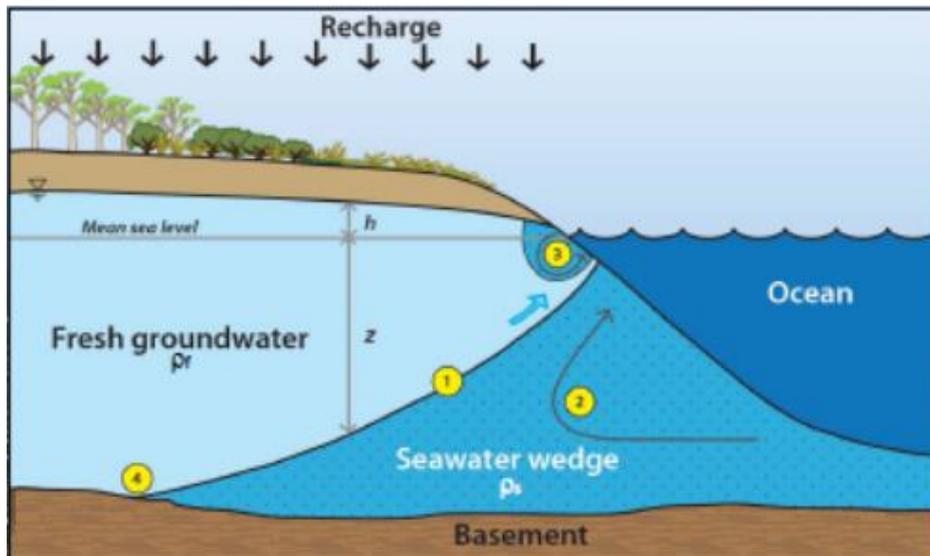


Figura 3.7 – Ilustração das variáveis da equação de Ghyben-Herzberg

Fonte: adaptado de Codesso de Melo (2016) in: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1126518382177368/Saline%20Intrusion.pdf>

Com base no estudo de Antunes e Taborda (2009) que definiu a subida do nível do mar registada no marégrafo de Cascais desde finais do séc. XIX e calculou, com base nestes valores, a projecção de subida média do nível do mar para 2100 entre 19 e 75 cm – valores dependentes dos cenários de alterações climáticas utilizados – foi determinada a evolução média da intrusão salina na AML. Aplicando-se a fórmula de Ghyben-Herzberg aos valores determinados por Antunes e Taborda (2009) obteve-se:

- **Para uma subida do nível do mar de 19 cm** – há uma subida da interface de 7,6 m; ou seja, furos de captação que estiverem a cerca de 7,6 m acima da interface actual ficam salinizados.
- **Para uma subida do nível do mar de 75 cm** – há uma subida da interface de cerca 30 m.
- **Para uma subida do nível do mar de 1 m** (cenário adoptado pelo estudo PMAAC) – há uma subida da interface de cerca 40 m.

Na Figura 3.8 apresenta-se uma ilustração esquemática da evolução vertical da intrusão salina devido à subida do nível do mar, em condições de não exploração. No caso de haver exploração, e em particular sobre-exploração, em concomitância com a subida do nível do mar o problema de degradação e consequente perda do recurso hídrico subterrâneo é agravado. Verifica-se assim que não há apenas uma deslocação horizontal da interface água doce/salgada mas que a subida vertical desta interface irá afectar áreas cada vez menos profundas do aquífero como se ilustra na Figura 3.8.

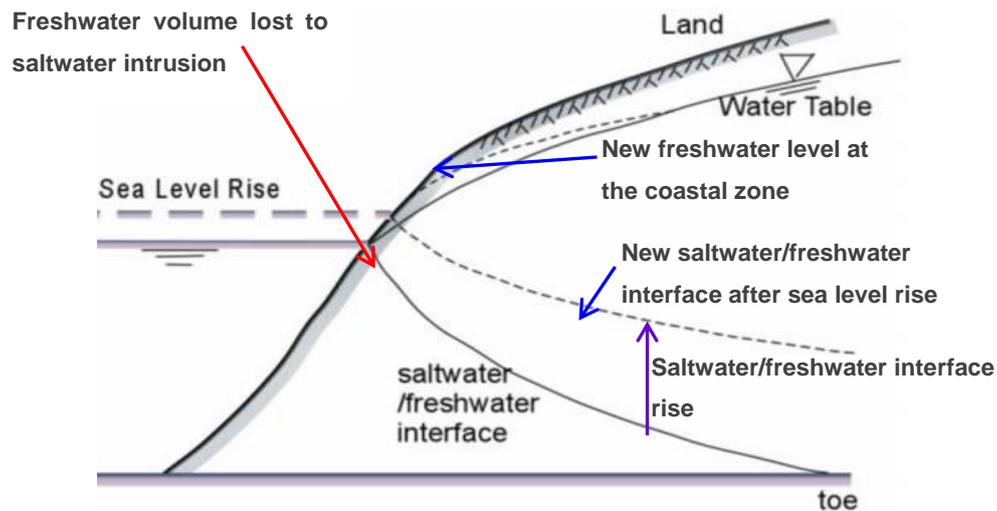


Figura 3.8 – Evolução da intrusão salina em condições de subida do nível do mar e de não exploração do aquífero

Fonte: adaptado de Codesso de Melo (2016)

A evolução horizontal da intrusão salina (que define o avanço horizontal da água salgada para o interior do continente) depende da conjugação da topografia do litoral com o valor da subida do nível do mar. Assim, considerando as projecções de Antunes e Taborda (2009), todas as áreas de litoral de areia actualmente até à cota de 79 cm estão em risco de submersão. Como à superfície, na direcção horizontal, o limite da intrusão salina é definido pelo contacto entre o oceano e a interface água doce/salgada (Figura 3.8), a cota de 79 cm será o limite superior da intrusão salina, se se descontar os efeitos provocados pela erosão costeira. Com efeito a erosão costeira, ao promover o recuo do litoral, terá igualmente impacto na intrusão salina podendo permitir a submersão total ou parcial de terrenos e o consequente avanço da cunha salina para o interior.

As zonas actualmente afectadas por inundações estuarinas e costeiras são áreas especialmente sensíveis ao avanço horizontal da intrusão salina uma vez que apresentam cotas suficientemente baixas para serem afectadas por estes processos. Deste modo serão áreas em risco de submersão pelo menos parcial devido à subida do nível do mar, o que promoverá o avanço da intrusão salina para o interior. Na Figura 3.9 apresentam-se as áreas dos estuários do Tejo e do Sado susceptíveis a inundações estuarinas.

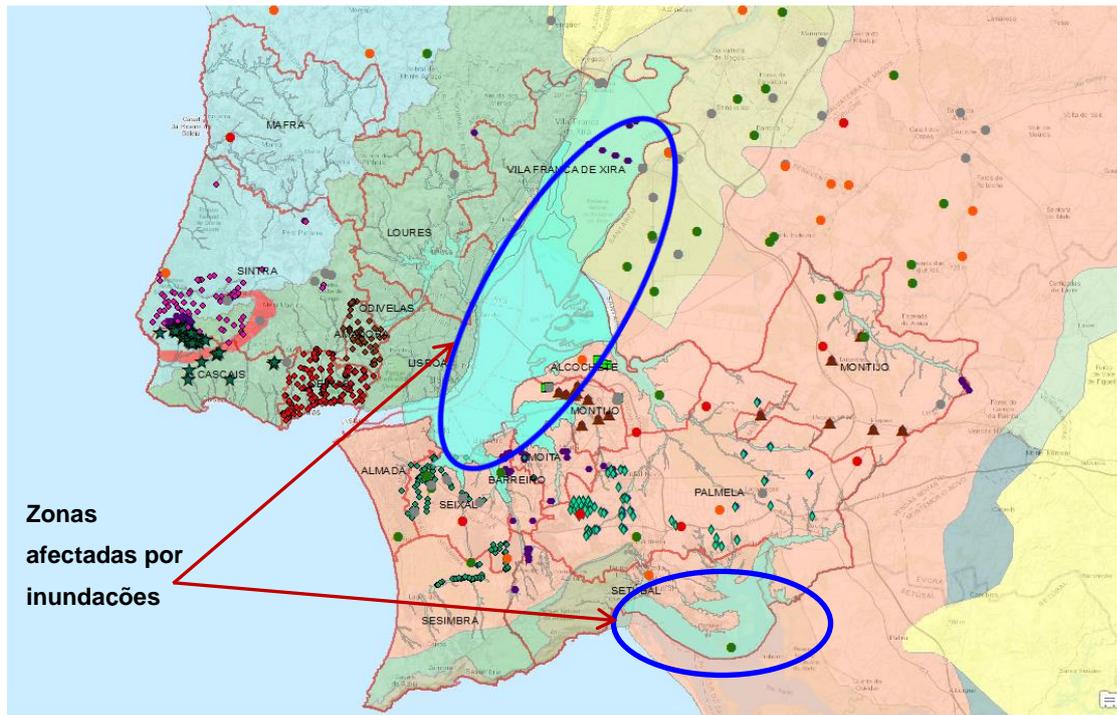


Figura 3.9 – Áreas inundáveis no estuário do Tejo

Fonte: informação georreferenciada do PMAAC

Nos litorais de arriba, a questão da intrusão salina é por via de regra irrelevante para o abastecimento. Nestes litorais o recuo da linha de costa é dominado pela erosão, o que depende da subida do nível do mar e das características geológicas e tectono-estruturais das arribas. Dado que na generalidade do litoral de arriba não ocorrem captações relevantes nos níveis aquíferos ao nível do mar ou subjacentes, pode considerar-se pouco relevante a intrusão salina neste tipo de litorais.

### 3.1.1 Situação atual de adaptação às alterações climáticas

Em Portugal, e de acordo com APA (2016), os modelos climáticos prevêem uma redução da precipitação na Primavera, Verão e Outono de 20 a 40%, variações que aliás são conformes com a evolução das normais climáticas de 1941-1970 versus 1971-2000. Segundo a mesma fonte, alguns modelos prevêem uma subida da precipitação no Inverno devido ao aumento dos eventos de precipitação intensa, eventos estes que, no geral, não contribuem significativamente para a recarga dos aquíferos. O aumento da temperatura prevista por estes modelos (cf. Portal do Clima; <http://portaldoclima.pt/en/>) e que foi calculado por PMAAC-AML (2018b) em  $+0,5^{\circ}\text{C}$  a  $+0,9^{\circ}\text{C}$  por década. Esta modificação térmica, aliada às alterações no regime de ventos, humidade atmosférica e radiação solar, potencia um aumento da evapotranspiração, o que tem como consequência a redução da recarga.

Como se pode deduzir do acima exposto, as condições climáticas são determinantes para a localização dos níveis de água, condições de fluxo e funcionamento geral dos aquíferos e volumes sustentavelmente exploráveis. A natureza, estrutura, dimensão e funcionamento do aquífero é também determinante na resposta aos eventos de precipitação e consequente estabilidade dos níveis de água

e caudais de exploração. Assim, aquíferos porosos de grande dimensão tendem a responder de forma diferida mais ou menos longa aos eventos de precipitação, com respostas muito atenuadas no tempo e no espaço, mas aquíferos cársicos desenvolvidos têm uma resposta quase imediata, levando a grandes oscilações dos níveis de água e caudais de nascentes.

Sendo que as alterações climáticas afectam as distribuições temporais e espaciais, durações e intensidades dos eventos de precipitação e afectam a evapotranspiração (e em consequência o volume de água no solo que não chega a alcançar os aquíferos) compreender os estímulos climáticos determinantes para o funcionamento e alteração do funcionamento dos aquíferos é o primeiro passo para a análise da sua sensibilidade e vulnerabilidade climática.

No PMAAC o foco na análise dos impactos, vulnerabilidades e riscos gerados pelas alterações climáticas incidiu essencialmente nos eventos extremos. No entanto os eventos extremos, embora de grande capacidade destrutiva, são apenas uma das consequências das alterações climáticas e as variações de longo prazo das variáveis climáticas e subida do nível do mar são tão ou mais importantes que estes eventos, e causam danos avultados, embora o seu tipo de manifestação raramente chame a atenção pública dado seu carácter mais paulatino<sup>2</sup>. A alteração das médias climáticas altera a resiliência dos sistemas naturais e a protecção que estes poderiam oferecer face aos eventos extremos. Os sistemas aquíferos fazem parte deste tipo de sistemas naturais para os quais os estímulos climáticos mais importantes são, tal como já referido anteriormente:

- **Varição média das variáveis climáticas** – afecta a recarga média do aquífero e deste modo as disponibilidades hídricas médias. Uma quebra acentuada da recarga pode levar à secagem de nascentes, poços pouco profundos, reduzir os caudais captados em galerias, ou levar ao abandono dos furos. A importância deste estímulo climático é definida pela variação das recargas entre a actualidade e os cenários futuros. Áreas actualmente em condições de sobre-exploração (definidas pela evolução histórica das piezometrias) tenderão a ser muito susceptíveis a condições de redução da recarga. As relações hidráulicas entre aquíferos e massas de água superficiais são também afectadas. No PMAAC a variação média das variáveis climáticas foi traduzida pelas componentes: (1) alterações na escala sazonal da precipitação e (2) alterações na escala sazonal da temperatura.
- **Eventos extremos: secas** – conduz a uma redução temporária da recarga, o que se traduz numa descida mais acentuada dos níveis piezométricos, o que é ainda agravado pelo facto de nestas condições as águas subterrâneas tenderem a ser mais exploradas para suprirem os recursos hídricos em falta. Pode ter impactos graves nas captações (secagem de nascentes, poços, galerias, inutilização de furos) mas sendo um evento de curta duração à escala temporal a que em regra funcionam os aquíferos, os seus efeitos são apenas temporários e o aquífero

---

<sup>2</sup> É por exemplo o que ocorre em várias áreas litorais dos EUA, em que as cheias por efeito de maré têm vindo a aumentar a sua frequência e extensão (<https://www.sciencenews.org/article/sunny-day-high-tide-floods-are-rise-along-us-coasts>) de que é especial exemplo o sul da Flórida que, sofre inundações frequentes durante as marés altas devido à subida do nível do mar, que desde 1952 registou já, nalgumas zonas nessa região, subidas de 18 cm (<https://www.sciencenews.org/article/top-five-us-coastal-cities-risk-flooding-rising-sea-levels>).

recupera de modo mais ou menos completo, durante o período húmido pós-seca. No entanto, no caso de se evoluir para um clima onde as secas possam apresentar maior frequência, duração e intensidade, a capacidade de recuperação dos aquíferos pode ser afectada originando rebaixamentos progressivos dos níveis piezométricos. Os eventos de secas são identificados pelo índice SPI.

- **Estímulos não climáticos mas resultantes das alterações climáticas: subida do nível do mar** – resultante da acção combinada de: (1) aumento da temperatura dos oceanos por acumulação do excesso de energia térmica atmosférica, (2) degelo das calotes polares, da Groenlândia e das zonas de neves eternas e glaciares (ex.: Himalaias), (3) alteração dos regimes de chuvas e escoamento superficial, (4) embora não directamente resultante das alterações climáticas, a alteração nas taxas de exploração dos aquíferos (Wada et al., 2012). A subida do nível do mar tem impactos sobre os recursos hídricos subterrâneos, originando: (a) degradação da qualidade deste recurso devido ao avanço da intrusão salina e (b) perda de volume de armazenamento por submersão das zonas costeiras conjugado com o avanço da cunha salina. A consequência é a salinização das captações litorais e seu abandono. A evolução do nível do mar é avaliada pelos registos de longo prazo dos marégrafos e os impactos desta evolução sobre os aquíferos pela evolução das salinidades e/ou cloretos conjugada com os referidos registos dos marégrafos.

Os demais eventos extremos considerados no PMAAC – ondas de calor, ondas de frio, gelo/geada/neve, granizo, ventos fortes, tempestades/tornados/trovoadas ou precipitação excessiva concentrada – não têm relevância para os sistemas aquíferos.

Relativamente às cheias, e tal como já referido, parecem existir alguns estudos a apontar a possibilidade de impactos sobre as águas subterrâneas, em particular na migração de poluentes do meio superficial para o subterrâneo, podendo talvez mesmo estender a área da contaminação para lá do expectável em situações de não cheia (Wang et al 2015; Koeniger & Leibundgut, 2000). No entanto os estudos relativos a estes processos estão ainda pouco desenvolvidos e os dados existentes para a AML não permitem estabelecer uma relação concreta entre as cheias e a evolução das concentrações de poluentes nos sistemas aquíferos desta região. Por esta razão os impactos das cheias e vulnerabilidades dos sistemas aquíferos a estas foram pouco analisadas.

Os estímulos climáticos afectam um conjunto de valores do sistema natural e antrópico, que no caso das águas subterrâneas são os aquíferos e respectivas relações hidráulicas entre estes e as massas de água superficiais. Esta afectação é traduzida por:

- **Alterações nos caudais e regimes de funcionamento de:** Nascentes e Galerias/minas
- **Alterações nos caudais e profundidades de extracção de:** Furos e Poços
- **Alterações na qualidade das águas subterrâneas**
- **Alterações nos regimes de recarga de e descarga para as massas de água superficiais,** com consequentes alterações nos caudais de base dos rios.

Dados os impactos das alterações climáticas sobre os diferentes sectores sócio-económicos, incluindo a saúde e a segurança de pessoas e bens, além dos impactos sobre os recursos hídricos, e sendo que nesta fase da evolução do aquecimento global, as medidas de mitigação de emissões não são já suficientes para precaver os impactos deste aquecimento, é fundamental desenvolver e aplicar de imediato estratégias de adaptação. Estas terão de ser adaptativas devido às incertezas climáticas – ex. a eventual ocorrência de *tipping points* ou de uma maior velocidade da evolução do aquecimento global e subida do nível do mar, face à prevista pelos modelos climáticos – e ao facto de que normalmente os decisores se fundamentam em previsões de curto prazo. Como as alterações climáticas são um processo incremental, no curto prazo parece sempre haver mudanças pequenas e se a adaptação contemplar tais mudanças as estratégias de adaptação poderão ser deficitárias a médio prazo. É assim necessário avaliar periodicamente a eficácia destas medidas de adaptação e reformulá-las sempre que estas não se mostrem suficientemente eficazes.

Para adaptar é portanto necessário desenvolver estratégias de adaptação e planos de adaptação e, mais importante, **implementá-los de facto no terreno**. Na área da Área Metropolitana de Lisboa, a preocupação com as alterações climáticas tem expressões claramente variáveis de concelho para concelho, sendo de destacar a ausência de estratégias de adaptação na quase totalidade dos concelhos da Margem Sul do Tejo, situação que é partilhada por 4 concelhos da margem Direita (Figura 3.10).

Dado que as alterações climáticas são inevitáveis e já um facto da nossa vida actual é necessário estabelecer estratégias de adaptação às alterações climáticas no que concerne aos recursos hídricos, os quais suportam os consumos de todas as restantes actividades económicas. Para tal faz-se necessário conhecer as respectivas vulnerabilidades às alterações climáticas, o que exige o conhecimento da sensibilidade destes recursos às alterações climáticas e dos impactos que estas originem (cf. Figura 2.7).

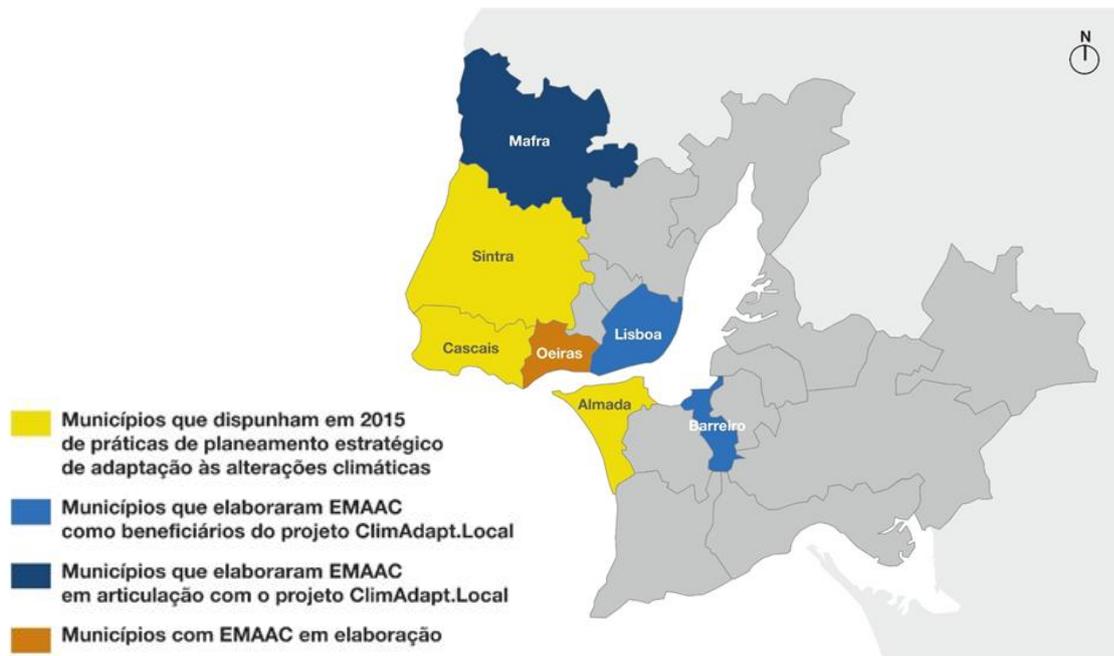


Figura 3.10 – Concelhos da AML com planos de adaptação às alterações climáticas

Fonte: PMAAC-AML (2018)

### 3.2 Águas subterrâneas e abastecimentos na Área Metropolitana de Lisboa

Conforme referido nos sub-capítulos 2.4 e 3.1, existem 4 sistemas aquíferos, três de natureza porosa e um de natureza cársica, e 3 áreas de baixo interesse aquífero devido à sua baixa produtividade mas que podem ter interesse para o abastecimento de actividades sócio-económicas ao nível local (Quadro 3.3). Como se pode verificar das Figura 2.9 e Figura 3.11, a distribuição dos sistemas aquíferos não é uniforme ao longo da AML. A margem esquerda é completamente ocupada pelo sistema aquífero Tejo/Sado – Margem Esquerda, que como já se referiu é o maior aquífero de Portugal, o qual extravasa para as regiões vizinhas desta área metropolitana. A este aquífero junta-se ainda a metade oriental do sistema aquífero Aluviões do Tejo, que possui também uma significativa área exterior à AML. Contudo, apesar de externas a esta área metropolitana, tais áreas contribuem para a alimentação destes aquíferos, dado que os fluxos hídricos subterrâneos regionais se orientam em direcção ao rio Tejo e áreas adjacentes. E deste modo podem de alguma forma aumentar a resiliência deste recurso.

**Quadro 3.3 – Classificação dos sistemas aquíferos e orlas indiferenciadas na Área Metropolitana de Lisboa**

<b>Massa de água</b>	<b>Tipo de Aquífero</b>
Bacia do Tejo/Sado – Margem Esquerda	Poroso
Aluviões do Tejo	Poroso
Bacia do Tejo/Sado – Margem Direita	Poroso
Pisões - Atrozela	Cársico
Orla Ocidental Indiferenciada das Bacias das Ribeiras do Oeste	Zonas de interesse aquífero à escala local
Orla Indiferenciada da Bacia do Sado	Zonas de interesse aquífero à escala local
Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Tejo	Zonas de interesse aquífero à escala local

Por seu turno a maior parte da área da margem direita é essencialmente ocupada pelos terrenos de baixa produtividade das Orlas Indiferenciadas, que apresentam apenas interesse aquífero local, em regra explorado para agricultura. As áreas ocupadas pelos sistemas aquíferos Pisões-Atrozela e Tejo/Sado – Margem Direita são bastante diminutas, pelo que a parte ocidental do sistema aquífero Aluviões do Tejo é a área aquífera de maior relevância.

Esta distribuição de sistemas aquíferos e áreas pouco produtivas condiciona o abastecimento às diferentes actividades sócio-económicas, pelo que a margem direita do Tejo é, para os consumos domésticos e outros grandes consumos, abastecida por origens de água superficial em larga medida externas à AML. Por seu turno, na margem esquerda, o abastecimento para a totalidade das actividades é de origem subterrânea e, com a excepção de Almada e Sesimbra, quase total ou parcialmente abastecidos por captações no concelho do Seixal, os pontos de captação localizam-se no mesmo concelho em que o consumo se verifica.

Esta diferente capacidade de prover às necessidades de água é reflectida pelos valores de recarga e taxas de exploração (cf. Quadro 2.2). Assim, se no cômputo global dos aquíferos e zonas indiferenciadas, a recarga (recursos renováveis) é cerca de 1 623 hm<sup>3</sup>/ano, este valor é bastante distinto entre as margens esquerda e direita. Assim a margem direita apresenta uma recarga total inferior aos 620 hm<sup>3</sup>/ano (neste valor inclui-se a recarga da orla ocidental do Sado) enquanto a recarga na margem esquerda é da ordem dos 1 006 hm<sup>3</sup>/ano. Reflectindo esta diferença de recursos hídricos renováveis – e se a média das taxas de exploração é de 37,5% para a totalidade dos sistemas aquíferos e orlas indiferenciadas da AML –, na margem esquerda a taxa de exploração é da ordem dos 38,5% enquanto na margem direita estas taxas variam entre um máximo de 60% (Aluviões do Tejo) e 17,9% (Orla Indiferenciada das Ribeiras do Oeste). A baixa taxa de exploração do sistema aquífero Pisões-Atrozela (28%) será devida à sua baixa resiliência, traduzida por grandes variações na sua piezometria e caudais de nascentes, comprometendo o abastecimento regular às populações. Por esta razão, e também pelo

reduzido volume de recursos renováveis (6,34 hm<sup>3</sup>/ano), os dois concelhos em que este sistema aquífero ocorre, dependem de origens de água externas à AML. A baixa taxa de exploração das Orlas Ocidentais (cf. Quadro 2.2) reflecte o seu baixo potencial aquífero.

Se a margem direita é abastecida pela EPAL por águas superficiais externas à AML para a maior parte dos consumos, dado o baixo potencial aquífero existente na maior parte desta margem, já na margem esquerda os consumos são globalmente satisfeitos por origens subterrâneas. No entanto a taxa de exploração do sistema aquífero Tejo/Sado – Margem Esquerda é substancialmente inferior à dos sistemas aquíferos relevantes da margem direita (Aluviões do Tejo e Tejo/Sado – Margem Direita, este último explorado em profundidade), sugerindo assim uma grande resiliência na satisfação dos consumos ao nível regional. Tal resulta não apenas da grande capacidade de armazenamento sistema aquífero Tejo/Sado – Margem Esquerda não apenas devido à grande área (6920 km<sup>2</sup>) mas também espessura e conseqüente sucessão de níveis produtivos confinados. No entanto isto não significa que, a nível local não possam ocorrer problemas de sobre-exploração.

A ilustração desta situação é apresentada na Figura 3.11, onde se pode verificar, na margem direita, uma grande densidade de pontos de captação sobretudo nos concelhos de Sintra e Oeiras, que aproveitam condições hidrogeológicas mais favoráveis mas apenas capazes de fornecer pequenos consumos. Na margem esquerda todas as origens de água assinaladas na Figura 3.11 abastecem os consumos domésticos e das diferentes actividades económicas, sendo portanto as origens de água para uma grande diversidade e volume de consumos, tornando esta região independente dos abastecimentos da EPAL na sua generalidade. É aliás de verificar que a larga maioria dos pontos de captação para os abastecimentos públicos (pontos roxos, na figura) se situa precisamente na margem esquerda, ilustrando o seu grande potencial aquífero e resiliência.

Além da capacidade de armazenamento (que depende do volume e características litológicas do aquífero), a natureza do aquífero – poroso, fracturado, cársico – determina também a sua resiliência no que se refere à satisfação dos consumos. Se um aquífero poroso é em regra resiliente dadas as condições de circulação e armazenamento, embora tudo dependa da sua dimensão e permeabilidade, os aquíferos fracturados ou cársicos apresentam comportamentos altamente variáveis em função das suas características. Focando-nos nos aquíferos cársicos, se estes forem muito pouco desenvolvidos tornam-se áreas de baixo potencial aquífero e com interesse apenas para os pequenos abastecimentos locais, sendo muito pouco resilientes dada a sua reduzida capacidade de armazenamento. Quando um aquífero cársico é muito desenvolvido tende a apresentar grande potencial para suprir os abastecimentos (ex.: olhos de água do Alviela), tudo dependendo do volume de armazenamento e condições de fluxo, mas em contrapartida adquire uma grande variabilidade dos níveis de água dada a sua resposta extremamente rápida aos eventos de precipitação. Por esta razão pode tornar-se pouco fiável para o abastecimento. Se um aquífero cársico for muito fracturado e/ou desenvolvido mas que possui uma pequena área, então à variabilidade dos níveis de água (e conseqüente capacidade de abastecimento) alia-se ao reduzido volume de armazenamento e o aquífero é então altamente reactivo à variabilidade climática, em especial dos eventos de precipitação (baixa resiliência), e torna-se muito

pouco fiável para o abastecimento. Esta é a situação que se admite para o aquífero Pisões-Atrozela (pequeno aquífero, muito fracturado e desenvolvido).

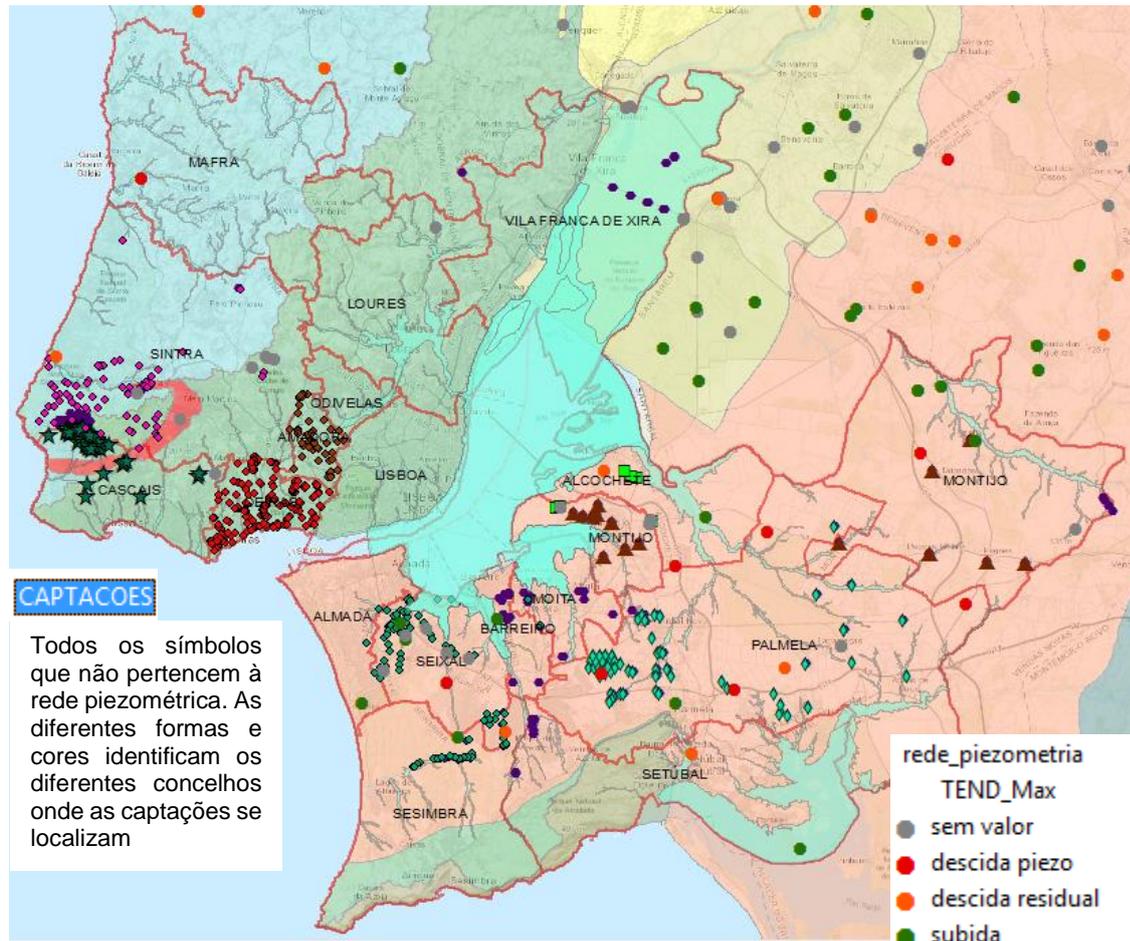


Figura 3.11 – Distribuição dos sistemas aquíferos, pontos de captação de águas subterrâneas por concelho (simbologia diferente para cada concelho) e rede WISE de monitorização da piezometria

Fonte: dados provenientes das câmaras municipais da AML no âmbito do projecto PMAAC

Além destes aspectos intrínsecos aos aquíferos, as condições climáticas são determinantes para a capacidade destes em sustentarem o abastecimento. A forma como o aquífero é explorado é também outro factor importante para a sustentabilidade dos abastecimentos a médio e longo prazo.

### 3.3 Cenários de evolução dos consumos e cargas poluentes

Quando se avalia os impactos das alterações climáticas é necessário não apenas conhecer a situação actual mas os cenários prospectivos de vários stressores dos recursos hídricos subterrâneos, como sejam os consumos e as cargas poluentes, atendendo a que estas últimas põem em risco a qualidade da água e deste modo o abastecimento proveniente destes recursos.

Dada a dificuldade de criar cenários de longo prazo (horizontes temporais de 2070, 2100) relativamente aos consumos e cargas poluentes, devido às múltiplas variáveis envolvidas e respectivo grau de incerteza, normalmente os cenários existentes referem-se ao curto prazo.

A satisfação dos consumos pelos recursos hídricos subterrâneos depende da recarga dos aquíferos. Embora existam estudos que tentam prever valores de recarga de aquíferos para 2070 e 2100, eles não se forçam na globalidade da AML, mas apenas englobam alguns concelhos desta região. Além disso, e como foi referido acima, não é apenas o volume disponível deste recurso que interessa mas a sua conjugação com os cenários de consumos. No entanto os cenários sócio-económicos para os consumos não usam integrar as alterações climáticas e na generalidade dos casos a avaliação das vulnerabilidades e riscos climáticos centra-se sobre os eventos extremos, ignorando as questões da evolução dos recursos hídricos renováveis (recarga de aquíferos) e da evolução dos consumos, mesmo sem considerar os efeitos que as alterações climáticas podem ter sobre estes últimos.

De acordo com APA (2016b) a previsão sócio-económica das tendências dos consumos em 2027 (face a 2011) para a bacia hidrográfica do Tejo e Ribeiras do Oeste, onde a AML está integrada, sem considerar os efeitos das alterações climáticas sobre estes consumos (ex.: aumento de consumos para suprir as necessidades hídricas de refrigeração dos equipamentos industriais), é apresentada no Quadro 3.4, considerando 3 cenários: (1) minimalista, *business as usual* (BAU) e maximalista.

Note-se a este propósito que na AML, de acordo com Rocha (in PMAAC-AML, 2018b) a importância relativa dos sectores acima ilustrados é a seguinte:

- **Maior importância** – urbano, agricultura e pecuária
- **Importante** – turismo, golfe, energia e navegação
- **Medianamente importantes** – indústria, pesca e aquicultura
- Considerando que a evolução sócio-económica da AML pode ter alguma divergência face à área total destas duas bacias hidrográficas (ex.: turismo na zona da AML tem tido uma expansão muito mais acelerada que noutras áreas destas bacias) e que as alterações climáticas poderão agravar esta evolução, como por exemplo no caso dos consumos humanos e pecuários, as tendências acima ilustradas deverão ser avaliadas apenas como potenciais.

Quadro 3.4 – Evolução dos consumos para o horizonte 2027 nas bacias hidrográficas do Tejo e Ribeiras do Oeste

Setor		Cenários		
		Minimalista	BAU	Maximalista
Urbano		↓	↑	↑
Agricultura e Pecuária	Regadio Total	↓	→	↑
	Regadio Coletivo	→	↑	↑
	Efetivo pecuário total	↓	↓	↓
Indústria		↓	↓	↓
Turismo	Hotelaria	↑	↑	↑
	Golfe	↑	↑	↑
Energia	Hidroelétrica	→	↑	↑
	Termoelétrica	→	→	→
Pesca e Aquicultura	Pesca	↓	↑	↑
	Aquicultura	↑	↑	↑
Navegação		↑	↑	↑

Legenda:



BAU – cenário *business as usual*

Fonte: APA (2016b)

Considerando a outra parte da questão, ou seja, as recargas dos aquíferos sob condições de alterações climáticas, o projecto BINGO avaliou para o curto prazo (horizonte temporal 2024) para os grandes aquíferos da AML (Aluviões do Tejo, Tejo/Sado – Margem Esquerda e Tejo/Sado – Margem Direita) a seguinte evolução climática (Quadro 3.5):

Quadro 3.5 – Variação da recarga para as 2 realizações climáticas e ensemble de realizações BINGO

Aquífero	Realização R1	Realização R3	Ensemble das realizações
Aluviões do Tejo	+29.4 %	-11.6 %	+0.2 %
Margem Esquerda	+37.6 %	-20.6 %	+4.2 %
Margem Direita	+49.1 %	-10.4 %	+5.4 %

Fonte: Novo et al. (2018); aus der Beek et al. (2016; 2018)

Esta alteração das recargas face aos valores do período histórico de referência (1979-2009) é traduzida em modificações da piezometria, distintas para os distintos cenários de exploração (Quadro 3.6), o que poderá ter efeitos quanto ao funcionamento das captações (captações necessitarem de serem rebaixadas) e volumes de água disponíveis para o conjunto das captações actuais. No Quadro 3.7 apresentam-se as variações piezométricas face ao período histórico de vários cenários de secas com

distintas durações, uma vez que as secas foram um dos eventos extremos considerados na análise da vulnerabilidade e risco às alterações climáticas da AML.

**Quadro 3.6 – Variação dos níveis de água para os 3 cenários climáticos BINGO**

Zonas territoriais	Variação dos níveis piezométricos face aos valores históricos (m)		
	Cenário R1	Cenário R3	Cenário Ensembles
Zonas de interflúvio	Subida < 2	Descida < 2	
Zonas de cabeceira	Subida > 5	Descida entre 2 e ≥ 10	≈ 0
Zonas sensíveis	Subida > 10	Descida > 10	

Como se pode ver, no projecto BINGO existem dois futuros alternativos no curto prazo: um onde a recarga dos aquíferos é superior à actual, o que minimiza os impactos das alterações climáticas sobre a satisfação dos consumos e outro com redução da recarga e que embora traduzido por descidas médias dos níveis piezométricos à escala regional, pode causar algum impacto sobre as captações, particularmente sobre as pouco profundas.

**Quadro 3.7 – Variação dos níveis de água para os 3 cenários de secas BINGO**

Zonas territoriais	Variação dos níveis piezométricos face aos valores históricos (m)		
	Cenário R1	Cenário R3	Cenário Ensembles
Zonas de interflúvio	Drop < 0.5	Drop ≤ 1	Drop ≤ 2
Zonas de cabeceira	Drop < 1	Drop 1 to 2	Drop ≥ 2 to 3
Zonas sensíveis	Drop 1 to 5	Drop 3 to 5	Drop 3 to > 5

Contudo a alteração da recarga e consequentes impactos na disponibilidade dos recursos hídricos é apenas uma face do problema. Outro aspecto é o de como essa disponibilidade é afectada por questões de qualidade. Assim, nas zonas costeiras, a alteração da recarga promove uma alteração da interface água doce/água salgada e em consequência do volume ocupado pela intrusão salina. Se em condições de aumento da recarga a intrusão salina devida à subida do nível do mar possa de alguma forma ser minorada (caso não haja aumento dos consumos), em condições de redução da recarga a intrusão salina expandir-se-á para o interior do continente e esta situação tenderá a ser agravada pelo eventual aumento das extracções, devido ao aumento das necessidades hídricas dos diferentes sectores sócio-económicos.

Assim, verifica-se que a intrusão salina resulta da conjugação da alteração da recarga (impacto directo das alterações climáticas), da subida do nível do mar (também motivado pelas mesmas alterações climáticas) e da resposta dos consumos face a estas alterações. Isto é especialmente relevante na AML, onde uma grande parte do litoral de areia estuarino e litoral apresenta captações de água em exploração. Como se refere no sub-capítulo 3.1, para a área metropolitana de Lisboa, as variações projectadas de subida do mar até 2100 são entre +19 e +75 cm relativamente ao actual nível do mar, o que provocará a elevação da interface água doce/salgada entre 7,5 e 30 m. Assim sendo, captações que actualmente tenham a sua base a menos de 7,5 m desta interface ficarão salinizadas, podendo mesmo captações cuja base está a distâncias muito superiores (até 30 m) serem igualmente salinizadas, tudo dependendo da taxa de subida do oceano. Captações mais profundas (significativamente abaixo da actual interface água doce/salgada) podem também ser afectadas seja por defeitos de construção que permitam infiltrações a partir de níveis mais superficiais salinizados ou por alteração das relações piezométricas entre as unidades superficiais e as profundas, permitindo a descarga das zonas salinizadas mais superficiais para estas zonas produtivas profundas.

Além da intrusão salina os impactos das alterações climáticas podem afectar outros tipos de poluição, seja via cheias, em particular as cheias rápidas, seja pela alteração do quimismo das águas devido ao aumento do CO<sub>2</sub> dissolvido e da temperatura, que irá afectar a dissolução e degradação de poluentes. Mas o factor mais importante continuará a ser a actividade humana e o esforço (ou ausência dele) para reduzir as descargas poluentes.

Tal como para os consumos também não existem, para a AML, cenários de longo prazo que prevejam a evolução quantitativa das cargas poluentes para os diferentes sectores sócio-económicos. As projecções de quanto se espera que seja rejeitado para o meio hídrico são normalmente de curto prazo (ex.: até 2027) e tais projecções foram realizadas nos Planos de Bacia do Tejo e das Ribeiras do Oeste (APA 2016c), sendo apresentados no Quadro 3.8.

Quadro 3.8 – Evolução, face a 2016, das cargas poluentes por sector económico para o horizonte 2027 na área total da bacia hidrográfica do Tejo e Ribeiras do Oeste

Sector		Projeções de cargas poluentes								
Urbano	Carga rejeitada	Cenários prospetivos e horizontes de planeamento								
		Minimalista			BAU			Maximalista		
		2015	2021	2027	2015	2021	2027	2015	2021	2027
	CBO <sub>5</sub> (t O <sub>2</sub> /ano)	27265 ↓	25728 ↓	24037 ↓	27416 ↓	26186 ↓	24830 ↓	27570 ↓	26659 ↓	25657 ↓
% de variação em relação a 2012*	-4,43 →	-9,82 ↓	-15,74 ↓	-3,90 →	-8,21 ↓	-12,97 ↓	-3,36 →	-6,56 ↓	-10,07 ↓	
*Valor de referência para o ano 2012: 28529t O <sub>2</sub> /ano										
Indústria	Carga rejeitada	Cenários prospetivos e horizontes de planeamento								
		Minimalista			BAU			Maximalista		
		2015	2021	2027	2015	2021	2027	2015	2021	2027
	CQO (t/ano)	5945 ↓	4301 ↓	3751 ↓	7658 ↓	7734 ↓	8498 ↓	8784 ↓	10719 ↑	13113 ↑
% de variação em relação a 2012*	-39,17 ↓	-55,99 ↓	-61,62 ↓	-21,65 →	-20,87 →	-13,05 →	-10,12 →	9,68 →	34,17 ↑	
*Valor de referência para o ano 2012: 9776 t/ano										
Agricultura	Carga rejeitada	Cenários prospetivos e horizontes de planeamento								
		Minimalista			BAU			Maximalista		
		2015	2021	2027	2015	2021	2027	2015	2021	2027
	N (t/ano)	11307 ↓	12544 ↓	12726 ↓	12654 ↓	13002 ↓	13512 ↑	12764 ↓	13622 ↑	14011 ↑
% de variação em relação a 2012*	-14,83 ↓	-5,51 ↓	-4,13 →	-4,68 →	-2,06 →	1,79 →	-3,85 →	2,62 →	5,55 ↑	
*Valor de referência para o ano 2012: 13275 t/ano										
Pecuária	Carga rejeitada	Cenários prospetivos e horizontes de planeamento								
		Minimalista			BAU			Maximalista		
		2015	2021	2027	2015	2021	2027	2015	2021	2027
	N (t/ano)	9138 ↓	6984 ↓	5633 ↓	10796 ↓	9855 ↓	9064 ↓	11479 ↓	11037 ↓	10477 ↓
% de variação em relação a 2012*	-22,9 ↓	-41,1 ↓	-52,5 ↓	-8,9 →	-16,9 →	-23,5 ↓	-3,2 →	-6,9 →	-11,6 →	
*Valor de referência para o ano 2012: 11853 t/ano										
Pecuária	Carga rejeitada	Cenários prospetivos e horizontes de planeamento								
		Minimalista			BAU			Maximalista		
		2015	2021	2027	2015	2021	2027	2015	2021	2027
	P (t/ano)	321 ↓	245 ↓	198 ↓	379 ↓	346 ↓	318 ↓	403 ↓	388 ↓	368 ↓
% de variação em relação a 2012*	-22,9 ↓	-41,1 ↓	-52,5 ↓	-8,9 →	-16,9 →	-23,5 ↓	-3,2 →	-6,9 →	-11,6 →	
*Valor de referência para o ano 2012: 416 t/ano										

Fonte: adaptado de APA (2016b)

### 3.4 Critérios para identificação da relevância dos recursos hídricos na Área Metropolitana de Lisboa

Embora a Área Metropolitana de Lisboa (AML) possua provavelmente o maior volume de recursos hídricos subterrâneos do país, a importância destes recursos é variável de região para região dentro da AML. Não apenas essa importância é distinta entre a margem esquerda e direita do Tejo, como se explanou acima mas também varia de concelho para concelho. Para identificar a importância relativa deste recurso por concelho, utilizou-se o seguinte conjunto de critérios:

- **Existência de captações subterrâneas no concelho** – a ausência de captações subterrâneas é uma indicação da irrelevância do recurso.
- **Importância relativa dos diferentes tipos de abastecimentos** – como regra-base considera-se que os abastecimentos domésticos/públicos são mais relevantes do que os agrícolas, os quais por sua vez serão mais relevantes do que os industriais. A relevância entre abastecimentos domésticos e industriais pode ser alterada em concelhos com predominante actividade industrial.
- **Origens da água para abastecimento doméstico/público** – a relevância depende da percentagem de abastecimento de origem subterrânea. O facto de num concelho não existirem captações para abastecimento doméstico não significa necessariamente que as águas subterrâneas não tenham relevância para o concelho, pois podem ser uma origem de abastecimento significativa para outras actividades sócio-económicas. O grau de relevância no que se refere ao abastecimento doméstico/público, é estabelecido em função de:
  - **Abastecimento totalmente suprido por recursos hídricos subterrâneos** – este recurso tem grande relevância.
  - **Abastecimento misto por recursos hídricos superficiais e subterrâneos** – a relevância da componente subterrânea é tanto maior quanto maior a sua percentagem no abastecimento.
  - **Abastecimento totalmente suprido por recursos hídricos superficiais** – no que concerne ao abastecimento doméstico este recurso não tem relevância.
- **Origens da água para abastecimento agrícola** – dependente da extensão da área agrícola no concelho e da importância do regadio de origem subterrânea. O grau de relevância no que se refere a este tipo de abastecimento é definido por:
  - **Área agrícola no concelho** – funciona como proxy para a importância económica desta actividade e em consequência a relevância deste abastecimento. Quanto menor a área agrícola, menor a relevância do abastecimento. A relevância das origens subterrâneas depende ainda de:
- **Significativo regadio de origem subterrânea** – correspondendo na maioria dos casos a parcelas agrícolas não integradas em áreas de regadio, a sua relevância depende da importância económica da actividade agrícola para o concelho/região.
- **Significativo regadio de origem superficial** – é o caso da generalidade das áreas integradas em perímetros de regadio. Neste caso a relevância das origens subterrâneas é reduzida, dado que, mesmo nos perímetros de regadio onde há algum abastecimento subterrâneo, este é sempre inferior ao do das origens superficiais.
- **Origens da água para abastecimento industrial** – a relevância das origens subterrâneas depende da importância da actividade industrial para a economia do concelho e do volume de abastecimento suprido por origens subterrâneas. Assim, se nalgumas zonas (ex.: margem esquerda do Tejo) o abastecimento é subterrâneo na vasta maioria dos casos, noutras áreas (ex.: concelho da Amadora) o abastecimento é de origem superficial e deste modo a relevância

será distinta para os dois casos. Deste modo o grau de relevância no que se refere a este tipo de abastecimento é definido por:

- **Reduzida actividade industrial** – a relevância do abastecimento será reduzida, independentemente deste ser de origem superficial ou subterrânea.
- **Significativa actividade industrial** – a relevância das origens subterrâneas depende do seu peso no abastecimento:
  - **Se o volume de abastecimento subterrâneo for significativo** – a relevância das origens subterrâneas é tanto maior quanto maior for o seu peso no abastecimento a esta actividade sócio-económica.
  - **Se o volume de abastecimento subterrâneo for reduzido ou inexistente** – as origens subterrâneas não são relevantes.

A aplicação destes critérios aos abastecimentos às diferentes actividades sócio-económicas dos concelhos da AML origina a classificação de relevância das origens subterrâneas apresentada no Quadro 3.9.

Quadro 3.9 – Relevância das origens subterrâneas para o abastecimento nos concelhos

Concelhos	Abastecimento às actividades sócio-económicas			Relevância global
	Doméstico	Agrícola	Industrial	
Alcochete	Muito relevante	Muito relevante	Muito relevante	Muito relevante
Almada	Muito relevante	Relevante	Muito relevante	Muito relevante
Amadora	Irrelevante	Pouco relevante	Irrelevante	Irrelevante
Barreiro	Muito relevante	Muito relevante	Muito relevante	Muito relevante
Cascais	Pouco relevante	Relevante	Pouco relevante	Moderadamente relevante
Lisboa	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante
Loures	Irrelevante	Algo relevante	Pouco relevante	Pouco relevante
Mafra	Irrelevante	Relevante	Pouco relevante	Moderadamente relevante
Moita	Muito relevante	Muito relevante	Relevante	Muito relevante
Montijo	Muito relevante	Muito relevante	Muito relevante	Muito relevante

Concelhos	Abastecimento às actividades sócio-económicas			Relevância global
	Doméstico	Agrícola	Industrial	

Odivelas	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante
Oeiras	Irrelevante	Algo relevante	Pouco relevante	Pouco relevante
Palmela	Muito relevante	Muito relevante	Relevante	Muito relevante
Seixal	Muito relevante	Muito relevante	Muito relevante	Muito relevante
Sesimbra	Muito relevante	Muito relevante	Relevante	Muito relevante
Setúbal	Muito relevante	Muito relevante	Muito relevante	Muito relevante
Sintra	Pouco relevante	Relevante	Pouco relevante	Moderadamente relevante
Vila Franca de Xira	Relevante (*)	Pouco relevante	Relevante	Relevante

(\*) a relevância deve-se à presença dos furos de captação de Valada/estrada do Ribatejo

### 3.5 Caracterização do estado actual dos abastecimentos, vulnerabilidade à poluição e intrusão salina por concelho da AML

Sendo que para a avaliação dos impactos, vulnerabilidades, riscos e adaptação às alterações climáticas é necessário conhecer as condições na apenas da Área Metropolitana de Lisboa em termos globais mas também ao nível concelhio, a caracterização por concelho relativa aos abastecimentos e intrusão salina é apresentada seguidamente. Embora as questões da poluição não tenham sido analisadas no PMAAC, a sua caracterização genérica é também aqui apresentada pois este é um factor importante que afecta a satisfação dos consumos.

#### 3.5.1 Alcochete

**Abastecimento:** o concelho de Alcochete está incluso no sistema aquífero Tejo/Sado – Margem Esquerda e o abastecimento para as várias actividades sócio-económicas é de origem subterrânea. O abastecimento público é suportado por um total de 7 furos de captação, existentes no concelho, cuja identificação é apresentada na Figura 3.12.

Subsistemas	Designação	Freguesias
Zona A	JK3 - Batel	Alcochete e São Francisco
	PS5 - Batel	
	FR1 - Batel	
Zona B	CBR2 - Samouco	Samouco
	FR2 - Samouco	
Zona C	CBR1 - Fonte da Senhora	Alcochete
	FR3 - Fonte da Senhora	

Figura 3.12 – Furos de captação para abastecimento doméstico no concelho de Alcochete

Fonte: <https://www.cm-alcochete.pt/pages/179>

O regadio dos espaços verdes urbanos, também de origem subterrânea, é satisfeito pelo furo JK2 na Soalheira (<https://www.cm-alcochete.pt/pages/179>), com vista a promover um maior controlo dos consumos em regas, separar a rede de abastecimento público da rede para rega e promover a poupança no tratamento da água, dado que as regas são um consumo muito menos exigente do que o doméstico/público.

Na Figura 3.13 apresenta-se o conjunto de captações para diversos fins (poços e furos) referenciadas pelo SNIRH e que é consideravelmente superior ao das captações usadas para o abastecimento público, perfazendo o total de 73 pontos de captação, distribuídos por 26 furos verticais e 47 poços. Na base de dados PMAAC estão referenciados 7 furos para abastecimento público.

Embora o sistema aquífero seja de grande dimensão e com elevado volume de recursos hídricos renováveis, a grande quantidade de furos de captação poderá, nas áreas de maior concentração de captações, potenciar condições de sobre-exploração. No entanto, na bibliografia consultada, não está referida qualquer situação que sugira a ocorrência deste problema.

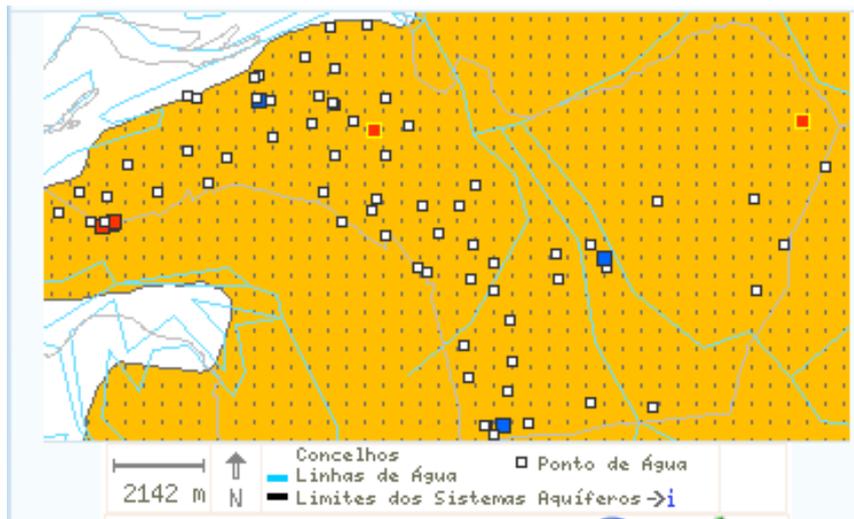


Figura 3.13 – Distribuição de furos e poços de captação no concelho de Alcochete (base de dados SNIRH)

Fonte: <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=ALCOCHETE>

**Intrusão salina:** com extensa área ribeirinha e um grande número de captações nesta zona (Figura 3.13) apresenta uma exposição à intrusão salina, pelo menos no aquífero superficial. Simões (1998) refere a ocorrência deste fenómeno. Ao longo do estuário do Tejo e zona vestibular do Tejo, a intrusão salina nas águas superficiais faz-se sentir até Vila Franca de Xira, a 50 km da barra, sendo que em regime de cheia, a salinidade da água na zona Alcochete/Poço-do-Bispo é da ordem de 10 ‰, enquanto em regime de estiagem, com os caudais dos rios reduzidos, os seus valores podem elevar-se para 25‰ (<http://www2.icnf.pt/portal/ap/r-nat/rnet/geo>). Isto significa que ao longo da zona litoral deste concelho se dá o contacto entre as unidades mais superficiais do sistema aquífero Tejo/Sado – Margem Esquerda e estas águas superficiais salinizadas.

Em profundidade, os dados de qualidade presentes em <https://www.cm-alcochete.pt/pages/181> indicam que apenas o furo FR3 tem cloretos acima de 410 mg/l e pontualmente outros furos (JK3 e FR1) podem apresentar valores acima dos 200 mg/l para os cloretos. Contudo, sem dados da localização destes furos e historial de evolução dos níveis de água, é difícil determinar se estes casos de salinização se devem a intrusão salina ou terão outras origens.

**Vulnerabilidade à poluição:** o concelho de Alcochete encontra-se incluso na Zona Vulnerável do Tejo, definido pela Portaria nº 164/10 (cf. <https://dre.pt/application/file/a/611853>). É assim uma zona vulnerável à poluição de origem agrícola e que poderá ver as cargas poluentes que a afectam sofrer significativas evoluções face às alterações climáticas, devido não apenas a medidas de controlo da poluição mas a modificações nas cargas fertilizantes (e de fitossanitários) devido às modificações nos calendários vegetativos e adequação/inadequação das espécies cultivares. A pecuária é uma fonte poluente particularmente significativa neste concelho, de acordo com Lobo-Ferreira et al. (2011).

### 3.5.2 Almada

**Abastecimento:** o concelho de Almada está incluso no sistema aquífero Tejo/Sado – Margem Esquerda, e o abastecimento para as várias actividades sócio-económicas é de origem subterrânea. No entanto o abastecimento doméstico provém maioritariamente de origens externas ao concelho, localizando-se 93% das captações de abastecimento no concelho do Seixal, na zona de Belverde e Santa Marta de Corroios (<http://www.smasalmada.pt/web/portal/abastecimento-de-agua1>; Cised Consultores et al., 2003). Assim, as vulnerabilidades do abastecimento a Almada dependem em muito das vulnerabilidades dos recursos hídricos subterrâneos no concelho do Seixal. Esta situação será devida ao facto de que a recarga calculada para a área do concelho de Almada, no período 1981 – 2011, ter sido de 5,4 hm<sup>3</sup>/ano (Figura 3.14), embora seja de admitir disponibilidades hídricas um pouco mais elevadas devido ao escoamento subterrâneo vindo de áreas do aquífero Tejo/Sado – Margem Esquerda externas ao concelho (Caria et al., 2013). Contudo, o volume de água captada é de 16,9 hm<sup>3</sup>/ano (SMAS Almada in <http://www.smasalmada.pt/web/portal/abastecimento-de-agua1>) ou seja, um volume de extracção em muito superior às disponibilidades endógenas desta região. Para obstar a esta potencial situação de sobre-exploração optou-se pelo abastecimento a partir de origens subterrâneas no Seixal. No entanto, neste último concelho, registou-se nalgumas captações um acentuado rebaixamento dos níveis de água, acompanhado por uma subida progressiva dos teores de cloretos (Cised Consultores et al., 2003) sugerindo a possibilidade de sobre-exploração e início de salinização dos furos, provavelmente por fluxos verticais a partir de níveis salinizados. No interior do concelho de Almada, foram reportadas na literatura situações de sobre-exploração na região da Margueira, associadas às antigas instalações da LISNAVE durante a década de 1990 (Caria, 2012). Contudo, em 1999, grande parte destas captações foram desactivadas, cessando a sobre-exploração, mas, devido à inércia do sistema aquífero, os seus efeitos demoraram algum tempo a desaparecer; porém actualmente estes efeitos foram já consideravelmente reduzidos (Caria, 2012). Por seu turno, no mesmo concelho, segundo a mesma autora, as áreas da Aroeira e Porto Brandão, com o seu grande número de furos, podem ser vulneráveis à sobre-exploração.

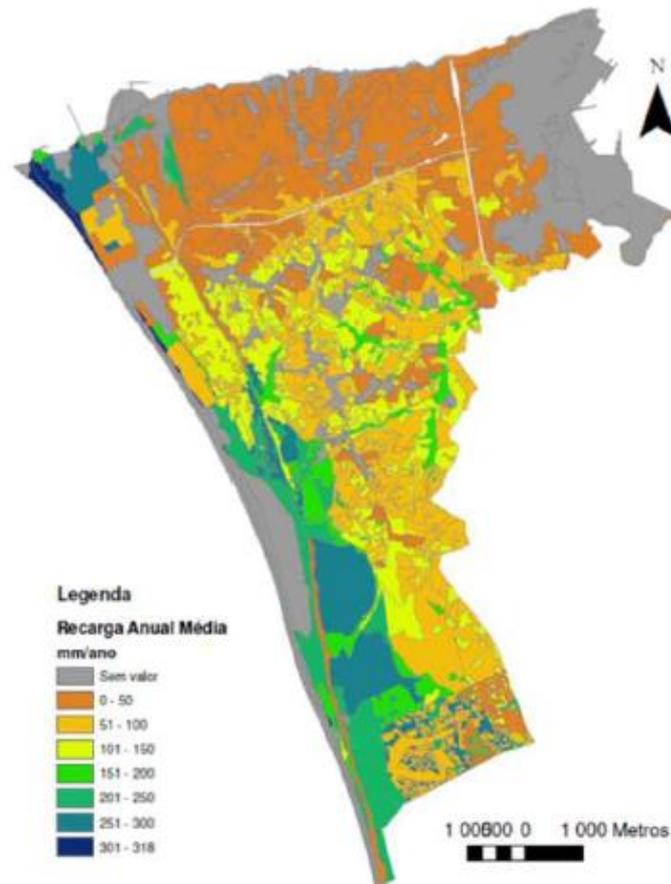


Figura 3.14 – Recarga anual média estimada no concelho de Almada entre 1/10/1981 e 30/9/2011

Fonte: Caria (2012)

Na base de dados SNIR estão referenciados 35 pontos de água, correspondentes a 16 furos verticais e 19 poços (Figura 3.15). Na base de dados PMAAC, apenas estão referenciados 2 pontos de água para abastecimento público mas no concelho do Seixal existem 32 captações para abastecimento ao concelho de Almada. O número de captações existentes será superior ao conjunto de pontos cadastrados por estas bases de dados, registando-se a Aroeira e Porto Brandão como áreas de mais elevada densidade de furos e poços (Caria, 2012).

Apesar deste sistema aquífero possuir um elevado volume de recursos hídricos renováveis, e portanto ser à partida pouco susceptível à exploração, a densidade elevada de pontos de captação (furos e poços; cf. Figura 3.15) em certas áreas podem promover o rebaixamento acentuado dos níveis de água (Caria, 2012). Há ainda a considerar, no que se refere aos recursos hídricos subterrâneos renováveis, o problema da expansão urbana que, por impermeabilização dos terrenos, leva a uma redução local da recarga (Caria, 2012). Esta autora identificou como zonas de forte expansão urbana as de Aroeira e dos Capuchos, onde este problema se poderá vir a colocar, exacerbando as condições para a sobre-exploração. Contudo as consequências desta sobre-exploração poderão ser mitigadas pela transferência lateral de água das zonas envolventes. No entanto esta situação poderá, no caso de existirem fontes poluentes que hajam já contaminado o aquífero nestas zonas envolventes, promover a propagação da poluição delas originária.

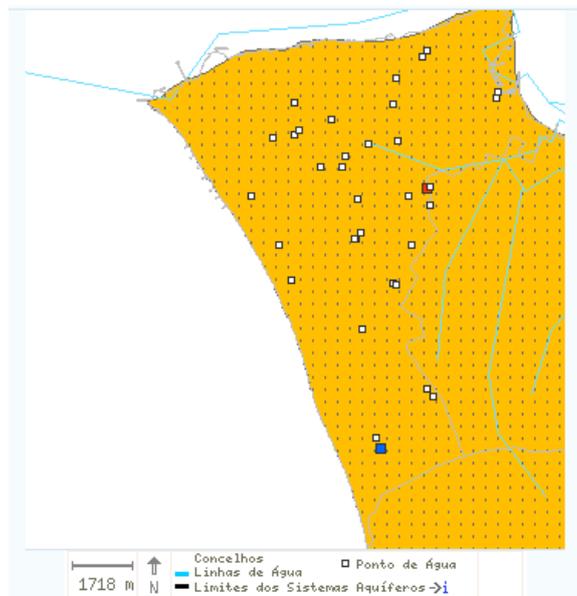


Figura 3.15 – Distribuição de furos e poços de captação no concelho de Almada (base de dados SNIRH)

Fonte: <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=ALMADA>

**Intrusão salina:** Almada apresenta um litoral de arriba no estuário e um de praia e arriba recuada na zona costeira atlântica. A intrusão salina dos aquíferos é um fenómeno da zona litoral, que depende da conjugação do nível do mar e sua evolução, da permeabilidade dos aquíferos e das taxas de exploração dos mesmos. Dadas as litologias existentes e a alta densidade de captações em certas regiões da zona costeira almadense, admite-se que nos litorais de areia, em particular na zona costeira Oeste, onde estas captações são mais comuns, a possibilidade de ocorrência de intrusão salina seja mais elevada.

No litoral de arriba (embocadura e zona interior do estuário), a possibilidade de ocorrência será pouco significativa não apenas pelo reduzido impacto do recuo da linha de costa como pelo facto de nestas zonas as captações não usarem captar no nível aquífero em contacto directo com o oceano. No entanto algumas zonas, tais como a área de descargas do Pragal e sobretudo na zona interior do estuário onde ocorre grande densidade de instalações fabris, portuárias e urbanas, a exploração de níveis aquíferos mais profundos pode potenciar situações de contaminação salina por descargas do aquífero superficial, caso este esteja ou venha a estar afectado por intrusão salina. Com efeito, ao longo de 20 anos observou-se o avanço da cunha salina, que se iniciou na Margueira e em 2012 fora já detectado na Quinta da Bomba (Noronha et al., 2012). Note-se que, apesar da grande distância entre estas duas localidades e das condições litorais distintas (Quinta da Bomba situa-se no litoral baixo silto-arenoso a leste da baía do Seixal e Margueira em litoral de arriba), este avanço pode resultar da conjugação da captação de água nos níveis superficiais e sub-superficiais do sistema aquífero Tejo/Sado – Margem Esquerda, ao longo da zona litoral conjugada com a subida do nível do mar.

De acordo com Ervideira et al. (2013), a zona entre Cova do Vapor e Descida das Vacas, alguns poços poderão estar afectados por intrusão salina e esta é uma das preocupações do SMAS de Almada ([http://www.edia.pt/folder/galeria/ficheiro/230\\_Almada\\_9gh6omvms7.pdf](http://www.edia.pt/folder/galeria/ficheiro/230_Almada_9gh6omvms7.pdf)). Com efeito, Ferreira (2012), para a região da Costa da Caparica, identificou um conjunto de 7 furos com teores de cloretos acima

de 200 mg/l (Quadro 3.10), e com pelo menos o furo F3A (Figura 3.16) com valores de 1054 mg/l. Embora os resultados dos teores de cloretos e sódio sugiram uma mistura com água do mar ou aerossóis marinhos dissolvidos nas águas de recarga, ou mesmo de circulação em depósitos marinhos, apenas 4 furos (F3A, F6A, P8A e P15A) parecem indicar mistura com águas marinhas, o que poderá indiciar situações efectivas de intrusão salina. Estudos de geofísica realizados pelo mesmo autor sugerem a possibilidade de intrusão salina na zona da Praia do Pescador. Já a modelação matemática realizada no mesmo estudo coloca a actual interface da intrusão salina a cerca de 50 m da linha de costa; para um cenário pessimista de subida do nível do mar de 1,5 m e redução de 42% da precipitação média actual, esta interface avança cerca de 20 m para o interior, ou seja, situar-se a cerca de 70 m da actual linha de costa, e os níveis piezométricos no aquífero descem cerca de 1,5 m.

Quadro 3.10 – Composição hidroquímica de águas na zona litoral da Caparica (Almada)

Ref. Amostra	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Dureza (mg/l)
P1A	27,2	8,4	61,2	27,31	40,4	238,0
P2A	45,7	9,7	92,5	63,2	65,6	266,4
P3A	489,0	81,7	1053,5	947,4	1646,8	2648,4
P4A	153,0	18,1	139,6	227,6	393,2	628,1
P5A	43,2	7,8	85,0	56,8	52,0	222,0
P6A	227,0	29,8	489,4	415,1	916,6	1254,2
P7A	151,6	26,8	252,8	161,6	417,8	662,1
P8A	384,5	9,2	862,4	475,0	1067,4	1632,3
Ref. Amostra	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Dureza (mg/l)
P9A	173,0	51,8	362,2	428,5	492,9	864,1
P10A	74,2	25,3	156,8	160,2	167,8	390,1
P11A	67,8	15,2	143,1	39,7	122,8	330,1
P12A	49,8	11,4	114,6	36,6	87,8	302,1
P13A	107,4	79,1	217,9	205,1	195,2	414,1
P14A	24,8	6,9	60,2	54,2	50,3	268,0

P15A	179,5	15,9	382,3	515,9	874,1	1384,2
P16A	88,8	18,9	119,6	123,8	217,2	390,1

Adaptado de: Ferreira (2012)

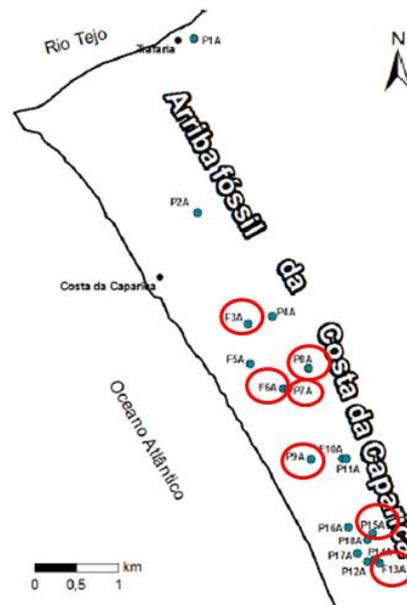


Figura 3.16 – Litoral da Costa da Caparica e furos com teores de cloretos acima de 200 mg/l de cloretos (círculos a vermelho)

Adaptado de: Ferreira (2012)

**Vulnerabilidade à poluição:** dado o tipo de litologias, os passivos ambientais das zonas industriais, fossas sépticas de 2% da população, rupturas nas redes de águas residuais domésticas e pluviais, actividade agrícola e intrusão salina ([http://www.smasalmada.pt/web\\_portal/sistema-de-drenagem](http://www.smasalmada.pt/web_portal/sistema-de-drenagem); [http://www.m-almada.pt/portal/page/portal/AMBIENTE/RECUR\\_HIDR\\_EFLU/?amb=0&actualmenu=4823202&ambiente\\_rec\\_hid\\_eflu=12908809&cboui=12908809](http://www.m-almada.pt/portal/page/portal/AMBIENTE/RECUR_HIDR_EFLU/?amb=0&actualmenu=4823202&ambiente_rec_hid_eflu=12908809&cboui=12908809)), o aquífero superficial é vulnerável à poluição e o aquífero profundo, explorado para abastecimento, sê-lo-á em zonas onde haja furos com construção deficiente. Casos detectados de poluição foram identificados na zona dunar entre a Cova do Vapor e a Descida das Vacas, onde ocorrem elevados valores de nitratos devido às hortas da região (Ervideira et al., 2013). Como o concelho de Almada depende das captações subterrâneas no concelho do Seixal para abastecer os seus consumos domésticos/públicos, os problemas de poluição que possam afectar este abastecimento têm ainda de contar com a susceptibilidade à poluição que exista ou venha a existir no concelho do Seixal.

### 3.5.3 Amadora

**Abastecimento:** o concelho da Amadora está incluso na Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Tejo, que embora em termos globais apresente baixa a alta produtividade, é dominado sobretudo por formações de baixa produtividade (<https://www.apambiente.pt/zdata/PoliticAs/Agua/ParticipacaoPubli>

[ca/Documentos/ARHTejo/PBHRO/3\\_PBHROeste\\_Extenso\\_FichasDiagnostico.pdf](#)). No caso do concelho da Amadora estas formações são pouco produtivas pelo que o potencial aquífero da região é pouco significativo, sendo o abastecimento urbano satisfeito pelas das captações da EPAL (GPDEIG/CMO, 2013), externas ao concelho e em larga medida à AML. A eventual exploração de águas subterrâneas, muito residual, dirige-se ao abastecimento de parcelas agrícolas que ainda subsistam no concelho. Na base de dados do SNIRH, não são registadas quaisquer captações subterrâneas. Na base de dados do PMAAC, a distribuição das captações apresenta-se na Figura 3.17.

**Intrusão salina:** sendo o concelho da Amadora um concelho de interior, sem qualquer contacto com o estuário do Tejo ou o litoral, não tem vulnerabilidade à intrusão salina.

**Vulnerabilidade à poluição:** devido às litologias presentes, a vulnerabilidade será moderada na zona norte e baixa na zona sul ([http://www.cm-amadora.pt/images/TERRITORIO/INFORMACAO GEOGRAFICA/PDF/TRAB\\_ACADEMICOS/relatorio\\_caract\\_fisica\\_inundacoes\\_amadora.pdf](http://www.cm-amadora.pt/images/TERRITORIO/INFORMACAO GEOGRAFICA/PDF/TRAB_ACADEMICOS/relatorio_caract_fisica_inundacoes_amadora.pdf)). As eventuais captações subterrâneas para agricultura que ainda possam subsistir no concelho estarão expostas à poluição pelas práticas agrícolas na sua envolvente.

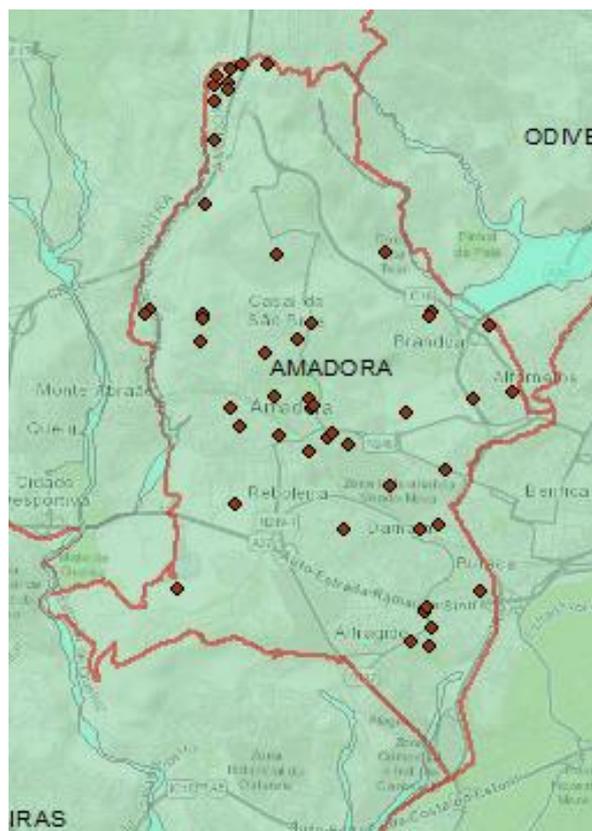


Figura 3.17 – Captações no concelho da Amadora, segundo a base de dados do PMAAC

### 3.5.4 Barreiro

**Abastecimento:** o concelho do Barreiro está incluído no sistema aquífero Tejo/Sado – Margem Esquerda e o abastecimento doméstico é exclusivamente de origem subterrânea (CM Barreiro, 2013),

sendo o abastecimento doméstico suprido por 11 furos de captação (profundidades entre 263,5 m e 305,0 m) (Engidro, 2010). Segundo o mesmo autor, o volume total de água captada no concelho do Barreiro estima-se que cerca de 45% do caudal de exploração corresponda às captações da Câmara Municipal do Barreiro.

O abastecimento industrial à Quimiparque era também de origem subterrânea na zona ribeirinha do Barreiro (Zeferino, 2016) embora actualmente muitas destas captações estejam desactivadas. Em 2016, de acordo com este autor, a Quimiparque – sita na zona ribeirinha – possuía 4 furos em funcionamento, 2 desactivados e planeava iniciar a exploração em 2 novos furos. Tanto os furos para abastecimento doméstico como para abastecimento industrial captam nas formações da base do Pliocénico/Topo do Miocénico, embora alguns furos mais profundos captem formações do Miocénico Médio/Inferior (Engidro, 2010). A exploração de águas subterrâneas na zona industrial de Coina é mal conhecida.

A base de dados SNIRH regista um conjunto de 18 pontos de água, dos quais 12 são furos e 6 poços (Figura 3.18). A base de dados PMAAC regista 11 furos de abastecimento público, que deverão corresponder aos referenciados por Engidro (2010).

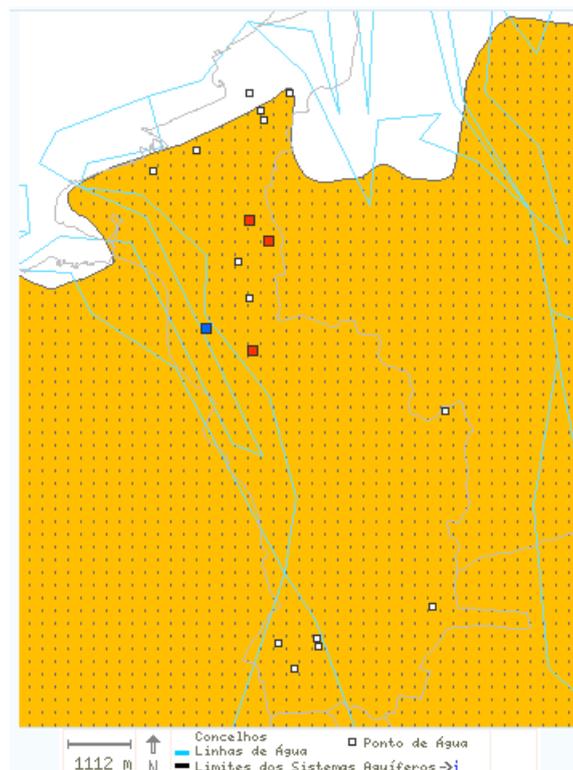


Figura 3.18 – Distribuição de furos e poços de captação no concelho do Barreiro (base de dados SNIRH)

Fonte: <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=BARREIRO>

Embora o sistema aquífero em questão seja de grande dimensão e em princípio pouco vulnerável à sobre-exploração, a recarga na zona ribeirinha do Barreiro e envolvente é de cerca de 2 153 m<sup>3</sup>/dia e as extracções da ordem de 54 838 m<sup>3</sup>/dia (Zeferino, 2016). Se se considerarem apenas os recursos endógenos do concelho, esta será uma situação de sobre-exploração, só parcialmente mitigada pelos

fluxos de água originários das zonas aquíferas envolventes. Esta sobre-exploração, embora menos intensa que no passado, causou na região ribeirinha uma descida acentuada dos níveis de água no aquífero semi-confinado, explorado pela maioria das captações. Esta descida dos níveis, sendo que o aquífero semi-confinado está subjacente ao aquífero superficial, promoveu a descarga deste aquífero – que se encontra em conexão hidráulica com o estuário do Tejo – para o aquífero semi-confinado (Zeferino, 2016). Daqui resulta que tanto o aquífero superior como inferior são vulneráveis à sobre-exploração.

**Intrusão salina:** considerando as litologias na zona litoral, a densidade de captações, os volumes de extracção actuais e passados, e os problemas de sobre-exploração, a zona litoral do concelho do Barreiro apresenta uma susceptibilidade elevada à intrusão salina. Esta susceptibilidade não afecta apenas o aquífero superficial – em contacto directo com o rio Tejo – mas também o aquífero intermédio. No aquífero superficial as águas têm elevada salinização (Zeferino, 2016), e em níveis mais profundos (relativos a furos com 110 m de profundidade sitos no aquífero intermédio) registaram-se valores de cloretos de 16 000 mg/l, o que constitui uma salinidade elevada (Barreiras, 2009; Zeferino, 2016). Tal sugere a ocorrência de intrusão salina e ilustra a vulnerabilidade à intrusão salina para as condições actuais.

O aquífero intermédio, que inclui todos os níveis produtivos das litologias pliocénicas, embora menos vulnerável, teve descidas acentuadas do nível de água, devido à sobre-exploração (Zeferino, 2016). Com efeito, analisando as taxas de exploração e a recarga na zona ribeirinha do Barreiro, os volumes extraídos são cerca de 25 vezes superiores aos da recarga (Zeferino, 2016). Isto configura uma clara situação de sobre-exploração, apenas parcialmente compensada pelos aportes subterrâneos das áreas envolventes. Esta exploração excessiva, embora menos intensa que no passado, é traduzida por um rebaixamento acentuado dos níveis de água no aquífero intermédio e uma inversão dos potenciais piezométricos entre o aquífero superficial e este último. Nestas circunstâncias, o aquífero superficial descarrega sobre o aquífero intermédio, conforme a unidade aquífarda entre ambos seja mais ou menos permeável, transmitindo a este último águas salinizadas e, deste modo, uma intrusão salina “diferida”. Ou seja, devido ao excesso de exploração, este aquífero intermédio foi atingido pela intrusão salina e consequentes problemas de qualidade da água. Indício de que a intrusão salina poderá já estar a ocorrer, é a tendência de subida continuada dos teores de cloretos entre 2000 e 2014 em 2 furos e eventos repetidos de cloretos acima dos VMR noutra furo (Zeferino, 2016).

A modelação matemática realizada por Zeferino (2016) confirma este processo, visto sugerir que a zona de alimentação dos furos da Quimiparque explorando o aquífero intermédio se situa abaixo do estuário do Tejo, com o qual o aquífero superficial está em contacto directo. Assim, o aquífero superficial, salinizado, poderá ceder, nesta área, água para o intermédio, o que no referido modelo matemático é potenciado pelo desequilíbrio piezométrico devido à exploração precisamente deste último aquífero (Zeferino, 2016).

**Vulnerabilidade à poluição:** este concelho não se encontra abrangido pela Zona Vulnerável do Tejo mas, dadas as litologias presentes, deve considerar-se de vulnerabilidade moderada a alta no aquífero superficial e moderada no aquífero intermédio. Além da poluição agrícola, há focos poluentes

industriais, mesmo se em áreas desactivadas, dada a persistência da poluição retida nos solos (CM Barreiro, 2013).

### 3.5.5 Cascais

**Abastecimento:** o concelho de Cascais é ocupado pela Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Tejo, pela Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia das Ribeiras do Oeste, que ocorre no sector W deste concelho e pela metade sul do sistema aquífero Pisões-Atrozela, na sua região NW. Este sistema aquífero, de natureza cársica e o mais produtivo da região, é partilhando com o concelho de Sintra; tem contudo um pequeno volume de armazenamento pelo que a sua capacidade para suportar um abastecimento regular de larga escala é reduzida. Estas Orlas Ocidentais (incluindo o maciço de Sintra) têm potencial hidrogeológico variável, regra geral baixo a moderado, podendo apresentar boas características de exploração apenas localmente. Por estas razões, o abastecimento público ao concelho é realizado maioritariamente pela EPAL, que supre cerca de 90% das necessidades de abastecimento público do concelho, a partir de captações externas ao mesmo (Oliveira et al., 2010; Moreira et al., 2015). Os 10% de abastecimento público remanescente são abastecidos por origens superficiais (ex.: rio da Mula), furos de captação de águas subterrâneas Atrozela e Pisão (ambos localizados no sistema aquífero Pisões-Atrozela), Pau Gordo, Cardosas, Quinta da Marinha e Biscaia e pelas minas da Malveira e de Vale de Cavalos, fornecendo um total de 2,4 hm<sup>3</sup>/ano (Oliveira et al., 2010). Os furos de captação são explorados sobretudo durante o Outono e o Inverno, verificando-se uma diminuição da sua exploração mensal entre Maio e Outubro, com os furos sites no sistema aquífero de Pisões-Atrozela a contribuírem com 44% do volume total explorado no concelho durante o Inverno; no Verão este valor baixa para 29% devido à descida dos níveis piezométricos e consequente degradação da qualidade da água (Oliveira et al., 2010). Ainda segundo os mesmos autores as minas contribuem com apenas cerca de 5% do volume total captado para abastecimento público.

As captações privadas, de origem subterrânea, são exploradas sobretudo para rega, indústria e regadio de campos de golfe, sendo desconhecido o número real de captações ou os volumes totais por elas captados (Oliveira et al., 2010).

Na base de dados SNIRN estão registados 39 pontos de água, num total de 37 furos e 2 nascentes (Figura 3.19). Na base de dados PMAAC estão referenciados 94 pontos de captação, identificados como captações para abastecimento público/doméstico, muitos deles situados na região da Serra de Sintra (Figura 3.20).

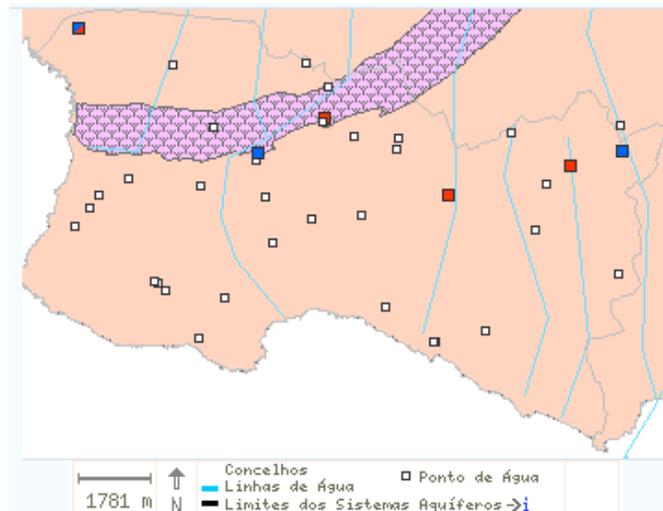


Figura 3.19 – Distribuição de furos e poços de captação no concelho de Cascais (base de dados SNIRH)

Fonte: <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=CASCAIS>

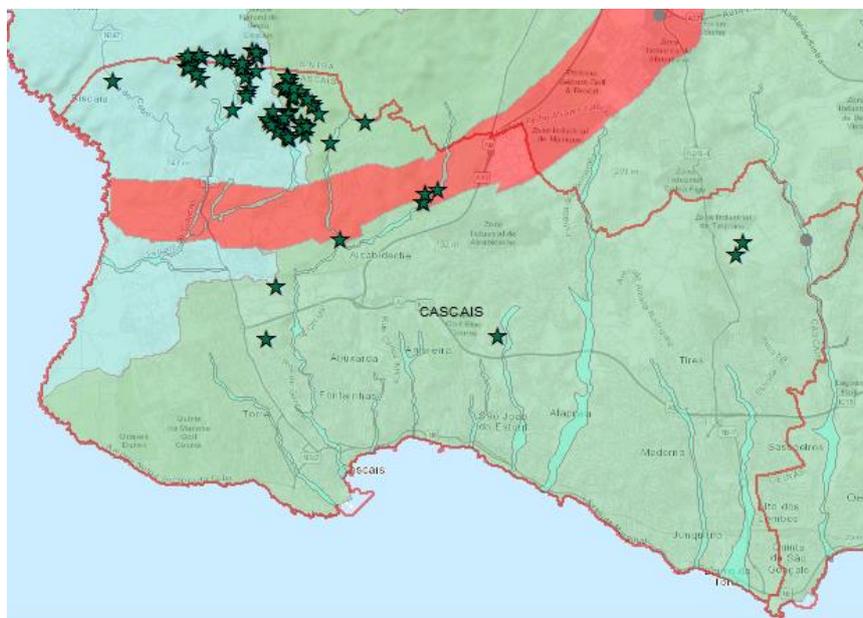


Figura 3.20 – Distribuição de furos e poços de captação no concelho de Cascais (base de dados PMAAC)

No caso das regas os principais consumidores são os campos de golfe e os espaços verdes públicos e privados (Oliveira et al., 2010). Estes mesmos autores contabilizaram o volume total de água extraída para irrigação dos campos de golfe num intervalo entre 0,15 hm<sup>3</sup>/ano e 0,55 hm<sup>3</sup>/ano. Na Figura 3.21 apresenta-se a distribuição dos espaços verdes campos de golfe e furos licenciados neste concelho.

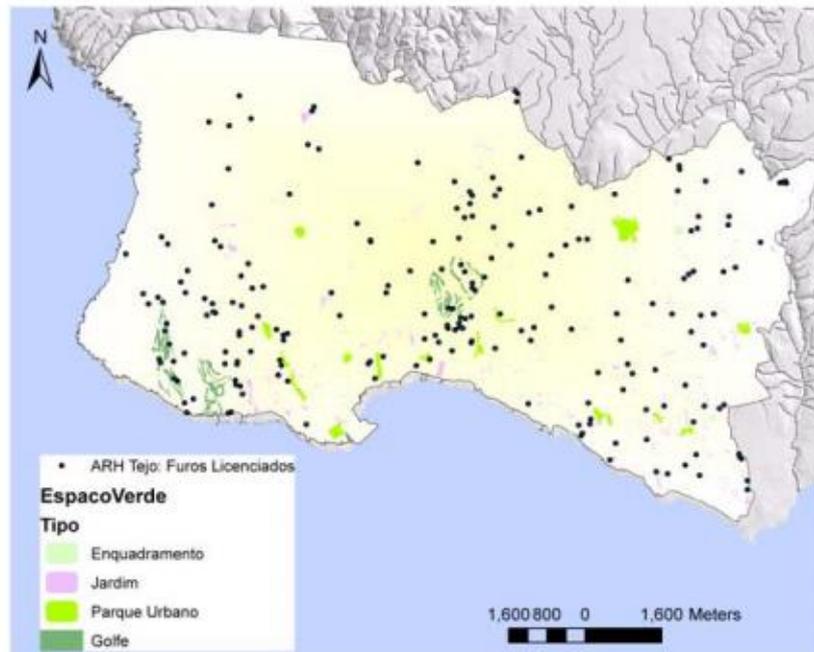


Figura 3.21 – Distribuição dos espaços verdes, campos de golfe e furos licenciados no concelho de Cascais

Fonte: Oliveira et al. (2010)

Considerando as características hidrogeológicas das Orlas Ocidentais, estas apresentarão uma média a alta susceptibilidade à sobre-exploração. No caso do sistema aquífero Pisões-Atrozela, o facto deste ter um pequeno volume de armazenamento de recursos hídricos renováveis e estes serem rapidamente descarregados para o exterior por via da circulação cársica, torna-o susceptível tanto à estiagem (o que se reflecte aliás na variação sazonal dos volumes de água captados) como à sobre-exploração. Além disso, este sistema está fortemente fracturado (Figura 3.22), com muitas destas fracturas preenchidas por argilas e filões alterados, dificultando a circulação da água entre diferentes sectores do sistema aquífero (Carvalho 2000, in Oliveira et al., 2010), o que dificulta a alimentação lateral a áreas que estejam sob maior exploração, que em consequência ficam mais susceptíveis aos efeitos de estiagem e eventualmente sobre-exploração. Deve contudo referir-se que até à data do estudo de Oliveira et al. (2010), o sistema aquífero Pisões-Atrozela não se encontrava em sobre-exploração. Com efeito, estes autores referem que a recarga anual do sistema aquífero na área incluída no concelho de Cascais é de cerca 555 mm/ano ( $\approx 2,1 \text{ hm}^3/\text{ano}$ ) ao passo que as extracções nele verificadas (reportadas ao ano de 2008) foram de  $0,99 \text{ hm}^3/\text{ano}$ . Um aumento dos volumes de extracção e/ou uma gestão menos cuidada no futuro podem, no entanto, vir a gerar situações de sobre-exploração.

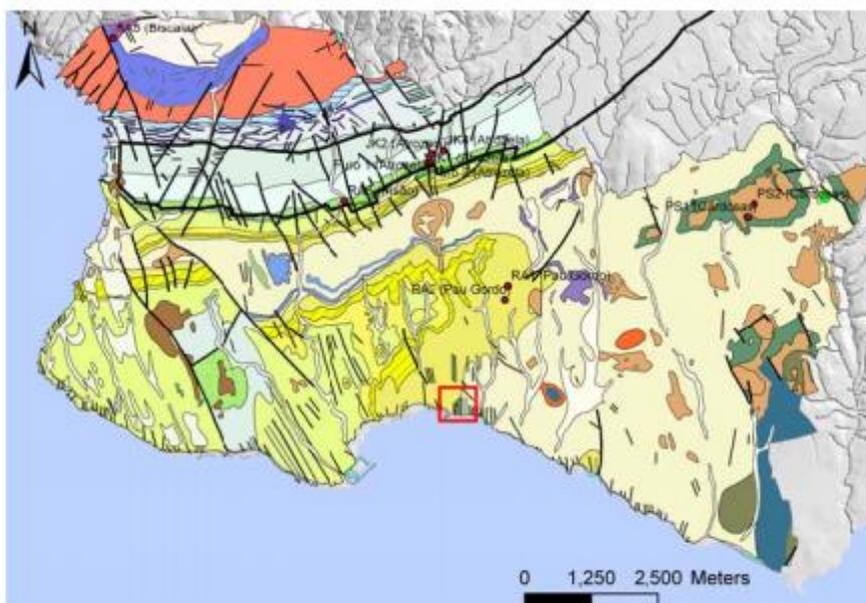


Figura 3.22 – Distribuição da fracturação no sistema aquífero Pisões-Atrozela e formações envolventes, com localização da zona termal do Estoril (quadrado a vermelho)

Fonte: Oliveira et al. (2010)

Há ainda a referir a existência na zona do Estoril de 2 nascentes termais (cf. Figura 3.22), conhecidas desde o séc. XVII, cujas temperaturas são de 10 a 15°C mais elevadas que as águas regionais, variando entre os 30° C na nascente do Estoril e os 26° C na nascente da Poça (Mendonça et al., 2004 in Oliveira et al., 2010). É ainda referida por estes autores a existência nesta zona de 5 furos com profundidades de captação entre os 70 e 260 m, que registam temperaturas das suas águas de até 35,5° C. Este é um recurso que deve e merece ser acautelado.

**Intrusão salina:** o litoral do concelho de Cascais é essencialmente de arriba, com pequenas zonas de litoral de areia na zona frontal destas. Normalmente, neste tipo de litorais, com propensão para desmoronamentos dependente do tipo de litologias que os constituem e estrutura tectónica, não é comum a ocorrência de captações que explorem profundidades abaixo do nível do mar. Deste modo, será pouco vulgar encontrar situações favoráveis ao avanço da intrusão salina neste tipo de litorais. No entanto, em litorais de arriba de pouca altura, a ocorrência de pontos de captação que captem abaixo do nível do mar já é mais comum, dada a menor profundidade de perfuração até encontrar níveis hidrogeológicos produtivos.

No caso do concelho de Cascais, o litoral sul tem uma densa ocupação urbana, o que levou à instalação de furos/poços de captação em várias propriedades privadas e poderá ter potenciado a ocorrência de intrusão salina. Já no litoral oeste a ocupação urbana é bastante diminuta e este problema não deverá ter ocorrido. Taborda et al. (2010) afirma que o recuo das arribas tem velocidades médias bastante baixas. No entanto os recuos podem ser significativos no caso de derrocadas e os mesmos autores assinalam valores de recuo máximo, para o período entre 1942 e 2008, entre 5,3 e 21 m (Quadro 3.11). Tal situação conduz, na ausência de exploração, a uma estabilidade relativa da interface água doce/salgada e conseqüentemente à estabilidade da intrusão salina.

Quadro 3.11 – Recuo do litoral de arriba no concelho de Cascais

Sector do litoral	Comprimento da arriba (km)	Área horizontal perdida (m <sup>2</sup> )	Velocidade média de recuo (m/ano)	Recuo local máximo (m)
S. Julião – Praia das Avencas	2,2	108	0,0007	5,3
Praia das Avencas – Bafureira	1,2	675	0,010	6,3
Praia São Pedro – Forte de Sto. António SE	1,4	341	0,003	7,0
Forte de Sto. António SE – Praia da Crismina	9,3	171	0,0003	6,2
Praia da Crismina – Ponta da Abelheira	4,3	313	0,0009	6,1
Ponta da Abelheira – Biscaia W	3,2	682	0,003	25

Fonte: Taborda et al. (2010)

Assim, dadas as velocidades de recuo das zonas de arriba, as litologias envolvidas, a ocupação humana e a possível ocorrência associada a essa ocupação de pontos de captação subterrânea explorados no passado ou ainda actualmente na zona litoral considera-se que:

- **No litoral oeste** – apesar de uma maior velocidade de recuo das arribas e conseqüente avanço do mar para o interior, a ausência de captações subterrâneas que captem a profundidades não muito abaixo do nível do mar leva a considerar esta zona como de baixa susceptibilidade à intrusão salina.
- **Zona litoral do sistema aquífero Pisões-Atrozela** – dada a natureza cársica das formações a sua susceptibilidade pode ser considerada como moderada.
- **No litoral sul** – a presença de vários pontos de captação ao longo deste litoral que poderão estar a captar em níveis pouco abaixo do nível do mar (cf. Figura 3.21) leva a admitir uma susceptibilidade média a alta.

No entanto, sem informação adequada sobre a evolução temporal dos níveis piezométricos nem sobre a qualidade das águas nestas captações, situação que já era referida em Taborda et al. (2010), não é possível caracterizar quaisquer situações de intrusão salina que hajam ocorrido ou estejam a acontecer.

**Vulnerabilidade à poluição:** APA (2012) classificou o aquífero Pisões-Atrozela em mau estado qualitativo devido aos valores de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, pesticidas, As, Pb, Hg, Ni, e respectivos compostos, apontando como fontes prováveis desta contaminação os campos de Golfe (Quinta da Beloura e talvez Penha Longa), fossas sépticas, indústrias de produtos metálicos e Autódromo do Estoril. Oliveira et al. (2010) referem que neste mesmo sistema aquífero, assim como numa captação na zona da Biscaia, sita em gabros e dioritos, as águas aí captadas apresentam durante certas alturas do ano (ex.: Verão) teores de Fe e Mn acima dos estabelecidos para o consumo humano pelo Decreto-Lei 241/2001. Esta poluição, embora de origem natural, leva ao encerramento periódico das captações para abastecimento público, sitas nestes locais. Na restante área do concelho, que compreende as Orlas Ocidentais do Tejo e das Ribeiras do Oeste, não existem valores referenciados na bibliografia, pelo que não é possível

identificar as ocorrências eventuais de poluição de águas subterrâneas. Considerando as litologias envolvidas é de admitir uma vulnerabilidade média a baixa para a generalidade da região e alta no sistema aquífero Pisões-Atrozela. Moreira et al. (2015) apresentaram uma avaliação de vulnerabilidade à poluição segundo o índice EPPNA (Figura 3.23), e que considera o sistema aquífero Pisões-Atrozela como de vulnerabilidade média a baixa.

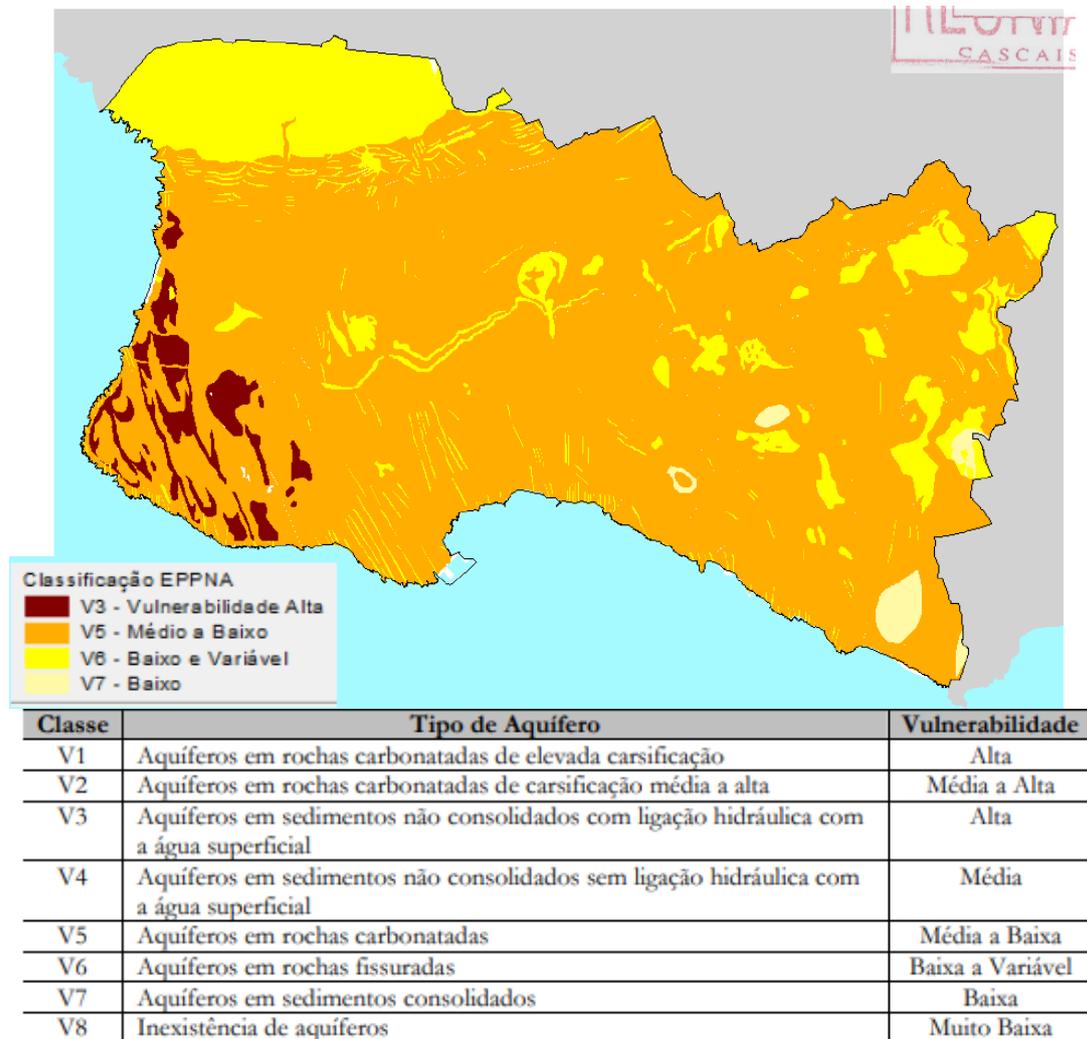


Figura 3.23 – Vulnerabilidade dos aquíferos à poluição segundo o índice EPPNA

Fonte: adaptado de Moreira et al. (2015) e Romeiro (2012)

### 3.5.6 Lisboa

**Abastecimento:** o concelho de Lisboa encontra-se incluído na Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Tejo e o seu consumo é abastecido pela EPAL. Contudo, na zona de Lisboa existem numerosas captações de águas subterrâneas de diversos tipos – poços, furos, minas, galerias, cisternas, etc. – concentradas sobretudo na (1) Formação das Argilas e Calcários dos Prazeres, (2) Formação de Benfica e (3) Complexo Vulcânico de Lisboa (Ribeiro et al, 2017). Segundo os inventários da APA e EPAL estas captações estão na sua maioria abandonadas, sendo a exploração residual que se verifica

usada para regas (Ribeiro et al, 2017). Ainda segundo os mesmos autores, das 2 326 captações inventariadas pela APA e EPAL (Figura 3.24), apenas 7 são usadas para abastecimento público, havendo várias outras usadas para rega (Ribeiro et al., 2017), desconhecendo-se o número de inactivas. A base de dados SNIRH tem registado um total 15 captações, localizadas na sua maior parte na zona de Xabregas. Na base de dados do PMAAC não estão registados quaisquer pontos de captação subterrânea.

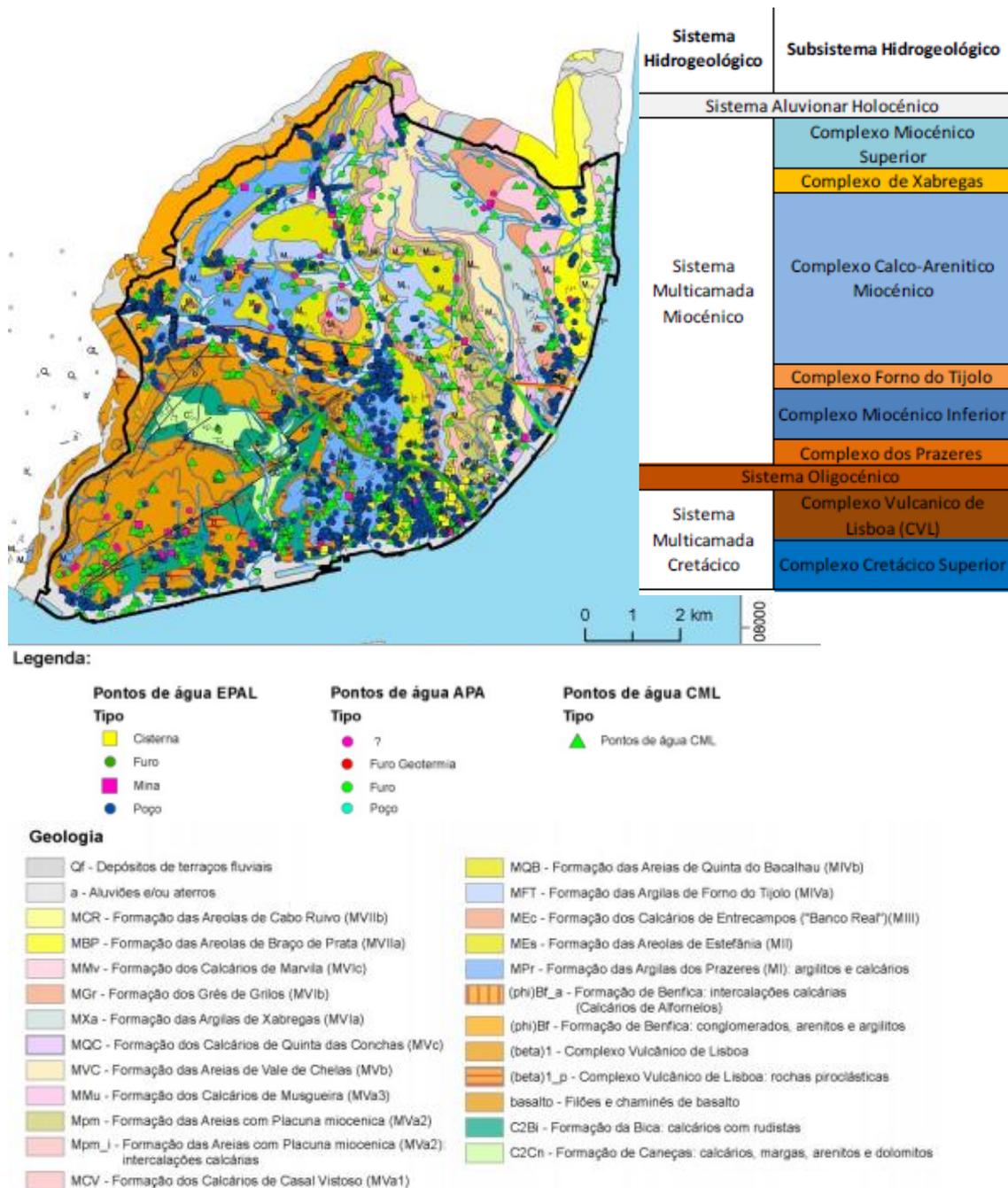


Figura 3.24 – Mapa hidrogeológico da cidade de Lisboa com distribuição dos pontos de captação de águas subterrâneas

Fonte: Ribeiro et al. (2017)

No Quadro 3.12 apresentam-se as características hidrogeológicas das formações onde há captações. Na Figura 3.25 apresentam-se as unidades hidrogeológicas tal como definidas por Ribeiro et al. (2017).

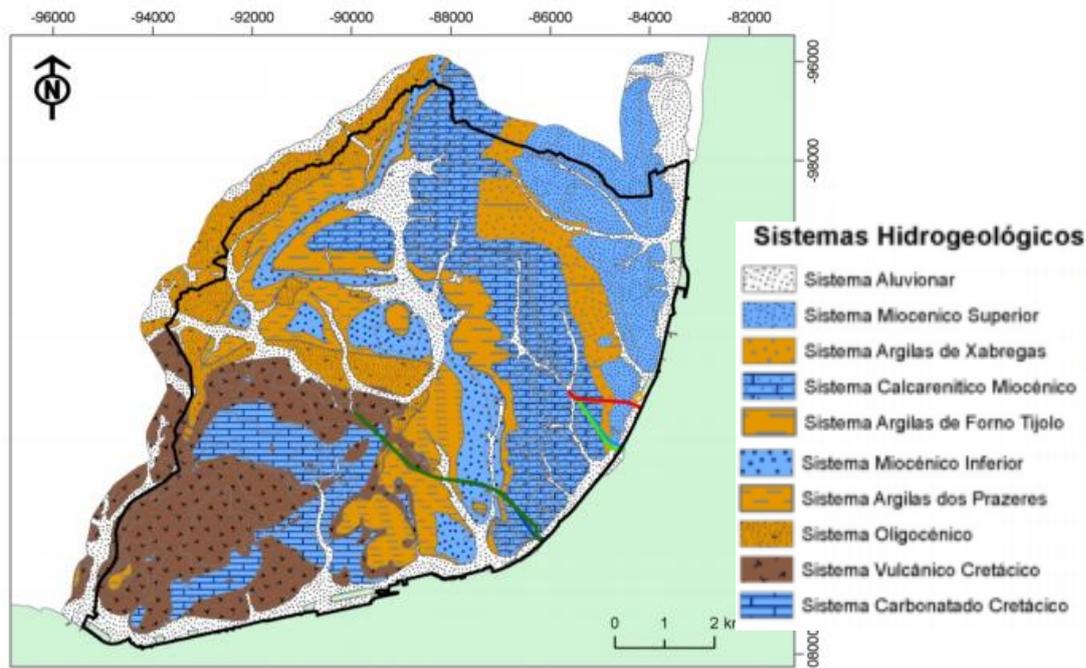


Figura 3.25 – Mapa dos sistemas hidrogeológicos no concelho de Lisboa

Fonte: Ribeiro et al. (2017)

No Quadro 3.13 apresenta-se o inventário das captações conhecidas. No entanto, e apesar dos inventários citados, os volumes de água captados são mal conhecidos (Teixeira et al., 2018), o que dificulta a identificação de eventuais problemas de sobre-exploração.

Deve no entanto admitir-se que a recarga local seja reduzida, dada a grande impermeabilização da superfície, pelo que mesmo pequenos volumes de extracção poderão, nas unidades mais superficiais, originar rebaixamentos acentuados, indicadores da susceptibilidade à sobre-exploração destas unidades produtivas.

Quadro 3.12 – Características hidrogeológicas das formações da cidade de Lisboa

Sub-sistema hidrogeológico	Comportamento hidrogeológico	Permeabilidade	Produtividade
Aluvionar	Aquífero livre	Alta	Média
Complexo Miocénico Superior	Aquífero livre a confinado	Alta	Alta
Complexo de Xabregas	Aquitardo	Baixa	---
Complexo Calco-Arenítico Miocénico	Aquífero livre a confinado	Média a alta	Média a alta $Q= 2$ a $10$ l/s; $q_s = 1$ a $2$ l/s*m
Complexo Forno do Tijolo	Aquitardo	Baixa	---

Complexo Miocénico Inferior	Aquífero livre a confinado	Média	Média
<b>Sub-sistema hidrogeológico</b>	<b>Comportamento hidrogeológico</b>	<b>Permeabilidade</b>	<b>Produtividade</b>
Complexo dos Prazeres	Aquitardo	Baixa	---
Sistema Oligocénico	Aquitardo	Baixa	---
Complexo Vulcânico de Lisboa	Aquitardo	Baixa a média	Baixa a média Q = 0,1 l/s
Complexo Cretácico Superior	Aquífero confinado a semi-confinado	Média a alta	Média a alta

Q = caudal;  $q_s$  = caudal específico

Fonte: Ribeiro et al. (2017)

**Intrusão salina:** dada a ligação hidráulica entre as formações aquíferas de Lisboa e o estuário do Tejo, provavelmente ao longo de toda a frente ribeirinha mas claramente identificada na foz da ribeira de Alcântara é de admitir uma alta probabilidade de ocorrência de intrusão salina em condições naturais. Com efeito, na zona da foz da ribeira de Alcântara, não só os níveis de água em furos e piezómetros são influenciados pela maré (o que indica uma ligação hidráulica directa com o estuário) como ocorre salinização elevada nestes piezómetros ao longo de toda a coluna de água (Leitão et al., 2009). Na zona da Expo, embora existam diversos furos (<https://snirh.apa.ambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=LISBOA>) que poderão registar provavelmente uma situação semelhante, o desconhecimento sobre o funcionamento e quimismo dos mesmos, impede a avaliação deste processo nessa área. Nas demais zonas ribeirinhas de Lisboa não existem dados para avaliar esta questão.

Quadro 3.13 – Tipos de usos abastecidos por águas subterrâneas em Lisboa

Tipo de Uso	Inventário EPAL	
	N.º de captações	Percentagem (%)
Abastecimento doméstico	4	0,2
Abastecimento doméstico e lavagem	3	0,1
Abastecimento doméstico e rega	57	2,8
Abastecimento doméstico e alimentação de gado	1	0,1
Abastecimento público	6	0,3
Abastecimento público e lavagem	1	0,1

Tipo de Uso	Inventário EPAL	
	N.º de captações	Percentagem (%)
Alimentação	38	1,8
Alimentação de gado	5	0,2
Alimentação de gado e lavagens	3	0,1
Alimentação de gado e rega	12	0,6
Alimentação de gado, lavagem e rega	4	0,2
Alimentação e alimentação de gado	1	0,1
Alimentação e industrial	4	0,2
Alimentação e lavagem	22	1,1
Alimentação e rega	55	2,7
Alimentação, alimentação de gado e rega	2	0,1
Industrial	74	3,6
Industrial e lavagem	11	0,5
Industrial e rega	4	0,2
Lavagem	395	19,1
Lavagem e rega	470	22,7
Rega	467	22,5
Outros	434	20,9
Total	2073	100

Fonte: Ribeiro et al. (2017)

**Vulnerabilidade à poluição:** segundo Ribeiro et al. (2017) existe alguma contaminação por nitratos, tendo identificado 22 pontos com valores superiores ao VMR (=55 mg/l). As concentrações de nitratos, nitritos e saturação em oxigénio sugerem que as condições de confinamento dos níveis aquíferos são pontuais, associadas à presença de níveis argilosos. A temperatura das águas é próxima da temperatura média anual, seguindo as oscilações térmicas sazonais, sugerindo que são águas pouco profundas e curto tempo de residência, no caso dos níveis aquíferos com recarga directa da

precipitação (Ribeiro et al., 2017). Estas características apontam portanto para uma vulnerabilidade à poluição média a alta, só parcialmente moderada pela impermeabilização dos solos. No entanto a contaminação pode ocorrer mesmo em zonas impermeabilizadas, via infiltrações a partir de esgotos. Dada a reduzida exploração das águas subterrâneas, a sua eventual poluição apresenta actualmente um reduzido risco para a saúde pública. Contudo, o real desconhecimento da poluição, em particular no que concerne a hidrocarbonetos, fármacos e outros poluentes, não permite traçar uma caracterização adequada do problema (Partidário et al., 2011). Em caso de emergência que force parte do consumo a ser abastecido por origens internas à cidade de Lisboa, esta ausência de caracterização pode causar efeitos adversos na saúde pública.

### 3.5.7 Loures

**Abastecimento:** o concelho de Loures está incluído na Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Tejo ([https://sniambgeoviewer.apambiente.pt/Geodocs/geoportaldocs/Planos/PGRH5-TEJO/RelatorioTecnico\\_CE%5C2\\_PGRHTejo\\_Rel\\_CE\\_FD.pdf](https://sniambgeoviewer.apambiente.pt/Geodocs/geoportaldocs/Planos/PGRH5-TEJO/RelatorioTecnico_CE%5C2_PGRHTejo_Rel_CE_FD.pdf)), cujo potencial hidrogeológico é moderado a baixo. Por esta razão o abastecimento urbano realiza-se através das captações da EPAL (<http://www.epal.pt/EPAL/docs/default-source/epal/relatorio-qualidade/relatorio-de-qualidade-de-2010.pdf?sfvrsn=12>). Na base de dados SNIRH estão reportados 27 furos verticais (Figura 3.26) que deverão abastecer essencialmente regas e eventuais habitações rurais. Na base de dados do PMAAC não estão registados quaisquer pontos de captação subterrânea.

Dada a baixa a média produtividade das formações captadas, os recursos hídricos da região são susceptíveis à estiagem (nos níveis produtivos mais superficiais). São também susceptíveis à sobre-exploração pois extracções moderadas poderão levar à queda acentuada dos níveis piezométricos e uma depleção dos níveis produtivos durante períodos mais ou menos alargados, dependendo estes das litologias captadas.

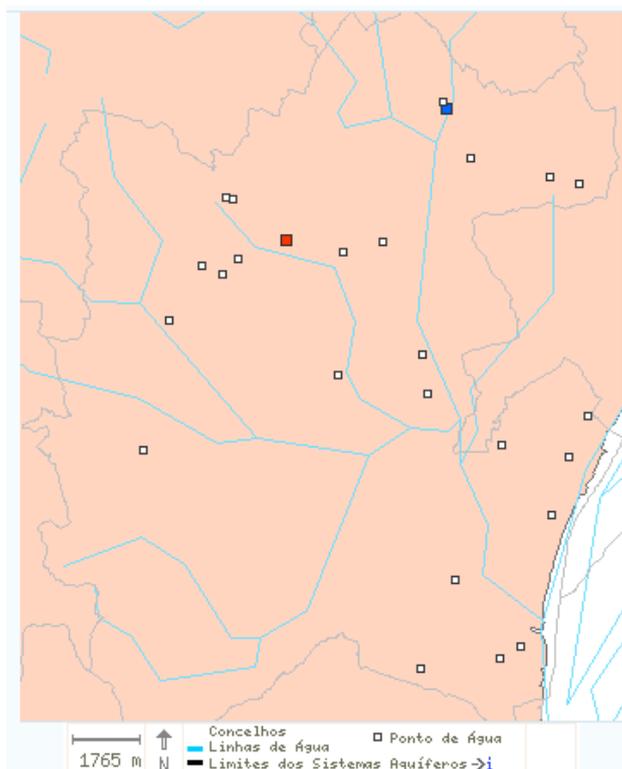


Figura 3.26 – Captações de água subterrânea no concelho de Loures (base de dados SNIRH)

Fonte: <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=LOURES>

**Intrusão salina:** na zona ribeirinha do estuário do Tejo, há a possibilidade de ocorrência de intrusão salina, o que parece ser apoiado pelo facto de na várzea de Loures os furos estarem salinizados há bastante tempo (informação oral). É possível que esta intrusão salina se deva aos equilíbrios naturais entre o estuário e os níveis aquíferos, ou a eventual ocorrência de litologias salinas que afectem as águas subterrâneas. Há também a possibilidade do sistema ter uma grande memória hidráulica e sobre-explorações passadas terem deixado um impacto que dura até hoje. A eventual recuperação das condições pré sobre-exploração fica comprometida pela subida do nível do mar. No entanto a ausência de informação sobre as captações desta região e a sua evolução hidroquímica ao longo do tempo até à actualidade não permite identificar qual processo é responsável pela salinização das captações. O facto desta salinização existir, levou os agricultores a recorrerem à água da ribeira de Loures para as suas regas, o que se tornou viável após a implementação do tratamento dos efluentes urbanos de modo a poderem ser descarregados nesta ribeira e com qualidade adequada para rega e a manutenção dos habitats ribeirinhos (comunicação oral).

Nas áreas ribeirinhas mais a norte, onde ocorrem vários núcleos industriais (<https://sig.aml.pt/portal/apps/webappviewer/index.html?id=460aaba422a7499791e7298e9a3b13f8>) poderá existir alguma intrusão salina mas a qualidade das águas subterrâneas nesta região é mal conhecida para efectivamente saber se o problema existe. É possível que, dadas as necessidades hídricas das indústrias, estas captem aquíferos confinados profundos, mais produtivos, e deste modo pouco impactem o posicionamento da interface água doce/salgada.

**Vulnerabilidade à poluição:** dada a actividade passada e presente deste concelho, exista poluição de origem industrial e urbana. Nas áreas de agricultura mais intensiva será de prever a ocorrência de poluição por nitratos e outros poluentes de origem agrícola. No entanto, como já foi referido anteriormente, o escasso conhecimento da qualidade das águas e sua evolução ao longo do tempo, torna difícil identificar claramente o estado qualitativo das águas no concelho e sua evolução ao longo do tempo. De uma forma genérica, e devido ao tipo de litologias aflorantes no concelho (cf. [https://www.cm-loures.pt/media/atlas/pdf/PDF20170719\\_175507128.pdf](https://www.cm-loures.pt/media/atlas/pdf/PDF20170719_175507128.pdf)), é de admitir que a vulnerabilidade à poluição seja moderada a baixa, o que não inviabiliza a eventual ocorrência de áreas muito poluídas.

### 3.5.8 Mafra

**Abastecimento:** o concelho de Mafra está incluso na Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia das Ribeiras do Oeste e apenas o seu extremo oriental se inclui na Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Tejo. As Orlas têm potencial hidrogeológico pouco significativo, pelo que o concelho é abastecido pelas captações da EPAL e das Águas do Oeste (CML Mafra, 2013; <https://www.mafra-bewater.com.pt/pt/origens-da-agua>), tendo as captações no concelho para abastecimento urbano foram encerradas em 2008 (CM Mafra, 2013).

Já no que se refere à agricultura, o abastecimento é sobretudo de origem subterrânea, tendo as freguesias fortemente agrícolas de Sobral da Abelheira, Azueira, Enxara do Bispo, Gradil e Milharado um elevado número de poços (PROCESL, 2014). Na base de dados do SNIRH estão cadastrados 36 pontos de água que incluem furos verticais e poços (Figura 3.27). Na base de dados do PMAAC não estão restados quaisquer pontos de captação subterrânea.

Atendendo ao tipo de litologias presentes, os níveis captados podem ser vulneráveis à sobre-exploração, mas no estado actual dos conhecimentos não é possível uma caracterização mais adequada.

**Intrusão salina:** o litoral do concelho de Mafra é essencialmente um litoral de arriba com algumas pequenas angras bordeadas por litorais de areia fronteiros a arribas recuadas. A reduzida informação espacial e temporal não permite inferir da existência de intrusão salina ou da sua evolução ao longo do tempo. É de admitir, dado o tipo de ocupação do solo e litoral arenoso, que a zona da Ericeira possa ser especialmente susceptível a este processo. Considerando o tipo dominante de litoral – arriba – onde não é habitual ocorrer captação de unidades aquíferas em contacto directo com o oceano, o tipo de litologias e a quantidade de captações conhecidas no litoral do concelho (cf. Figura 3.27) é de admitir, em média, para a generalidade do litoral do concelho de Mafra, uma vulnerabilidade baixa à intrusão salina.

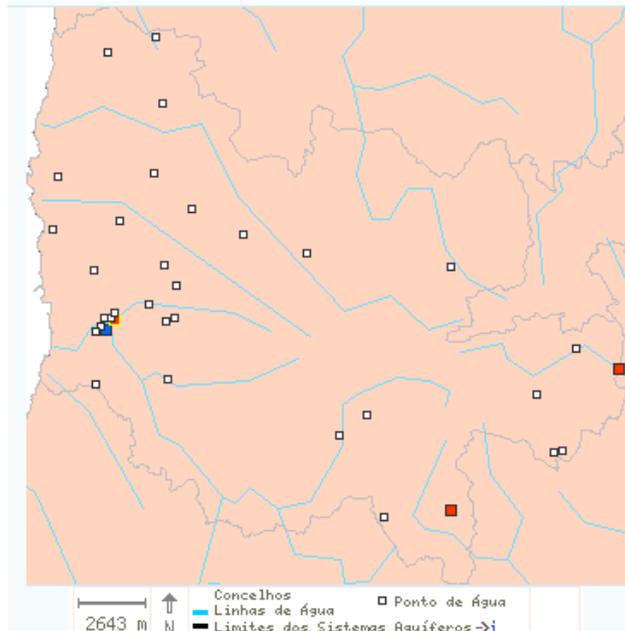


Figura 3.27 – Captações de água subterrânea no concelho de Mafra (base de dados SNIRH)

Fonte: <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=MAFRA>

**Vulnerabilidade à poluição:** devido à pouca informação disponível sobre o estado de qualidade das águas subterrâneas no concelho de Mafra não é possível definir eventuais situações de poluição ou a sua evolução ao longo do espaço e do tempo, assim como as suas características químicas. Há referências de que a poluição existente é sobretudo agrícola e de fossas sépticas (PROCESL, 2014) e a qualidade da maioria das águas é fraca, com problemas de salinidade que limitam o seu uso para fins agrícolas (CM Mafra, 2013). É de admitir que esta salinidade se deva às características geoquímicas das unidades aquíferas e não por efeito da intrusão salina, visto este último processo ocorrer apenas na zona litoral (<http://www.smas-mafra.pt/pages/1217>). Considerando o tipo de litologias aflorantes no concelho (cf. [http://www.cm-mafra.pt/sites/default/files/8\\_ren\\_mjustif\\_072015\\_0.pdf](http://www.cm-mafra.pt/sites/default/files/8_ren_mjustif_072015_0.pdf)) considera-se que a vulnerabilidade à poluição é média a localmente alta.

### 3.5.9 Moita

**Abastecimento:** o concelho da Moita está incluso no sistema aquífero Tejo/Sado – Margem Esquerda, de grande produtividade e volume de recursos renováveis, pelo que os diferentes tipos de abastecimento são exclusivamente de origem subterrânea. O abastecimento público é suprido por um conjunto de 11 furos de captação, explorados pela edilidade e que captam sobretudo os aquíferos inferiores, cujos volumes de extracção perfazem um total de 4,3 hm<sup>3</sup>/ano (<https://www.cm-moita.pt/pages/704>). A estes pontos de captação somam-se os furos e poços para abastecimento à actividade agrícola e industrial, na sua generalidade de natureza privada. Na base de dados do SNIRH estão cadastrados 36 pontos de água, predominantemente poços, sendo 15 o número de furos aí registados (Figura 3.28). Na base de dados do PMAAC são inventariados 12 furos para abastecimento público, sendo de admitir que um destes esteja desactivado.

Considerando a grande dimensão do sistema aquífero e a sua permeabilidade média, admite-se que este seja pouco susceptível à sobre-exploração e estiagem, embora os níveis mais superficiais ou de reduzida dimensão (ex.: aluviões) possam apresentar alguma susceptibilidade. É de referir porém, que a ocorrência de situações de sobre-exploração deste sistema aquífero em concelhos vizinhos (ex.: Barreiro; cf. Zeferino, 2016) deve promover acções no concelho da Moita para que este problema seja devidamente acautelado e os recursos protegidos.

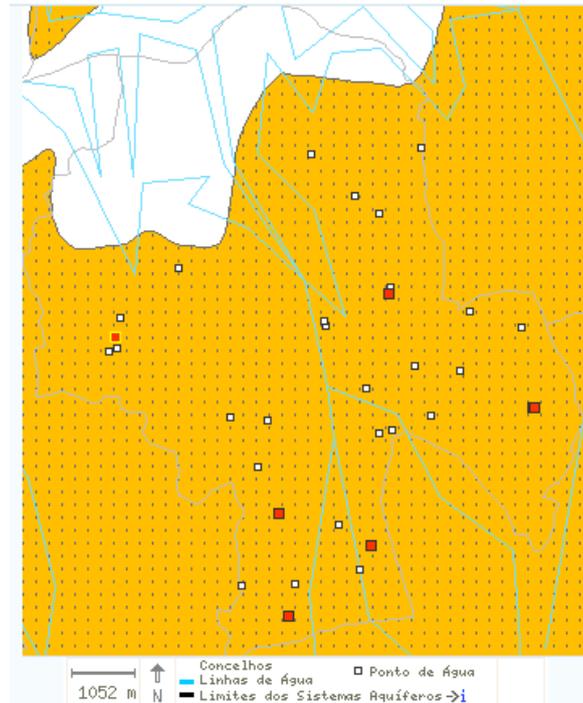


Figura 3.28 – Captações de água subterrânea no concelho da Moita (base de dados SNIRH)

Fonte: <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=MOITA>

**Intrusão salina:** não existem dados suficientes para identificar a ocorrência de eventual intrusão salina na zona ribeirinha deste concelho. No entanto, como esta zona ribeirinha tem litologias semelhantes às da zona ribeirinha do Barreiro, onde ocorre intrusão salina (Zeferino, 2016), é de admitir a existência de potencial para a intrusão salina. Contudo admite-se uma sensibilidade mais reduzida a este fenómeno do que no concelho do Barreiro não apenas por, ao invés deste, o litoral permanentemente emerso (e onde poderão existir captações) ter uma grande área de sapal entre si e o estuário, que pode funcionar como *buffer*, mas também a densidade de ocupação urbana/industrial é menos intensa. É de referir ainda a zona agrícola a Norte da vila da Moita, a qual poderá apresentar eventualmente intrusão salina nos níveis produtivos captados, por um processo similar ao descrito no Barreiro. No entanto deve de novo sublinhar-se que não existem dados suficientes para caracterizar a sua eventual ocorrência.

**Vulnerabilidade à poluição:** a poluição de origem agrícola é significativa, pelo que este concelho se encontra incluído na Zona Vulnerável do Tejo. A poluição de origem doméstica poderá ter ainda alguma presença dado a rede de saneamento não abranger cerca de 10% da população residente (<https://www.cm-moita.pt/pages/723>). É possível a ocorrência de poluição industrial sobretudo na zona

entre Arroteias, Bairro da Liberdade e Chão Duro (Figura 3.29). Considerando as litologias presentes, a vulnerabilidade à poluição é média a alta no aquífero superficial e moderada no profundo.



Figura 3.29 – Localização de indústrias e áreas de comércio no concelho da Moita

Fonte:

[https://www.google.pt/search?rlz=1C1GGRV\\_enPT751PT751&q=ind%C3%BAstria+na+moita&npsic=0&rflfq=1&rlha=0&rllaq=38659332,-8982905,1748&tbm=lcl&ved=0ahUKEwjziaWJ8K3c%20AhWGzqQKHUY3BFkQtgMINQ&tbs=lr!f:2m1!1e2!2m1!1e3!3sIAE,lf:1,lfui:2&rdoc=1#rfl=hd::si::mv:1!m2!1d38.699156015894765!2d-8.898270634277424!2m2!1d38.6236903865972!2d-9.073365238769611!4m2!1d38.66143314157973!2d-8.98581793652351715i13](https://www.google.pt/search?rlz=1C1GGRV_enPT751PT751&q=ind%C3%BAstria+na+moita&npsic=0&rflfq=1&rlha=0&rllaq=38659332,-8982905,1748&tbm=lcl&ved=0ahUKEwjziaWJ8K3c%20AhWGzqQKHUY3BFkQtgMINQ&tbs=lr!f:2m1!1e2!2m1!1e3!3sIAE,lf:1,lfui:2&rdoc=1#rfl=hd::si::mv:1!m2!1d38.699156015894765!2d-8.898270634277424!2m2!1d38.6236903865972!2d-9.073365238769611!4m2!1d38.66143314157973!2d-8.98581793652351715i13)

### 3.5.10 Montijo

**Abastecimento:** o concelho do Montijo está incluído no sistema aquífero Tejo/Sado – Margem Esquerda, de grande produtividade e volume armazenado de recursos hídricos renováveis, pelo que a generalidade do abastecimento é de origem subterrânea. No caso do abastecimento público, este é exclusivamente suprido por origens subterrâneas (Cerqueira et al., 2011). Na base de dados SNIRH estão, somente no sector ocidental do concelho, referenciados 170 pontos de água, distribuídos por 76 furos verticais e 94 poços (Figura 3.30). É de assinalar a grande densidade de captações nalgumas áreas deste concelho (Figura 3.30), o que pode promover localmente o rebaixamento acentuado dos níveis piezométricos e potenciais situações de sobre-exploração. Na base de dados do PMAAC estão referenciadas 21 captações subterrâneas para abastecimento público, considerando em conjunto os sectores ocidental e oriental do concelho.

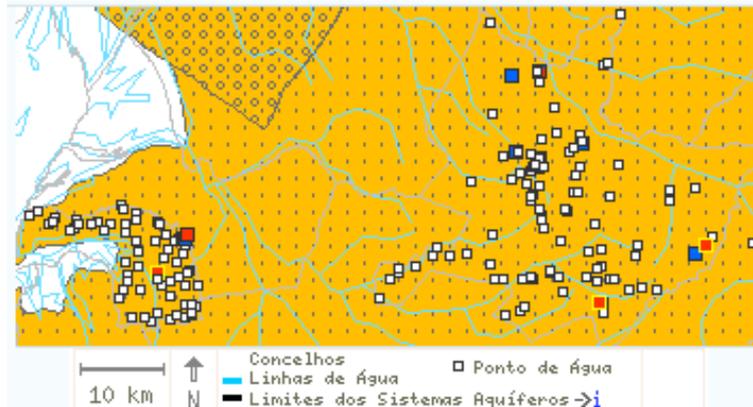


Figura 3.30 – Localização de furos de captação no concelho do Montijo (base de dados SNIRH)

Fonte: <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=MONTIJO>

Devido à grande dimensão do aquífero, volume de armazenamento de recursos hídricos renováveis e permeabilidade média a elevada, que permite o afluxo de águas das regiões envolventes do concelho, admitir-se-ia uma baixa vulnerabilidade à estiagem e à sobre-exploração, em particular no que se refere ao aquífero profundo. No entanto, havendo um conhecimento incompleto e algo irregular da evolução das piezometrias é difícil determinar a ocorrência de sobre-exploração. Como esta ocorre em concelhos vizinhos, que exploram o mesmo sistema aquífero, e dado o elevado número de captações registadas, é aconselhável realizar uma monitorização sistemáticas destes níveis, tanto no aquífero superficial como no profundo, para se poder identificar a eventual ocorrência deste problema e a extensão das eventuais áreas afectadas. Isto é tanto mais pertinente quanto, no sector ocidental deste concelho, existe uma importante impermeabilização dos terrenos devido à expansão urbana, o que reduz os volumes de recarga do sistema aquífero.

**Intrusão salina:** no sector ocidental do concelho, devido às litologias na zona ribeirinha, similares às do Barreiro, e ao grande número de captações na zona litoral (Figura 3.30) considera-se existir uma alta susceptibilidade à intrusão salina. A zona da base aérea do Montijo poderá ser mais susceptível à intrusão salina dada a presença na zona litoral de sedimentos melhor calibrados, com ausência de finos (Freire et al., 2006). No sector oriental do concelho, por ser uma região de interior sem qualquer contacto com a região litoral, a susceptibilidade a este tipo de intrusão é nulo. Contudo os resultados fornecidos por Cerqueira, et al. (2011) no âmbito da revisão do 1º Plano Director Municipal do Montijo, são sempre inferiores ao VMA para os cloretos, variando entre 14 e 91 mg/l no sector ocidental, embora com grande discrepância de valores ao longo do tempo (Figura 3.31a). No sector oriental os teores de cloretos são temporalmente mais estáveis mas mais elevados (entre 18 e 38 mg/l), segundo os mesmos autores (Figura 3.31b). Estes dados sugerem que, pelo menos até à data do estudo de Cerqueira et al. (2011), não parecia ocorrer intrusão salina na zona ribeirinha do Montijo.

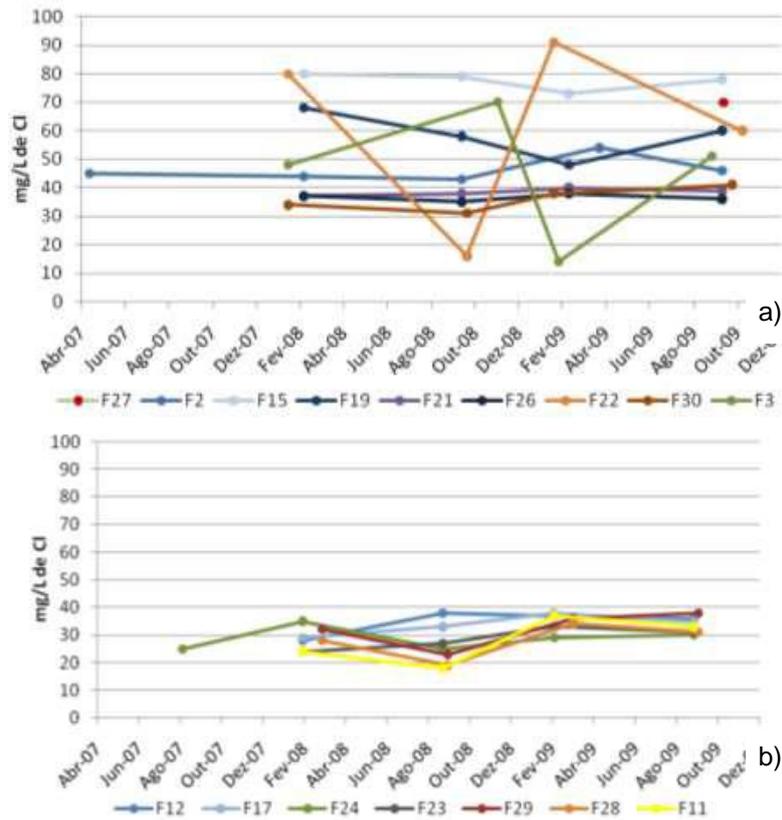


Figura 3.31 – Evolução temporal dos cloretos nas zonas ocidental (a) e oriental (b) do concelho do Montijo

Fonte: Cerqueira et al. (2011)

**Vulnerabilidade à poluição:** O concelho do Montijo está incluído na Zona Vulnerável do Tejo, devido à poluição agrícola aí registada, e que é particularmente significativa no sector leste do concelho e ribeira de Canha (Roque, 2008 in Cerqueira et al., 2011). Roque (2008 in Cerqueira et al., 2011) assinala ainda a ocorrência de poluição por pesticidas neste concelho, assim como nos de Palmela e Alcochete. Além da poluição agrícola, regista-se significativa poluição pecuária (em especial por efluentes de suiniculturas), descargas domésticas e industriais, sucatas e lixeiras ilegais, assim como a poluição advinda da actividade industrial, solos das zonas industriais abandonadas e rede viária (Cerqueira, et al., 2011; Lobo-Ferreira et al., 2011). O caso das sucatas compromete especialmente a região litoral dado que na zona ribeirinha do concelho ocorre a maior concentração destas estruturas (Cerqueira et al., 2011). Devido às litologias presentes no concelho, a vulnerabilidade à poluição é média a alta no aquífero superficial e moderada no profundo. A ilustrar essa vulnerabilidade estão diversos casos de poluição identificados em Cerqueira et al. (2011).

### 3.5.11 Odivelas

**Abastecimento:** o concelho de Odivelas está incluído na Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Tejo ([https://sniambgeoviewer.apambiente.pt/Geodocs/geoportaldocs/Planos/PGRH5-TEJO/RelatorioTecnico\\_CE%5C2\\_PGRHTEjo\\_Rel\\_CE\\_FD.pdf](https://sniambgeoviewer.apambiente.pt/Geodocs/geoportaldocs/Planos/PGRH5-TEJO/RelatorioTecnico_CE%5C2_PGRHTEjo_Rel_CE_FD.pdf)), cujas formações não possuem potencial aquífero para suportar o abastecimento urbano de forma sustentada. Por esta razão o concelho é abastecido pelas captações da EPAL (<http://www.epal.pt/EPAL/docs/default-source/epal/relatorio-qualidade/relatorio->

[de-qualidade-2010.pdf?sfvrsn=12](#)), localizadas fora da Área Metropolitana de Lisboa. Na base de dados do PMAAC não estão registados pontos de água neste concelho, mas a base de dados do SNIRH regista um total de 9 furos de captação (Figura 3.32). É de admitir também a existência de poços superficiais de grande diâmetro, dos quais se desconhece qualquer informação.

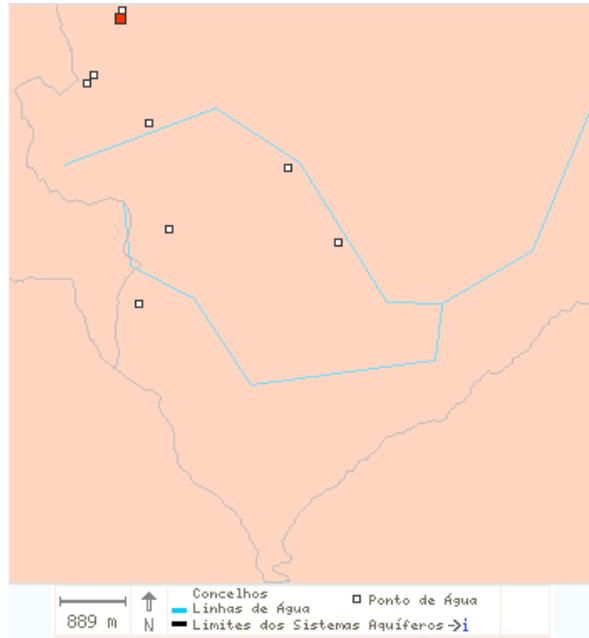


Figura 3.32 – Distribuição de furos e poços de captação no concelho de Odivelas (base de dados SNIRH)

Fonte: <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=ODIVELAS>

Com base nesta informação é de admitir que a exploração de águas subterrâneas no concelho seja insignificante, o que pode ser resultado da baixa resiliência à estiagem das captações mais superficiais. Captações mais profundas estarão mais protegidas dos impactos das estiagens, mas a geral baixa produtividade das formações torna este tipo de captações pouco atractivas e facilmente entrando em sobre-exploração mesmo se os caudais de extracção forem moderados.

**Intrusão salina:** este é um concelho de interior, sem qualquer contacto com o estuário do Tejo ou o litoral, pelo que não tem vulnerabilidade à intrusão salina.

**Vulnerabilidade à poluição:** dadas as litologias das unidades produtivas subterrâneas (CM Odivelas, 2009), estas terão uma média a baixa vulnerabilidade à poluição, eventualmente alta no caso das aluviões. Face à escassez de dados não é possível identificar situações de poluição ou as suas origens.

### 3.5.12 Oeiras

**Abastecimento:** o concelho de Oeiras está incluso na Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Tejo, sendo o abastecimento doméstico suportado integralmente pelas captações da EPAL (GPDEIG/CMO, 2013), pelo que a vulnerabilidade deste abastecimento depende de vulnerabilidades das captações da EPAL, externas ao concelho. As águas subterrâneas do concelho são usadas sobretudo pela agricultura local, mas tem-se registado uma diminuição da sua quantidade (GPDEIG/CMO, 2013), sugerindo problemas de sobre-exploração. Na base de dados do PMAAC estão registados 188 pontos

de água, predominantemente poços e minas, registando-se ainda algumas nascentes e 3 furos. Na base dados SNIRH estão registados 8 furos (Figura 3.33).

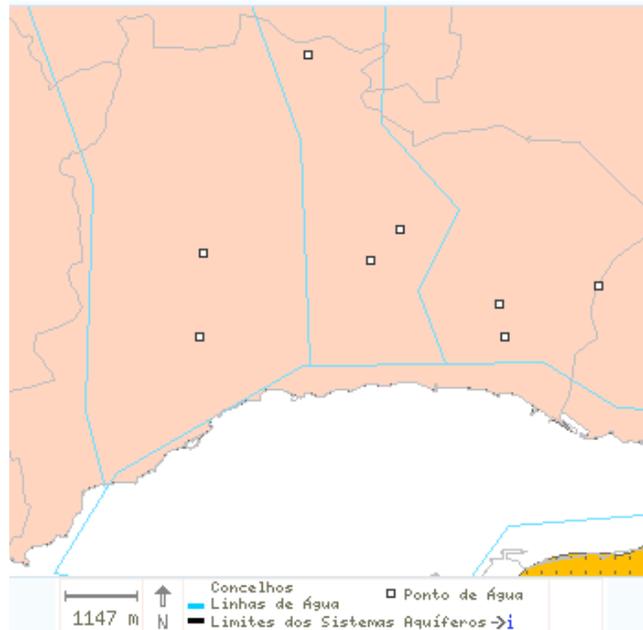


Figura 3.33 – Distribuição de furos e poços de captação no concelho de Oeiras (base de dados SNIRH)

Fonte: <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=OEIRAS>

A reduzida capacidade de armazenamento das formações hidrogeológicas da Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Tejo tornam-na susceptível a processos de sobre-exploração.

**Intrusão salina:** considerando o conjunto de litologias e a localização das captações situadas no litoral do concelho (base de dados PMAAC; Figura 3.34), pode considerar-se a zona entre a N6-3 e Oeiras como potencialmente sensível à intrusão salina, em particular se os níveis aquíferos explorados forem pouco profundos. No entanto, admitindo os baixos caudais de exploração, ou talvez até a inactividade de alguns, a intrusão salina devida a fenómenos de sobre-exploração deverá ser actualmente pouco significativa. Note-se porém que a escassez de dados de evolução das piezometrias e torres de cloretos impede a identificação de eventuais situações de intrusão salina.

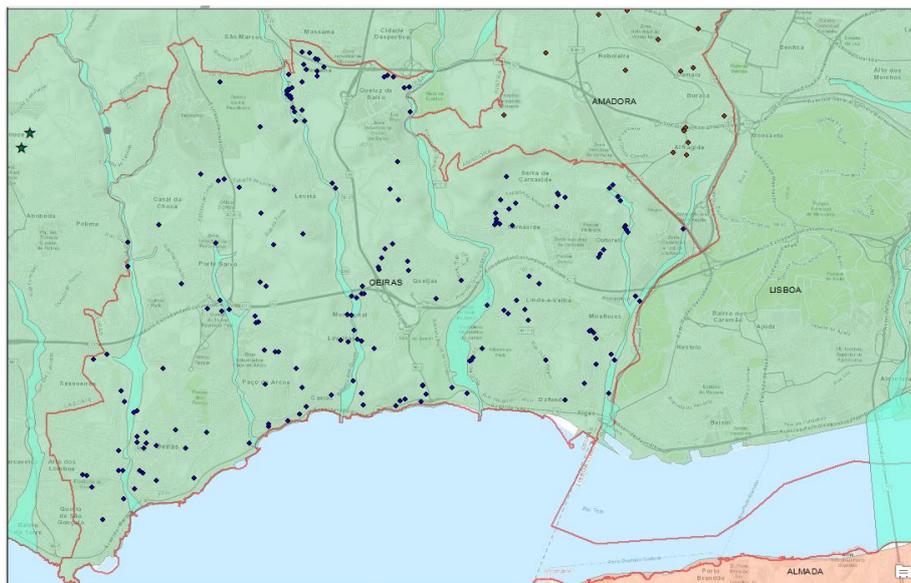


Figura 3.34 – Distribuição de furos e poços de captação no concelho de Oeiras (base de dados PMACC) com ocorrências de pontos de água na zona litoral

**Vulnerabilidade à poluição:** a vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas, segundo a classificação EPPNA é apresentada na Figura 3.35. É reportada uma degradação da qualidade das águas subterrâneas devido a depósitos ilegais de resíduos, actividade agrícola local e, pontualmente, a fossas sépticas e indústria (GPDEIG/CMO, 2013).

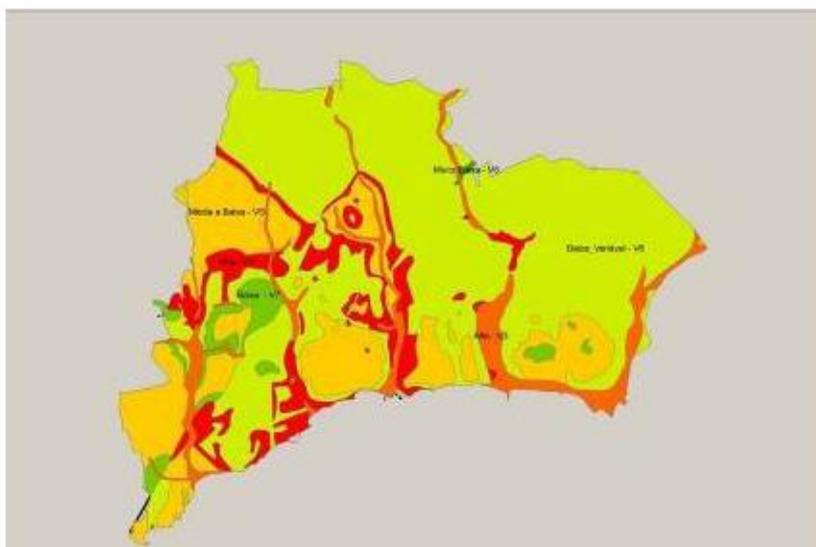


Figura 3.35 – Mapa de vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas do concelho de Oeiras (vermelho = muito vulnerável; verde escuro = pouco vulnerável)

Fonte: GPDEIG/CMO (2013)

### 3.5.13 Palmela

**Abastecimento:** o concelho de Palmela está incluído no sistema aquífero Tejo/Sado – Margem Esquerda, que abastece integralmente os consumos doméstico, industrial e agrícola (Fragoso et al., 2009). O abastecimento da rede pública é suprido através de 38 furos distribuídos ao longo do concelho (<https://www.cm-palmela.pt/pages/1327>; Figura 3.36). Este sistema aquífero abastece igualmente os consumos agrícolas e industriais do concelho (Fragoso et al., 2009). A base de dados SNIRH tem inventariado 136 pontos de água, correspondentes a furos verticais e poços (Figura 3.37) que deverão suprir parte dos consumos agrícolas e industriais. A base de dados PMAAC regista 64 furos de captação, alguns deles dados como inactivos, dos quais 35 são para abastecimento público.

Dada a grande dimensão do aquífero, transmissividade – que Fragoso et al. (2009) quantifica, para o aquífero profundo, entre 400 e mais de 2 000 m<sup>3</sup>/d – e produtividade elevadas, este terá uma grande resiliência à sobre-exploração. Contudo os volumes captados têm vindo a aumentar (de 5 hm<sup>3</sup>/ano na década de 1990 para 5,9 hm<sup>3</sup> em 2016; cf. respectivamente Lobo-Ferreira et al. 1999, 2000; CM Palmela, 2016). Considerando os problemas de sobre-exploração identificados noutros concelhos que exploram este mesmo sistema aquífero, este problema deve ser acautelado, em particular nas áreas de grande densidade de captação.

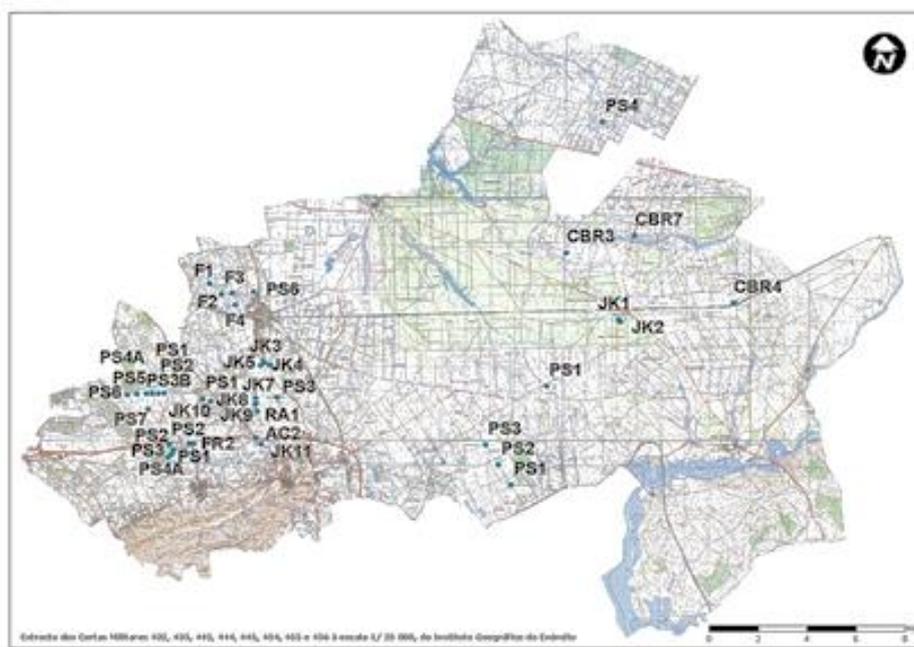


Figura 3.36 – Localização dos furos de captação para abastecimento humano do concelho de Palmela

Fonte: [https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=8&concelho=palmela&concelho\\_nome=Palmela](https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=8&concelho=palmela&concelho_nome=Palmela)

Tal acautelamento é tanto mais necessário quanto os dados da rede de piezometria assinalam vários locais com tendências significativas de descida (cf. Lobo-Ferreira et al., 2011; Figura 3.38), em especial na zona de maior concentração das captações (NW de Lagoinha). Tais descidas podem indiciar problemas actuais de sobre-exploração.

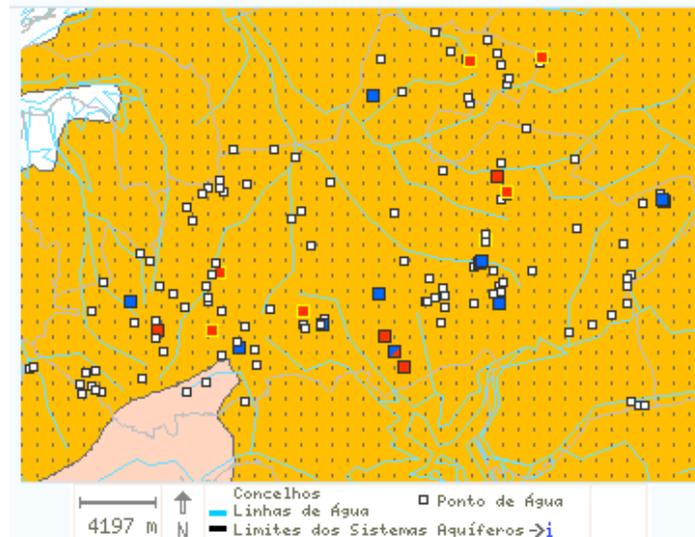


Figura 3.37 – Distribuição de furos e poços de captação no concelho de Palmela (base de dados SNIRH)

Fonte: <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=PALMELA>

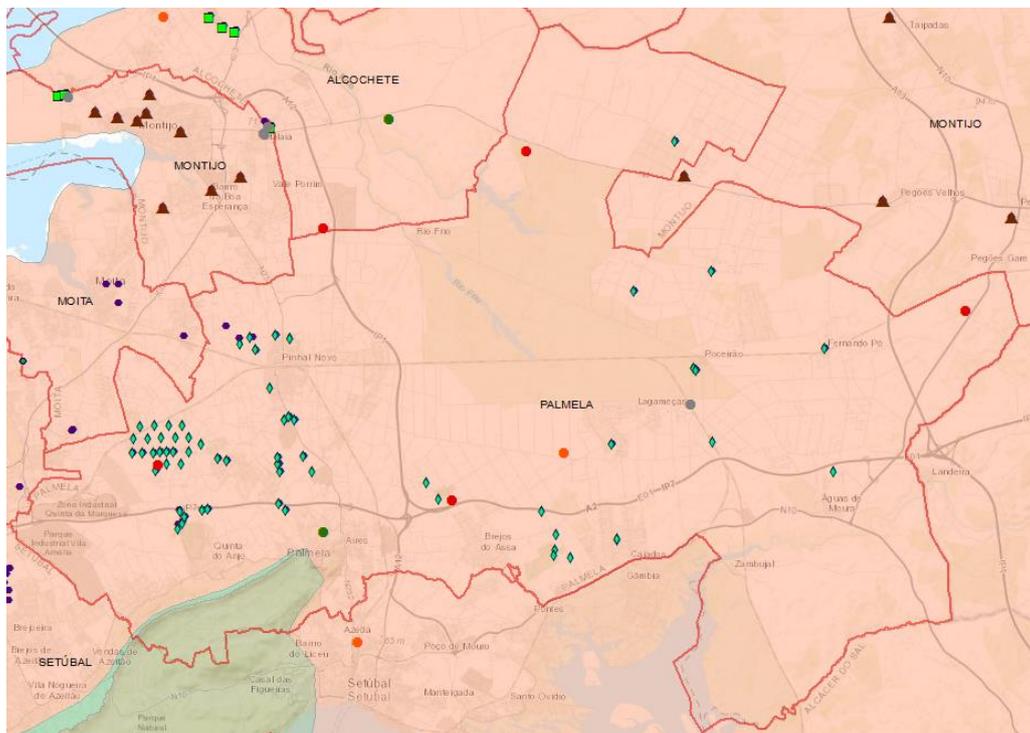


Figura 3.38 – Distribuição de furos e poços de captação no concelho de Palmela (base de dados PMAAC)

**Intrusão salina:** os escassos dados relativos à qualidade das águas subterrâneas, e sua evolução temporal na faixa litoral do concelho de Palmela, não permitem identificar situações de intrusão salina. Sendo que esta é uma zona de sapal, incluída na Reserva Natural do Estuário do Sado, e os furos de abastecimento se localizarem longe desta região (Figura 3.36), é de admitir que a intrusão salina exacerbada por acção humana seja virtualmente inexistente. Deve referir-se ainda que a existência de diápiros na zona de Pinhal Novo (Simões, 1998) poderá, caso estas circulem ou contactem com eles,

provocar a salinização das águas mas este processo é completamente distinto dos processos de intrusão salina.

**Vulnerabilidade à poluição:** o concelho de Palmela está incluído na Zona Vulnerável do Tejo (Portaria nº 164/10 de 16 de Março), o que ilustra os problemas de poluição agrícola e a consequente vulnerabilidade do sistema aquífero a este tipo de poluição. É ainda registada poluição no aquífero superior, por descargas de fossas sépticas (que servem cerca de 19% da população residente) e indústria (CM Palmela, 2016). Problemas de construção ou degradação do revestimento dos furos podem transferir a poluição para o aquífero inferior, explorado para o abastecimento público. A agravar este problema está o tipo de litologias presentes, as quais apresentam média a alta vulnerabilidade à poluição para o aquífero superior, e elevada no caso da Serra de S. Luís (litologias carbonatadas). No caso do aquífero inferior, e devido ao seu maior confinamento e profundidade que melhor o isolam da superfície, a sua vulnerabilidade tenderá a ser moderada. Contudo isso não impedirá a sua eventual poluição a partir de drenâncias dos aquíferos superiores (ex.: por falhas no isolamento dos furos).

### 3.5.14 Seixal

**Abastecimento:** o concelho do Seixal está incluído no sistema aquífero Tejo/Sado – Margem Esquerda, que pela sua grande produtividade e volume armazenado de recursos hídricos renováveis, é utilizado para o abastecimento doméstico/público, indústria e agricultura. O abastecimento doméstico/público faz-se exclusivamente por 28 furos de captação subterrânea (<http://www.cm-seixal.pt/agua/agua>). Além das captações da câmara municipal do Seixal, existem ainda outras captações de média e grande profundidade, pertencentes aos SMAS de Almada (Cised Consultores et al., 2003) que perfazem um total de 32, de acordo com a base de dados do PMAAC (Figura 3.39). Esta mesma base de dados referencia cerca de 30 furos de abastecimento público ao concelho do Seixal, o que perfaz um total de 62 furos de captação para abastecimento público. Na base de dados SNIRH são referenciados 130 pontos de água (Figura 3.40), dos quais 36 são poços e os restantes 94 furos verticais.

Dado o volume de armazenamento elevado de recursos hídricos renováveis e alta permeabilidade que permite o influxo de água a partir de zonas vizinhas do concelho deste sistema aquífero, ele seria à partida pouco susceptível à estiagem e sobre-exploração, havendo uma maior susceptibilidade à estiagem nos níveis aquíferos (livres) mais superficiais. No entanto, dada a redução da recarga devido à elevada área ocupada por tecido urbano (Cised Consultores et al., 2003), e os volumes de extracção verificados, tem-se observado localmente descidas significativas dos níveis de água, como por exemplo as ocorridas na região de Corroios entre 1994 e 1999, em que o nível de água passou dos -6,9 m para -17,9 m (Barreiras, 2009).



exploração do aquífero inferior. Sobre-exploração neste mesmo aquífero inferior é ainda assinalada na zona de Belverde, Santa Marta, Rouxinol e nalguns furos do litoral (Cised Consultores et al., 2003).

**Intrusão salina:** considerando as litologias presentes, a distribuição das captações e as condições de sobre-exploração no aquífero superficial, este apresentará uma elevada susceptibilidade à intrusão salina. O aquífero inferior, por via do seu maior confinamento, deveria ter uma menor susceptibilidade mas condições pontuais de sobre-exploração na zona litoral poderá elevar esta susceptibilidade e conduzir a processos de intrusão similares aos descritos por Zeferino (2016) para a região do Barreiro. Com efeito, Simões (1998) identifica casos de intrusão salina em furos próximos do rio, e Magalhães et al. (2013) referencia este mesmo fenómeno em furos que por esse motivo foram selados e a sua exploração descontinuada. No aquífero profundo tem-se registado uma subida progressiva dos níveis de cloretos nas zonas de Belverde, Santa Marta de Corroios e Rouxinol (Cised Consultores et al., 2003), mas admite-se que neste caso a salinização se deva à sua sobre-exploração e consequente rebaixamento dos níveis piezométricos; tal situação facilita a infiltração a partir do aquífero superficial (Nascimento et al., 2004), promovendo uma salinização do aquífero profundo por processos não muito diversos dos referidos por Zeferino (2016) para a região do Barreiro. Considerando que uma das áreas afectadas é a zona de Belverde, se admitirmos a ocorrência de intrusão salina nesta região no aquífero superficial, então o limite desta intrusão é, nesta região de cerca de 7 km para o interior do continente.

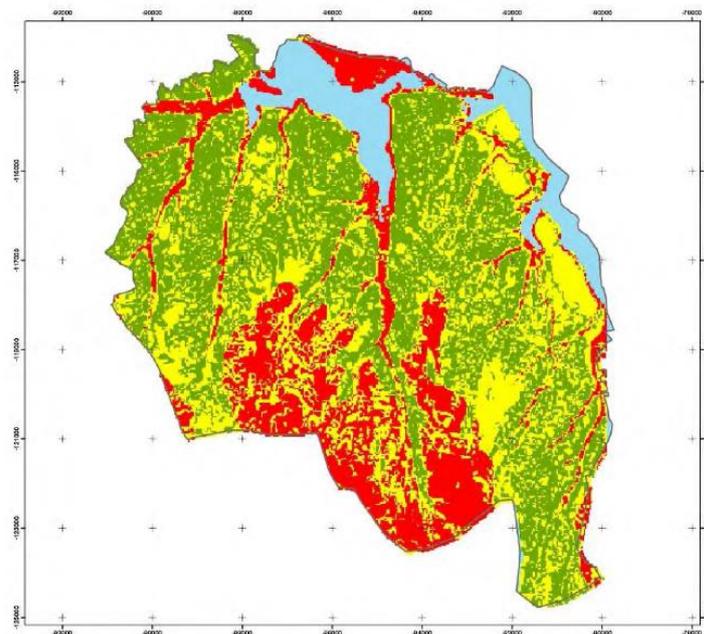


Figura 3.41 – Carta de classes de infiltração (Vermelho = elevada, Amarelo = moderada; verde = baixa)

Fonte: Magalhães et al. (2013)

**Vulnerabilidade à poluição:** considerando as litologias presentes, o aquífero superior terá uma vulnerabilidade à poluição média a alta, pontualmente muito alta. O aquífero inferior, embora em princípio menos vulnerável devido ao seu maior confinamento e distância à superfície, pode contudo ser afectado por poluição, a partir de drenâncias do aquífero superior e/ou má selagem de furos, que actuariam assim como condutas preferenciais de migração de poluentes. Na Figura 3.41 é apresentada

a carta de classes de infiltração, a qual pode indiciar as regiões com maior vulnerabilidade no aquífero superficial (zonas de classe de infiltração elevada).

A poluição destes aquíferos efectivamente existe, sendo sobretudo de origem industrial dada a concentração de fábricas, em particular a leste do Seixal (CM Seixal, 2013). Além disso existem significativos passivos ambientais em antigas áreas industriais abandonadas (ex.: SPEL, Fábrica da Pólvora de Vale Milhaços), na zona da Siderurgia Nacional, Fábrica de Explosivos do Pinheiro da Cruz, lagoa de hidrocarbonetos do areeiro J. Caetano e areeiro Fernando Branco, o furo do Talaminho, ou antigas lixeiras (ex.: Marisol; Amarsul), de acordo com APA (2016c). Estas infra-estruturas, ou as áreas que as contiveram mas que não foram sujeitas a recuperação ambiental, afectam primeiramente o aquífero superficial (Cised Consultores et al., 2003; Fernandes et al., 2011) em particular no que se refere a lixeiras, lagoas de retenção de hidrocarbonetos e zonas de solos contaminados. O registo da contaminação do aquífero profundo na zona da SPEL é um dos mais documentados tendo sido mesmo caracterizada a lista de poluentes e modelada a sua propagação (Amaral et al., 2009; APA, 2016c).

A desactivação desadequada de furos e deficiências nos seus revestimentos é fonte de poluição no aquífero profundo (Pais et al., 2006 in Barreiras, 2009) ao permitir o estabelecimento de ligações hidráulicas preferenciais entre o aquífero superior e inferior, como se verifica pela distribuição de poluentes na zona da SPEL (Amaral et al., 2009) e que são especialmente críticas nas zonas onde tenha havido fortes rebaixamentos do nível de água no aquífero profundo.

Além destas fontes é também significativa a poluição de origem doméstica e agrícola (Barreiras, 2009; CM Seixal, 2013) ou do enchimento e recuperação de pedreiras abandonadas com materiais inadequados (Silva e Figueira 2017). No caso da actividade agrícola, a pecuária tem cargas poluentes particularmente significativas (Lobo-Ferreira et al., 2011).

### 3.5.15 Sesimbra

**Abastecimento:** o concelho de Sesimbra está incluso no sistema aquífero Tejo/Sado – Margem Esquerda e também na Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Tejo (zona ddo Cabo Espichel/ Serra da Arrábida). Este é um sistema com grande volume de recursos renováveis e grande produtividade pelo que é usado como fonte de abastecimento para os consumos domésticos/públicos, agrícolas e industriais. O abastecimento público é ainda parcialmente suprido por furos no concelho do Seixal (Silva e Figueira, 2017). Na base de dados SNIRH existem inventariados 41 pontos de água, essencialmente furos verticais mas também poços (Figura 3.42). Na base de dados PMAAC, estão inventariados 20 pontos de água que deverão corresponder a origens para abastecimento público.

Embora a grande extensão do aquífero o torne pouco vulnerável à sobre-exploração (e deste modo os abastecimentos), como parte destes provêm do Seixal, o abastecimento doméstico enfrenta parcialmente as vulnerabilidades que ocorrem nesse concelho. Deve ainda ressaltar-se que, apesar da grande dimensão e capacidade de armazenamento do aquífero, situações de sobre-exploração têm ocorrido na Península de Setúbal, pelo que este problema deve ser acautelado. Dada a escassa informação não é possível identificar quaisquer eventuais problemas de sobre-exploração no concelho de Sesimbra.

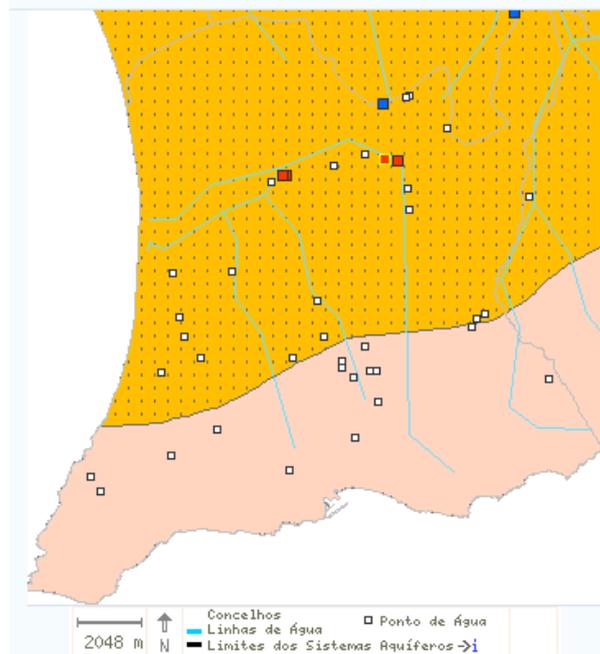


Figura 3.42 – Distribuição de furos e poços de captação no concelho de Sesimbra (base de dados SNIRH)

Fonte: <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=SESIMBRA>

**Intrusão salina:** este concelho tem uma extensa área litoral, predominantemente de arriba calcária a S e SW e de arriba recuada no litoral W, em que a interface entre o oceano e a arriba se faz através de praias de areia, sem ocupação residencial humana. Ao longo deste litoral, se se considerar que as bases de dados SNIRH e PMAAC dão uma imagem adequada da distribuição dos pontos de captação, a ocorrência de tais pontos é pouco significativa (cf. Figura 3.42). Contudo a ausência de dados que permitam caracterizar as características hidroquímicas das águas da zona litoral, a evolução ao longo do tempo deste quimismo e dos níveis de água, impede a identificação de potenciais casos de intrusão salina. Dada a baixa ocupação urbana da costa – com excepção da zona de Sesimbra, cujo abastecimento será suprido pela rede de abastecimento, que captará em zonas de interior do concelho – é de admitir porém que a intrusão salina seja um fenómeno pouco comum. Dado o tipo de litoral e litologias presentes considera-se que ao longo do litoral de arriba a susceptibilidade à intrusão salina será baixa e moderada a alta no litoral de areia.

**Vulnerabilidade à poluição:** a escassez de dados adequados não permite caracterizar os eventuais problemas de poluição que possam existir no concelho. É de admitir poluição de origem agrícola e poluição de origem doméstica em particular em zonas de intensa actividade turística (ex.: Sesimbra, Lagoa de Albufeira) e, pontualmente, alguma poluição industrial. Considerando as litologias ocorrentes no concelho (cf. [http://www.urv.cat/dgeo/media/upload/arxius/Lisboa/04\\_geografia\\_fisica.pdf](http://www.urv.cat/dgeo/media/upload/arxius/Lisboa/04_geografia_fisica.pdf)), o aquífero superior terá média a alta vulnerabilidade à poluição e o inferior média vulnerabilidade.

### 3.5.16 Setúbal

**Abastecimento:** o concelho de Setúbal está incluso no sistema aquífero Tejo/Sado – Margem Esquerda e também na Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Sado (zona da Serra da Arrábida).

Como foi anteriormente referido, o sistema aquífero Tejo/Sado – Margem Esquerda apresenta grande volume de recursos renováveis e grande produtividade pelo que é usado como fonte de abastecimento para os consumos domésticos/públicos, agrícolas e industriais. A Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Sado, apesar de dominada por formações carbonatadas, com desenvolvimentos cárnicos, é relativamente pouco explorada devido a englobar uma zona de Parque Natural e à maior dificuldade em aceder aos níveis mais produtivos. Por estas razões, o seu funcionamento e caracterização hidrogeológica são muito reduzidos, assim como a sua exploração. Contudo o sistema aquífero Tejo/Sado – Margem Esquerda é activamente explorado para suprir os consumos domésticos/público, industriais e agrícolas, os quais são essencialmente abastecidos por origens subterrâneas. No caso do abastecimento público, este é assegurado por 19 furos, 3 deles situados fora do concelho (CM Setúbal, 2015), que captam a profundidades da ordem dos 250 m (<http://www.aguasdosado.pt/qualidade/perguntas-frequentes-qualidade-agua>). O abastecimento à agricultura e indústria – embora esta seja também abastecida por origens superficiais (<http://www.secil-group.com/wp-content/uploads/2016/10/5-Caracterizacao-do-Ambiente-Afectado-8.pdf>) – assim como pontualmente ao pequeno abastecimento doméstico de habitações mais isoladas, faz-se ainda recorrendo a vários outros poços e furos, incluindo na região da Arrábida (Figura 3.43). O abastecimento recorre sobretudo ao aquífero profundo, situado a cerca de 200 m de profundidade na zona da Mitrena-Portucel, dado o aquífero superior ter produtividades variáveis e problemas de qualidade, e deste modo tem um reduzido valor como recurso. Na base de dados SNIRH estão registados um total de 92 furos verticais e poços, com claro predomínio para os furos verticais, vários deles sites na zona da Serra da Arrábida/São Luís (Figura 3.43). Na base de dados PMAAC estão registados 8 furos de captação, destinados ao abastecimento público.

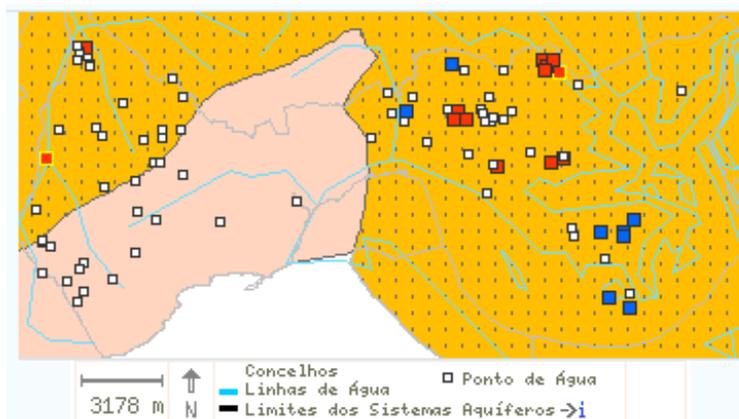


Figura 3.43 – Distribuição de furos e poços de captação no concelho de Setúbal (base de dados SNIRH)

Fonte: <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=SET%DABAL>

Apesar da grande dimensão e capacidade de armazenamento dos aquíferos superior e inferior os tornar à partida pouco susceptíveis à estiagem e à sobre-exploração, com uma susceptibilidade algo maior para o aquífero superficial, de facto situações de sobre-exploração têm sido observadas. Mendonça (1998) e Barreiras (2009) referem que entre a década de 1960 e os inícios de 2000 se verificaram acentuados rebaixamentos dos níveis de água, com alguns furos a registarem descidas de até 26 m, no aquífero inferior, tendo sido algumas regiões como a Mitrena especialmente afectadas, com

impactos consequentes na qualidade das águas (Simões, 1998; Mendonça e Silva, 2003). Estes comportamentos, associados ao facto de as captações na zona de Setúbal extraírem um volume de água duas vezes superior ao da recarga local (Barreiras, 2009), configura uma situação efectiva de sobre-exploração deste aquífero inferior. Situação similar deverá ocorrer no aquífero superior, visto que a degradação progressiva da qualidade das suas águas tem sido atribuída aos processos de sobre-exploração (cf. <http://www.secil-group.com/wp-content/uploads/2016/10/5-Characterizacao-do-Ambiente-Afectado-8.pdf>). As consequências destas susceptibilidades podem ter impactos ao nível do funcionamento das redes de abastecimento, o que no caso do concelho de Setúbal, pode ser ainda agravado pelas vulnerabilidades externas ao concelho relativas às 3 captações situadas no seu exterior.

**Intrusão salina:** a susceptibilidade à intrusão salina varia entre elevada a muito elevada, ao longo do litoral do concelho, considerando as condições de sobre-exploração existentes. No litoral da Arrábida, e embora as litologias e desenvolvimento cárstico (com grutas costeiras) facilitem o avanço da intrusão salina, o incremento desta intrusão por efeito da exploração costeira do sistema aquífero tende a ser limitado, devido ao reduzido número de captações. A excepção é a zona da Secil, onde existem 3 captações subterrâneas que podem rebaixar significativamente os níveis piezométricos (ICNF, 1996), tornando tal zona muito susceptível.

Sugerindo que o problema já ocorre, há reportado na bibliografia a salinização de captações na zona de Setúbal, com 2000 a 3000 mg/l de cloretos (Barreiras, 2009). Alguns autores identificam a ocorrência de intrusão salina na zona das Praias do Sado (Simões, 1998) e talvez na Cachofarra (Barreiras, 2009). No caso específico da Mitrena, a salinização dos furos deve-se não a intrusão salina directa mas à infiltração a partir do aquífero superficial em áreas mais salinizadas via furos de captação (Simões, 1998; Mendonça, 1998; Mendonça e Silva, 2003), sugerindo um processo análogo ao referido para o Barreiro por Zeferino (2016). Curiosamente, nas proximidades da Mitrena, na zona da PORTUCEL é referido que apesar de existir exploração para o abastecimento da fábrica não é registada intrusão salina no aquífero profundo (TSI-TECNINVEST, 2003).

**Vulnerabilidade à poluição:** no aquífero superior, a poluição é de origem agrícola, pecuária, fossas sépticas, escorrências de núcleos urbanos (ICNF, 1996) e indústria. As fossas sépticas e a sobre-exploração são os principais problemas de qualidade no aquífero superficial (<http://www.secil-group.com/wp-content/uploads/2016/10/5-Characterizacao-do-Ambiente-Afectado-8.pdf>). Apesar da maior protecção do aquífero inferior, este pode ser poluído a partir de furos de construção defeituosa ou revestimentos degradados, que permitem a ligação hidráulica com o aquífero superficial mais poluído (cf. Mendonça e Silva, 2003).

Em termos gerais, dado o tipo de litologias presentes, a vulnerabilidade à poluição do aquífero superficial será média a alta, tornando-se elevada nas zonas calcárias da Serra do Risco-Serra da Arrábida-Serra de São Luís. O aquífero inferior, devido ao seu maior confinamento e profundidade, terá vulnerabilidade moderada.

### 3.5.17 Sintra

**Abastecimento:** o concelho de Sintra está incluso na Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Tejo e na Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia das Ribeiras do Oeste, partilhando ainda com o concelho de Cascais o sistema aquífero de Pisões-Atrozela. Dadas as potencialidades hidrogeológicas limitadas destes sistemas para o abastecimento em larga escala, o concelho de Sintra é abastecido em cerca de 98 a 99% pela EPAL. O abastecimento remanescente faz-se por captações próprias, das quais 89,6% são subterrâneas (Silva Pinto et al., 2011; [https://www.smas\\_sintra.pt/index.php?option=com\\_content&task=view&id=283&Itemid=146](https://www.smas_sintra.pt/index.php?option=com_content&task=view&id=283&Itemid=146)). Na base de dados SNIRH estão reportados 93 pontos de água constituídos por 6 nascentes, 1 poço e 86 furos verticais (Figura 3.44). Na base de dados PMAAC estão registados 81 pontos de água para abastecimento público e cerca de 32 para abastecimento privado, sendo de admitir que cerca de 40 outros pontos de água estejam desactivados. Oliveira et al. (2009) faz no entanto subir este número para 440 captações (além de várias outras não licenciadas), das quais 270 abastecem exclusivamente a agricultura, 90 a indústria e as restantes terão usos mistos (Oliveira et al., 2009).

A região mais produtiva é a do sistema Pisões-Atrozela, explorado tanto para abastecimento ao concelho de Sintra como ao concelho de Cascais. Este aquífero, cársico e muito fracturado, tem uma recarga média de 3 a 4 hm<sup>3</sup>/ano (Oliveira et al., 2009, 2009a). É explorado por 11 captações que extraem 2 a 3 hm<sup>3</sup>/ano (Terezo et al., 2014), o que corresponde a uma taxa de exploração de 75%.

Dada a sua reduzida dimensão e natureza cársica, o volume de recursos renováveis armazenados é algo diminuto, o que é ainda mais dificultado pela sua divisão em sectores que poderão ter pouca conectividade hidráulica entre si. Acresce a estes aspectos o facto de uma das suas mais importantes zonas de recarga se situar na zona de Algueirão-Mem Martins, a qual é densamente urbanizada, o que em consequência reduz significativamente a recarga nessa zona (Carvalho, 2000 in Oliveira et al., 2009). Dadas estas características, este sistema aquífero é bastante sensível à sobre-exploração. A sua natureza cársica e reduzida dimensão torna-o susceptível à estiagem, o que é ilustrado pelos rebaixamentos acentuados que sazonalmente se verificam (Carvalho 2000, in Oliveira et al., 2010).

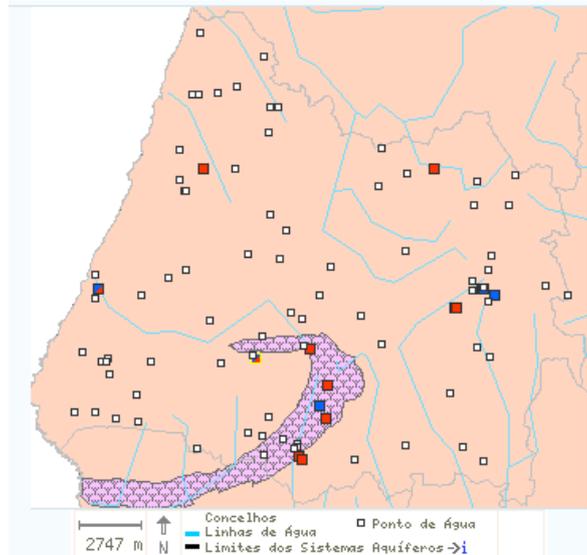


Figura 3.44 – Distribuição de furos e poços de captação no concelho de Sintra (base de dados SNIRH)

Fonte: <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=SINTRA>

**Intrusão salina:** a reduzida informação sobre a qualidade das águas e sua evolução temporal, assim como dos níveis piezométricos impede qualquer identificação de processos de intrusão salina. Sendo um litoral essencialmente de arriba, dada a distribuição dos pontos de água (cf. Figura 3.44) e litologias aí aflorantes, admite-se que a susceptibilidade à intrusão salina seja baixa a média na generalidade da sua extensão. Nas zonas de litoral de areia, onde se concentre algum turismo de veraneio, é de admitir uma susceptibilidade elevada, colocada por captações para abastecimento local.

**Vulnerabilidade à poluição:** a poluição existente é sobretudo agrícola e doméstica, a que se associa subsidiariamente a devida a sucatas e armazenamento de resíduos (Terezo et al., 2014). No caso do aquífero Pisões-Atrozela, a poluição de origem doméstica e pecuária foi identificada pelos resultados análises bacteriológicas, de acordo com a mesma autora. Considerando as litologias presentes é de admitir uma baixa a média vulnerabilidade à poluição, que pode no entanto tornar-se alta em depósitos sedimentares recentes (ex.: aluviões). O aquífero Pisões-Atrozela, dada a sua natureza cársica e ausência de níveis confinantes sobrejacentes na generalidade da sua área, tem vulnerabilidade muito elevada.

### 3.5.18 Vila Franca de Xira

**Abastecimento:** o concelho de Vila Franca de Xira está incluído na Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Tejo (sita no sector ocidental do concelho) e no sistema aquífero das Aluviões do Tejo. O sistema aquífero Bacia do Tejo/Sado – Margem Direita, ocorre somente numa pequena área no norte do concelho. O abastecimento doméstico é quase integralmente feito através da EPAL, maioritariamente por origens superficiais. As origens subterrâneas, entre as quais se contam 14 furos de captação localizados na Lezíria Grande, funcionam sobretudo como reservas estratégicas da EPAL, o que confere aos recursos hídricos subterrâneos uma relevância estratégica para este concelho e para a AML. O restante abastecimento doméstico a pequenos agregados populacionais – cerca de 0,01%

do total – é abastecido por captações subterrâneas (Plural, 2006). O abastecimento à agricultura faz-se por via superficial na zona da Lezíria do Tejo mas as captações subterrâneas tendem a ser mais usadas na restante área do concelho. O abastecimento industrial faz-se via a rede pública abastecida pela EPAL ou por captações subterrâneas privadas, ou por ambas as vias. As captações subterrâneas para a indústria são mais numerosas na Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Tejo, sobretudo na zona de Santa Iria da Azoia-Vialonga-Alhandra. Na base de dados SNIRH estão registados 42 pontos de água subterrânea, de que só um corresponde a um poço (Figura 3.45). Na base de dados PMAAC estão registados um total de 15 pontos de água, dos quais 14 pertencem à EPAL.

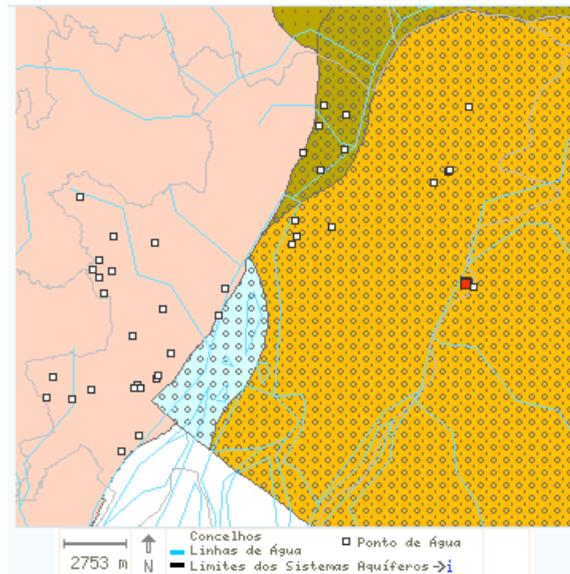


Figura 3.45 – Distribuição de furos e poços de captação no concelho de Vila Franca de Xira (base de dados SNIRH)

Fonte: <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=VILA%20FRANCA%20DE%20XIRA>

Apesar da grande dimensão, volume de recursos renováveis armazenados e produtividade do sistema aquífero Bacia do Tejo/Sado – Margem Direita, este tem pouca relevância dado ocorrer apenas numa pequena região do extremo noroeste do concelho e deste modo a área disponível para exploração é reduzida. As Aluviões do Tejo, que ocupam a maior parte da área do concelho, têm similares características de grande produtividade, volume de recursos renováveis armazenados e dimensão, mas por estarem contaminadas por nitratos e outros poluentes de origem agrícola (razão porque estão inclusas na Zona Vulnerável do Tejo) não são exploradas pelas captações subterrâneas da EPAL que nelas se localizam mas simplesmente as atravessam, indo captar nos níveis profundos do sistema aquífero Tejo/Sado – Margem Esquerda, que lhes está subjacente.

Devido a estas características, ambos os sistemas aquíferos são pouco susceptíveis à sobre-exploração mas, localmente, dependendo dos volumes e níveis produtivos captados, este tipo de problemas pode ocorrer. Já para a Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Tejo a sensibilidade à sobre-exploração é média a alta, devido à menor capacidade de armazenamento de recursos hídricos renováveis e permeabilidades médias mais baixas, embora ocorram níveis aquíferos, com frequência confinados, de produtividade elevada. A ilustrar essa sensibilidade estão os casos de sobre-exploração

associados sobretudo ao abastecimento à indústria, como na zona a Norte de Forte da Casa (Vialonga) onde o acentuado rebaixamento dos níveis piezométricos parece estar relacionado com a subsidência de terrenos (Lobo-Ferreira et al., 2012).

**Intrusão salina:** considerando as litologias existentes, a distribuição das captações junto às zonas ribeirinhas, os eventuais problemas de sobre-exploração dos níveis aquíferos mais superficiais e os efeitos da intrusão salina superficial ao longo do rio Tejo, que se pode estender até à zona do Conchoso ou até mesmo Salvaterra de Magos, em períodos de seca (<http://www2.icnf.pt/portal/ap/r-nat/rnet/geo>) podem favorecer a ocorrência de intrusão salina nos aquíferos ao longo das zonas ribeirinhas. Em períodos normais, a intrusão salina no rio Tejo, faz-se sentir até Vila Franca de Xira (Freire et al., 2006). Na Figura 3.46 apresenta-se a extensão da intrusão salina no rio Tejo. Tendo as unidades aquíferas prováveis ligações hidráulicas com estas águas superficiais salinizadas, é de admitir uma susceptibilidade elevada à intrusão salina dos aquíferos, sobretudo ao longo do contacto entre as Aluviões do Tejo, o rio e o estuário. Com efeito, na zona ribeirinha em contacto com o estuário existem desde há muito tempo solos salinizados (<https://cister.fm/cister/wp-content/uploads/2018/03/PP-Resumo-Tejo-25-02-2018.pdf>). A intrusão salina ocorre também na margem direita, onde se dá o contacto do rio Tejo e estuário com a Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Tejo, nas zonas de Alverca, Alhandra e Vila Franca de Xira (Simões, 1998), pelo que tais zonas também deverão ser classificadas como de susceptibilidade elevada.

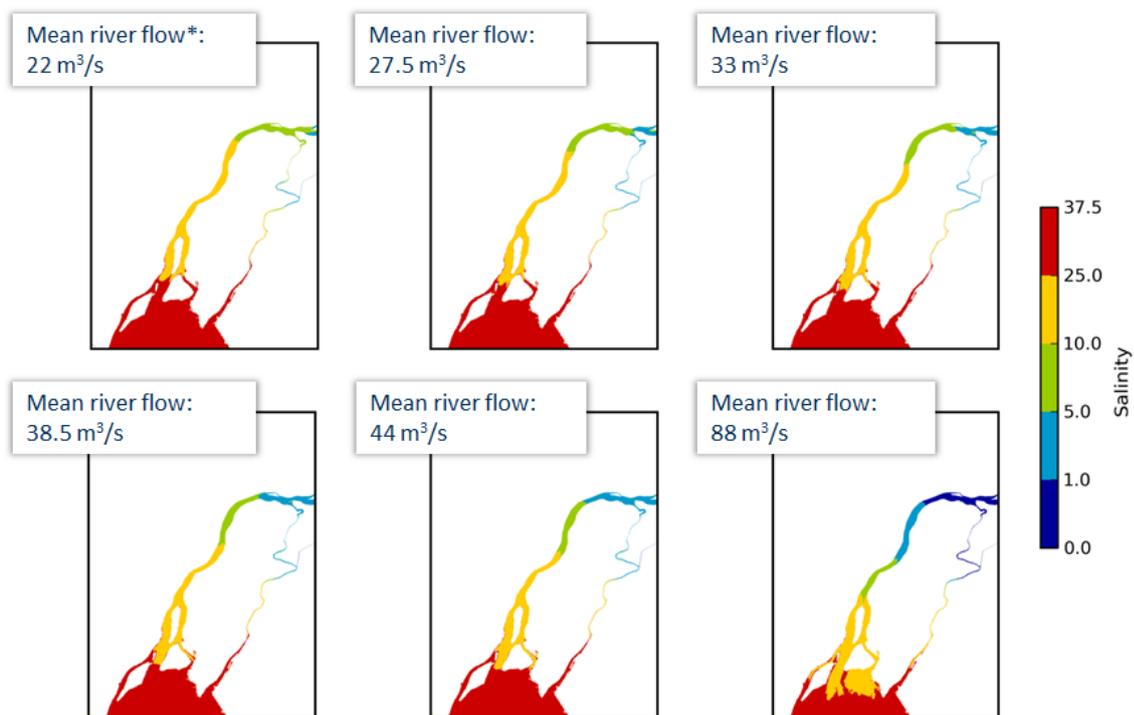


Figura 3.46 – Intrusão salina nas águas superficiais do rio Tejo para diferentes condições de estagiem

Fonte: Fortunato et al. (2018)

**Vulnerabilidade à poluição:** toda a zona central e oriental do concelho de Vila Franca de Xira se inclui na Zona Vulnerável do Tejo, devido à poluição agrícola aí registada. Além da agricultura há a considerar

a poluição de origem doméstica e industrial, incluindo as zonas industriais abandonadas e reconvertidas (Plural, 2009). A área ribeirinha da margem direita do Tejo, dada a concentração urbana e industrial aí existente, torna-a especialmente em risco significativo de poluição, em particular nas zonas de Castanheira do Ribatejo, faixa entre Alhandra e Sobralinho entre a A1 e o Rio Tejo, Póvoa, Forte da Casa, a zona da ex-Mague, A-dos-Potes, Casal da Areias e Mato da Cruz onde já ocorre poluição de origem urbana e industrial (Plural, 2009). Considerando as litologias dos sistemas aquíferos existentes no concelho é admitida a seguinte vulnerabilidade à poluição:

- **Aluviões do Tejo:** vulnerabilidade alta a muito alta (cf. Partidário et al., 2009).
- **Bacia do Tejo/Sado – Margem Direita:** vulnerabilidade média a alta.
- **Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Tejo:** vulnerabilidade predominantemente moderada.

## 4 | Considerações finais

O Plano Metropolitano de Adaptação às Alterações Climáticas da Área Metropolitana de Lisboa (PMAAC-AML) foi desenvolvido pelo consórcio constituído pelo CEDRU (Centro de Estudos de Desenvolvimento Regional e Urbano), IGOT (Instituto de Geografia e Ordenamento do Território), WE CONSULTANTS (MEGALOCI – Plataforma Empresarial e Território), TIS (TIS.pt – Consultores em Transportes Inovação e Sistemas) e ESRI (ESRI Portugal – Sistemas e Informação Geográfica), de que o LNEC é parte sub-contratada.

Este plano, que tem uma escala inter-municipal e uma escala ao nível do concelho, tem por objectivo avaliar os riscos climáticos, sensibilidades climáticas, impactos e vulnerabilidades, capacidade adaptativa dos sectores sócio-económicos assim como a elaboração de um conjunto de medidas de adaptação à escala-intermunicipal e concelhia, com vista a adequadamente preparar a economia e a sociedade para lidar com as alterações climáticas, em particular nas actividades pertencentes aos sectores sensíveis ao clima, tais como a agricultura, florestas, recursos hídricos e outros.

A informação de base que consta do presente relatório suportou o 1º relatório PMAAC (PMAAC-AML, 2018) e fundamenta a análise da sensibilidade, impactos e vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos às alterações climáticas na AML.

Assim, este relatório apresenta a contribuição do LNEC na caracterização da situação de referência para o Plano Metropolitano de Adaptação às Alterações Climáticas da Área Metropolitana de Lisboa, no âmbito dos recursos hídricos subterrâneos. Neste primeiro volume faz-se um enquadramento geral da temática da adaptação às alterações climáticas essencialmente na perspectiva das águas subterrâneas e apresenta-se a caracterização do estado actual dos abastecimentos, poluição e intrusão salina na generalidade da Área Metropolitana de Lisboa e para cada um dos respectivos concelhos.

Na caracterização do estado actual dos abastecimentos e intrusão salina, a análise permitiu verificar a existência na AML de processos de intrusão salina, sobre-exploração e degradação da qualidade dos recursos pontuais. Estes processos de degradação podem ser consequência, dependendo dos casos, de processos decorrentes da actividade humana mas serão incrementados em cenários de alterações climáticas.

Lisboa, LNEC, Dezembro de 2020

VISTOS

A Chefe do Núcleo de Recursos Hídricos e  
Estruturas Hidráulicas



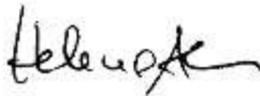
Maria Teresa Viseu

AUTORIA



Maria Emília Novo  
Investigadora Auxiliar

A Diretora) do Departamento de Hidráulica e  
Ambiente



Helena Alegre

## Referências bibliográficas

- ALMEIDA, C., MENDONÇA, J., JESUS, M., GOMES, A. (2000) Sistemas Aquíferos de Portugal Continental. Instituto da Água, Portugal.
- AMARAL, H.I.F., FERNANDES, J., BERG, M., SCHWARZENBACH, R.P., KIPFER, R. (2009) A contaminação por TNT e DNT das águas subterrâneas do Seixal. Seminário sobre os Sistemas Aquíferos da Bacia do Baixo Tejo, pp. 7.
- APA (2012) Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo. Fichas de Diagnóstico. Lisboa, APA, pp. 94. In: [https://sniambgeoviewer.apambiente.pt/Geodocs/geoportal/docs/Planos/PGRH5-TEJO/RelatorioTecnico\\_CE%5C2\\_PGRH5Tejo\\_Rel\\_CE\\_FD.pdf](https://sniambgeoviewer.apambiente.pt/Geodocs/geoportal/docs/Planos/PGRH5-TEJO/RelatorioTecnico_CE%5C2_PGRH5Tejo_Rel_CE_FD.pdf). Consultado 23/7/2018.
- APA (2016) Plano de Gestão de Região Hidrográfica 2016/2021, Região Hidrográfica do Tejo e Ribeiras do Oeste (RH5). Parte 2 – Caracterização e Diagnóstico. Lisboa, pp. 215.
- APA (2016a) Plano de Gestão de Região Hidrográfica. Parte 3 – Análise Económica das Utilizações da Água. Região Hidrográfica do Tejo e Ribeiras do Oeste (RH5). Lisboa, Maio 2016, pp.181.
- APA (2016b) Plano de Gestão de Região Hidrográfica. Parte 4 – Cenários Prospectivos. Região Hidrográfica do Tejo e Ribeiras do Oeste (RH5). Lisboa, Maio 2016, pp. 62.
- APA (2016c) Poseur – Aditamento à Lista de Propostas de Acções/Candidaturas Prioritárias de Sítios Contaminados. In: [https://poseur.portugal2020.pt/media/38026/02\\_adendadoceng\\_passivoambiental.pdf](https://poseur.portugal2020.pt/media/38026/02_adendadoceng_passivoambiental.pdf). Consultado a 27/8/2019.
- ANTUNES, C. E TABORDA, R. (2009) Sea level at Cascais Tide Gauge: Data, Analysis and Results, Journal of Coastal Research, SI 56, 218-222, ISSN 0749-0258.
- ARNELL, N.W., GOSLING, S.N. (2013) The impacts of climate change on river flow regimes at the global scale. Journal of Hydrology, Volume 486, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.02.010>, pp 351-364.
- AUS DER BEEK, T. (Coordination), ALVES, E., BRUGGEMAN, A., CAMERA, C., FORTUNATO, A., FREIRE, P., GRANGE, A., IACOVIDES, A., IACOVIDES, I., KRISTVIK, E., LORZA, P., MONTES, J., MOUSKOUNDIS, M., MUTHANNA, T., NOTTEBOHM, M., NOVO, E., OLIVEIRA, M., RIJPKEMA, S., RODRIGUES, M., RODRIGUES, R., RUSSO, B., SÁNCHEZ, P., SCHEIBEL, M., SUNYER, D., VISEU, T., VOORTMAN B.R., WITTE F., ZITTIS, G. (2016) D3.3 - Calibrated water resources models for past conditions. Deliverable 3.3 of Project BINGO, December.
- AUS DER BEEK, T., E. ALVES, R. BECKER, T. A. BRUGGEMAN, A.B. FORTUNATO, P. FREIRE, A. GRAGNE, M.H.J. VAN HUIJGEVOORT, A. IACOVIDES, I. IACOVIDES, E. KRISTVIK, L. LOCATELLI, P.LORZA, M. MOUSKOUNDIS, T. MUTHANNA, M. NOTTEBOHM, E. NOVO, M. OLIVEIRA, S. RIJPKEMA, M. RODRIGUES, B.

- RUSSO, M. SCHEIBEL, D. SUNYER, E. TENEKETZI, P. VAYANOU, T. VISEU, B.R. VOORTMAN, J.P.M. WITTE (2018) D3.4 Model Results for Water and Land Use Scenarios Completed and Analysed. Projecto BINGO, pp. 233. In: [http://www.projectbingo.eu/downloads/BINGO\\_Deliverable3.4\\_final.pdf](http://www.projectbingo.eu/downloads/BINGO_Deliverable3.4_final.pdf).
- BARREIRAS, N.M. (2009) Contribuição para a Caracterização e Modelação Hidrogeológica do Concelho do Seixal. Dissertação de Mestrado em Engenharia Geológica (Georrecursos), Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Departamento de Ciências da Terra, Monte da Caparica, pp. 150.
- BENTON, M.J. (2018) Hyperthermal-driven mass extinctions: killing models during the Permian–Triassic mass extinction. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 376: 20170076, pp. 19. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2017.0076>.
- CARIA, C.G. (2012) Estudo da Recarga de Águas Subterrâneas do Concelho de Almada. Dissertação apresentada ao Departamento de Geologia da faculdade de Ciências de Lisboa para a obtenção do grau de Mestre em Geologia Aplicada, Especialização em Hidrogeologia. FCUL, Lisboa, pp. 112.
- CARIA, C.G., OLIVEIRA, M.M., SILVA, C.R. (2013) Síntese do estudo da recarga de águas subterrâneas do Concelho de Almada. 9º Seminário sobre Águas Subterrâneas, FCT da Universidade Nova de Lisboa, pp. 6.
- CERQUEIRA, L.P., COSTA PARDAL, S., SANTOS, A., COELHO, H., NASCIMENTO, M., CARDOSO, F., LOPES, I., LAMPREIA, S., SANTOS, A., AIRES, P., MARQUES, J., MARES, J., BINGRE, P., MORGADO, A. (2011) 1ª Revisão do Plano Director Municipal do Montijo. Análise e Diagnóstico. Estudos de Caracterização. Volume II – Caracterização Biofísica e Estado do Ambiente. Montijo, Câmara Municipal do Montijo, Divisão de Ordenamento do Território, pp. 129.
- CISED CONSULTORES, SULPLANO, CEDRU (2003) Revisão do Plano Director Municipal do Seixal. Fase 1, Volume II – Caracterização e Diagnóstico Prospectivo. Seixal, pp. 176.
- CM BARREIRO (2013) Plano Director Municipal do Barreiro. Avaliação Ambiental.
- CM BARREIRO (2016) Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas – Município do Barreiro. Projecto ClimAdaPT.Local, Barreiro, pp. 80.
- CM MAFRA (2013) Plano Director Municipal de Mafra. Proposta de revisão. Volume VI. Estudos de Caracterização – Relatório. Departamento de Obras e Urbanismo, DPOT, Mafra, pp. 302.
- CM MAFRA (2016) Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas – Município da Vila de Mafra. Projecto ClimAdaPT.Local, Mafra, pp. 92.
- CM LISBOA (2016) Projeto de Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas. Projecto ClimAdaPT.Local Lisboa, pp. 445.
- CM ODIVELAS (2009) Plano Director Municipal de Odivelas. Volume 4 – Caracterização do Território – Componentes Ambientais. I - CARACTERIZAÇÃO BIOFÍSICA. Odivelas, pp. 56. In: [http://www.cm-odivelas.pt/anexos/areas\\_intervencao/](http://www.cm-odivelas.pt/anexos/areas_intervencao/)

- [pdm/1\\_3\\_3\\_1/4.1%20-%20Caracteriza%C3%A7%C3%A3o%20Biof%C3%Adica.pdf](#). Consultado a 3/8/2018.
- CM PALMELA (2016) Matriz da Água de Palmela. Câmara Municipal de Palmela, Palmela, pp. 29. In: [https://www.cm-palmela.pt/cmpalmela/uploads/writer\\_file/document/5922/MATRIZ\\_DA\\_ÁGUA\\_2016.pdf](https://www.cm-palmela.pt/cmpalmela/uploads/writer_file/document/5922/MATRIZ_DA_ÁGUA_2016.pdf). Consultado a 20/7/2018.
- CM SEIXAL (2013). Avaliação Ambiental Estratégica da Proposta de Revisão do Plano Director Municipal do Seixal. Volume I – Relatório Ambiental. Seixal, pp. 88.
- CM SETÚBAL (2015). PDM de Setúbal em revisão. Setúbal, pp. 67. In: <https://setubaldrive.pt/wp-content/uploads/2015/08/PDM.pdf>. Consultado em 26/7/2018.
- CODESSO DE MELO, M.T. (2016) COASTAL AQUIFERS: understanding saltwater intrusion. Erasmus Mundus GroundwatCH, Universidade Técnica de Lisboa.
- DOLL, P., SCHMIED, H.M. (2012) How is the impact of climate change on river flow regimes related to the impact on mean annual runoff? A global-scale analysis. *Environmental Research Letters*, 7 014037 doi:10.1088/1748-9326/7/1/014037, pp. 11.
- EEA (2012) Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012: an indicator-based report. European Environment Agency Report N° 12/2012, ISSN 1725-9177, doi: [10.2800/66071](https://doi.org/10.2800/66071), pp. 300.
- ENGIDRO (2010) Plano Geral de Águas e Saneamento do Barreiro. Relatório 3 – Documento Síntese do Plano Geral. Volume I – Sistema de Abastecimento de Água. Relatório Final. Câmara Municipal do Barreiro, pp. 62. In: [https://www.cm-barreiro.pt/cmbarreiro/uploads/writer\\_file/document/94/Relatorio\\_Sintese\\_Aguas\\_A\\_bastecimento.pdf](https://www.cm-barreiro.pt/cmbarreiro/uploads/writer_file/document/94/Relatorio_Sintese_Aguas_A_bastecimento.pdf). Consultado em 17/1/ 2018.
- ERVIDEIRA, A., LOPES, A., FERREIRA, D., LOPES, E., GOMES, J., SIMÕES, M. (2013) Abordagem Geral sobre a Hidrogeologia nas Terras da Costa da Caparica. 9º Seminário Águas Subterrâneas, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Campus de Caparica, 7 - 8 de Março, pp. 18-21.
- FERGUSON, I.M., MAXWELL, R.M. (2010) Role of groundwater in watershed response and land surface feedbacks under climate change. *Water Resources Research*, Vol. 46, W00F02, pp.15. doi: [10.1029/2009WR008616](https://doi.org/10.1029/2009WR008616). In: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2009WR008616>. Consultado em 12/4/2018.
- FERNANDES, A.L., FERREIRA, D.J., MARTINS, T.A., MORNA, A.T., PAULINO, S.A., SILVA, M.C.R. (2011) Modelação do Aquífero Superior na região de Vale de Milhaços – Seixal. 8º Seminário sobre águas subterrâneas, Lisboa, pp. 3
- FERREIRA, F. (2012) Avaliação dos Impactos das Alterações Climáticas nos Aquíferos Costeiros do Concelho de Almada. Mestrado em Geologia Aplicada, Especialização em Hidrogeologia. FCUL, Lisboa, pp. 89.
- FORTUNATO, A.B., MEREDITH, E.P., RODRIGUES, M., FREIRE, P., FELDMANN, H. (2018) Near-future changes in storm surges along the Atlantic Iberian coast. *Natural*

- Hazards, pp. 18. In: <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3375-z> (consulted 12/12/2018).
- FRAGOSO, T., CUNHA, M.C., LOBO-FERREIRA, J.P. (2009) Optimal pumping from Palmela water supply wells (Portugal) using simulated annealing. *Hydrogeology Journal*, 17, pp. 1935–1948, doi: [10.1007/s10040-009-0483-6](https://doi.org/10.1007/s10040-009-0483-6).
- FREIRE, P., TABORDA, R., ANDARDE, C. (2006) Caracterização das Praias Estuarinas do Tejo. APRH, 8º Congresso da Água, Figueira da Foz, pp. 1935–1948. In: <http://www-ext.lnec.pt/LNEC/bibliografia/DHA/freire-et-al%2006.pdf>.
- FRITZSCHE, K., SCHNEIDERBAUER, S., BUBECK, P., KIENBERGER, S., BUTH, M., ZEBISC, M., KAHLENBORN, W. (2014) The Vulnerability Sourcebook: Concept and guidelines for standardised vulnerability assessments – Concept and guidelines for standardised vulnerability assessments. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, BMZ – Federal Ministry for Economic Cooperation and Development, pp. 177. Bonn and Eschborn, Germany. In: <https://www.adelphi.de/en/publication/vulnerability-sourcebook-concept-and-guidelines-standardised-vulnerability-assessments>.
- GHAZAVI, R., VALI, A.B., ESLAMIAN, S. (2012) Impact of flood spreading on groundwater level variation and groundwater quality in an arid environment. *Water Resources Management*, April 2012, Volume 26, Issue 6, pp. 1651–1663. In: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-012-9977-4>. Consultado a 14/12/2017.
- GPDEIG/CMO (2013) Plano Director Municipal de Oeiras. Revisão. Relatório de Caracterização e Diagnóstico. Concelho de Oeiras, Volume I. Câmara Municipal de Oeiras, Oeiras, pp, 477.
- ICNF (1996) Relatório de Síntese do Plano de Ordenamento da Arrábida. Fase 1 – Relatório Síntese de Caracterização, pp. 33.
- IPCC (1995) CLIMATE CHANGE 1995 Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Watson, R.T., Zinyowera, M.C., Moss, R.H. and Dokken, D.J. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 891. ISBN: 0-521-56437-9. In: <https://www.ipcc.ch/report/ar2/wg2/>
- IPCC (2001) Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp. In: <https://www.ipcc.ch/report/ar3/wg1/>
- IPCC (2007) Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.

- Tignor and H.L. Miller (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp. In: <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/>
- IPCC (2013) Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp. In: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
- IPCC (2014) Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32. In: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- IPCC (2014a) Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp. In: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>
- IPCC (2018) Global Warming of 1.5° C. Summary for Policymakers, pp.26. In: <https://www.ipcc.ch/sr15/>.
- ISO 31010 (2009) Risk management — Principles and guidelines. International Standards Organization. In: [vai.org.vn/docs/ISO/ISO31000.PDF](http://vai.org.vn/docs/ISO/ISO31000.PDF); <https://www.iso.org/standard/51073.html>
- KOENIGER, P., LEIBUNDGUT, C. (2000) Study of river water impacts on groundwater during floods in a dry flood plain of the upper Rhine Valley. Institute of Hydrology, Freiburg University, pp. 6. In: [http://www.hydrology.uni-freiburg.de/forsch/hartheim/Koe\\_gwecol.pdf](http://www.hydrology.uni-freiburg.de/forsch/hartheim/Koe_gwecol.pdf). Consultado a 14/ 12/2017.
- LEITÃO, T., OLIVEIRA, M.M., HENRIQUES, M.J., TERCEIRO, P., LOBO-FERREIRA, J.P. (2009) Modelo matemático do escoamento subterrâneo no vale de Alcântara. 4º relatório (final) da fase 2: Monitorização hidrogeológica sazonal e aprofundamento do estudo do efeito de maré. LNEC, Relatório 404/2009 – NAS, Lisboa, pp. 84.
- LINDSEY, R., DAHLMAN, L.A (2018) Climate Change: Global Temperature. NOAA. In: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature>. Consultado a 3/3/2019.

- LOBO-FERREIRA, J.P., OLIVEIRA, M.M., LEITÃO, T.E., NOVO, M.E., MOINANTE, M.J., MOREIRA, P., HENRIQUES, M.J. (1999) Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo. 1ª Fase Anexo Temático 4 Tomo A, Estudo realizado para a Hidrotécnica Portuguesa – Consultores para Estudos e Projectos Lda, Proc. 607/1/13022-GIAS, LNEC, Lisboa.
- LOBO-FERREIRA, J.P., OLIVEIRA, M.M., LEITÃO, T.E., NOVO, M.E., MOINANTE, M.J., MOREIRA, P., HENRIQUES, M.J. (2000) Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Sado. 1ª Fase, Estudo realizado para a Hidrotécnica Portuguesa — Consultores para Estudos e Projectos Lda, Proc. 607/1/13022-GIAS, LNEC, Lisboa.
- LOBO-FERREIRA, J.P., PINTO, I.V., MONTEIRO, J.P., OLIVEIRA, M.M., LEITÃO, T.E., NUNES, L., NOVO, M.E., SALVADOR, N., NUNES, J.F., POMBO, S., SILVA, M.F., IGREJA, A., HENRIQUES, M.J., SILVA, D., OLIVEIRA, L., MARTINS, T., MARTINS, J., BRACEIRO, A., HENRIQUES, R.S., MARTINS, R. (2011) Plano de Gestão de Bacia Hidrográfica do Tejo – Lote 2, Recursos Hídricos Subterrâneos, 1ª Fase, segunda versão dos conteúdos do PGRH, Versão 2, 28 Fevereiro, 2011, LNEC, Lisboa, pp. 755.
- LOBO-FERREIRA, J.P., VAZ PINTO, I., MONTEIRO, J.P., OLIVEIRA, M.M., LEITÃO, T.E., NUNES, L., NOVO, M.E., SALVADOR, N., NUNES, J.F., POMBO, S., SILVA, M.F., IGREJA, A., HENRIQUES, M.J., SILVA, D., OLIVEIRA, L., MARTINS, T., MARTINS, J., BRACEIRO, A. HENRIQUES, R.S., MONTE, M., QUARESMA, M., MARTINS, R. (2011a) Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo. Lote 2: Recursos Hídricos Subterrâneos, 1.ª FASE, Segunda Versão dos Conteúdos do PGRH Tejo. Versão 2, Relatório Hidroprojecto-LNEC-ICCE, PGRH Tejo. Lisboa, Maio 2011, pp. 938.
- LOBO-FERREIRA, J.P., VAZ PINTO, I., MONTEIRO, J.P., OLIVEIRA, M.M., LEITÃO, T.E., NUNES, L., NOVO, M.E., SALVADOR, N., NUNES, J.F., POMBO, S., SILVA, M.F., IGREJA, A., HENRIQUES, M.J., SILVA, D., OLIVEIRA, L., MARTINS, T., MARTINS, J., BRACEIRO, A. HENRIQUES, R.S., MONTE, M., QUARESMA, M., MARTINS, R. (2011b) Plano das Bacias Hidrográficas das Ribeiras do Oeste. Lote 2: Recursos Hídricos Subterrâneos, 1.ª FASE, Segunda Versão dos Conteúdos do PBH. Versão 1 Relatório Hidroprojecto-LNEC-ICCE, PGRH Tejo. Lisboa, 31 Janeiro, 2011, pp. 375.
- LOBO-FERREIRA, J.P., OLIVEIRA, L.S., HELENO, S. (2012) Subsidência de Terrenos Devido à Extracção de Água Subterrânea. Jornadas LNEC – Engenharia para a Sociedade, Investigação e Inovação: Cidades e Desenvolvimento, 18 – 20 Junho 2012, LNEC, Lisboa, pp. 4. In: [https://www.researchgate.net/publication/267556453\\_SUBSIDENCIA\\_DE\\_TERRENOS\\_DEVIDO\\_A\\_EXTRACAO\\_DE\\_AGUA\\_SUBTERRANEA](https://www.researchgate.net/publication/267556453_SUBSIDENCIA_DE_TERRENOS_DEVIDO_A_EXTRACAO_DE_AGUA_SUBTERRANEA). Consultado 5/8/2018.
- MAGALHÃES, P., MADUREIRA, N., RUSSO, C. PAIS, G., BORGES, C., CASTANHEIRA, M., MESTRE, P., NOGUEIRA, L., MESTRE, A.C., BATISTA, A.L., FONSECA, T., MOREIRA, I., FIGUEIREDO, J., CHANOCA, J. (2013) Plano Director Municipal do

- Seixal. Revisão – Proposta de Plano. Proposta de Delimitação da Reserva Ecológica Nacional. Seixal, CM Seixal, pp. 124.
- MENDONÇA, L. (1998) Caracterização Hidrogeológica e Contaminações de Alguns Sistemas Aquíferos de Portugal.
- MENDONÇA, J.J.L., SILVA, M.O. (2003) Identification of Saline Contaminations by Water Logging in Wells Located in the Area around the Estuary of the Sado River (Portugal). Tecnología de la Intrusión de Agua de Mar en Acuíferos Costeros: Países Mediterráneos ©IGME. Madrid 2003. ISBN. 84-7840-470-8, pp. 143-148.
- MOREIRA, C., LIMA, A., ASSUNÇÃO, C., OLIVEIRA, H., SANTOS, J., PROENÇA, P., TEIXEIRA, R. (2015) Cascais – Plano Director Municipal. Revisão. Reserva Ecológica Nacional. Volume I – Delimitação. DIC, DSTI, Cascais, pp. 19005-19126.
- NASCIMENTO, J., RIBEIRO, L., VIEGA DA CUNHA, L., OLIVEIRA, R. (2004) Impacto das Alterações Climáticas nos recursos Hídricos Subterrâneos de Portugal Continental. Alguns Resultados Preliminares. 7º Congresso da Água, APRH, pp. 15. In: <http://www.aprh.pt/congressoagua2004/PDF/89.PDF>. Consultado a 26/7/2018.
- NORONHA, V., PACHECO, P., GUERREIRO, M., RIBEIRO, L., DIAS, C., BARREIROS, C., PITÉ, C., MATOS, A., PEREIRA, A. (2012) Perfil Ambiental Região de Lisboa e Vale do Tejo. Administração Regional de Saúde de Lisboa e Vale do Tejo, IP, Lisboa, pp. 235.
- NOVO, M.E., OLIVEIRA, M.M., MARTINS, T. (2018) PROJECTO BINGO: Impactos das Alterações Climáticas nos Aquíferos do Baixo Tejo. 18.º ENASB/18.º SILUBESA, Porto, 10 – 12 Outubro 2018, pp. 8.
- OLIVEIRA, J.M.S. (2011) Impacto das Alterações Climáticas na qualidade das águas subterrâneas de aquíferos carbonatados em Portugal. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Geológica e de Minas, IST, pp. 170.
- OLIVEIRA, R., RIBEIRO, L., MENDES, M.P., NASCIMENTO, J. (2009) Plano Estratégico do Concelho de Sintra face às Alterações Climáticas. Alterações Climáticas no Município de Sintra. Recursos Hídricos. Projecto SIAM – Sintra. Sintra, pp. 26.
- OLIVEIRA, R., RIBEIRO, L., MENDES, M.P., NASCIMENTO, J. (2009a) Plano Estratégico do Concelho de Sintra face às Alterações Climáticas. Brochura 4 - Água. Sintra, pp. 4.
- OLIVEIRA, R., RIBEIRO, L., MENDES, M.P., NASCIMENTO, J. (2010) Plano Estratégico de Cascais Face às Alterações Climáticas – Sector Recursos Hídricos. IST, Lisboa, pp. 26.
- PARTIDÁRIO, M.R., VICENTE, G., SOARES, R.B. (2009) Avaliação Ambiental Estratégica PDM Vila Franca de Xira. Relatório Ambiental. Elaborado em Junho de 2008. Revisto em Maio de 2009. IST, CM VF Xira, pp. 99.
- PARTIDÁRIO, M.R., VICENTE, G., BELCHIOR, C., VAN NESPEN, S.U., FRADE, S., MARTINS, R., SANTOS, P. (2011) - Plano Director Municipal de Lisboa - Avaliação Ambiental Estratégica. Relatório Ambiental. IST, CLML, Lisboa, pp. 120.

- PLURAL – PLANEAMENTO URBANO RURAL E DE TRANSPORTES LDA. (2006) 1ª Revisão do PDM de Vila Franca de Xira. Caderno IX – Infraestruturas Urbanas (V3). Volume I. JULHO de 2004 (revisto em Março de 2006). CM VF Xira, Vila Franca de Xira, pp. 30.
- PLURAL – PLANEAMENTO URBANO RURAL E DE TRANSPORTES LDA. (2009) 1ª Revisão do PDM de Vila Franca de Xira. ANÁLISE E DIAGNÓSTICO. Caderno III – Caracterização Biofísica (V4). Volume I. JUNHO de 2004 (revisto em Março de 2006 e Maio de 2009). CM VF Xira, Vila Franca de Xira, pp. 78.
- PMAAC-AML (2018) PMAAC – Plano metropolitano de adaptação às alterações climáticas. Volume I - Definição do cenário base de adaptação para a AML (Área Metropolitana de Lisboa). Lisboa, pp. 296. 31 Julho 2018.
- PMAAC-AML (2018a) PMAAC – Plano metropolitano de adaptação às alterações climáticas. - Avaliação de impactes e vulnerabilidades. Guião metodológico para especialistas sectoriais. Lisboa, 2 Outubro 2018, pp. 54.
- PMAAC-AML (2018b) PMAAC – Plano metropolitano de adaptação às alterações climáticas. Volume II - Avaliação de impactes e de vulnerabilidades. Lisboa, 21 Dezembro 2018, pp. 244.
- PRESTON, B.L., STAFFORD-SMITH, M. (2009) Framing vulnerability and adaptive capacity assessment: Discussion paper. CSIRO Climate Adaptation Flagship Working paper No. 2. <http://www.csiro.au/org/ClimateAdaptationFlagship.html>.
- PROCESL (2014) Avaliação Ambiental Estratégica da Revisão do PDM de Mafra. Relatório Ambiental. Documento 2013-284-04-AMB-13214 Lisboa, 30 de Outubro de 2014, pp. 51. In: [http://www.cm-mafra.pt/sites/default/files/5\\_relatorioambiental.pdf](http://www.cm-mafra.pt/sites/default/files/5_relatorioambiental.pdf). Consultado a 23/7/2018.
- RIBEIRO, L.F.T. (coord.), Condesso de Melo, M.T., Miguéns, F. (2017) Estudo do Descritor Hidrogeologia para a Construção dos Túneis do Monsanto/Sta. Apolónia e Chelas/Beato, no Âmbito do Plano Geral de Drenagem de Lisboa. WaterWays, pp. 53.
- ROMEIRO, C.I.R. (2012) A Tecnologia SIG Aplicada ao Estudo da Vulnerabilidade à Poluição das Águas Subterrâneas na Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Oeste. Dissertação de Mestrado em Ciências e Sistemas de Informação Geográfica, Instituto Superior de estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova de Lisboa, pp. 123. In: <https://run.unl.pt/bitstream/10362/10537/1/TSIG0090.pdf>. Consultado 28/8/ 2019.
- SILVA, I., FIGUEIRA, A. (2017) Carta Ambiental do Município do Seixal (CAMS). Dossier I, Metodologia, Caracterização e Diagnóstico. 1ª Actualização. CM Seixal, DAMBS, Seixal, pp. 125.
- SILVA PINTO, C.M., ALVES, D., JUDAS, E.T., HENRIQUES, I., BARREIRA, S., LEMOS, S., LOPES, V., RODRIGUES, F., SEQUEIRA, M.J., VENTURA, P., ALVES, P., ARRUDA, P., AFONSO, C. (2011) PDM – Sintra. Revisão. Relatório Fundamentado

- de Avaliação da Execução do Plano Director Municipal de Sintra. CM Sintra, Sintra, pp. 325.
- SIMÕES, M.M.M. (1998) Contribuição para o Conhecimento Hidrogeológico do Cenozóico na Bacia do Baixo Tejo. Dissertação apresentada à Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Doutor em Geologia, na especialidade de Hidrogeologia. Monte da Caparica, pp. 310.
- STEFFEN, W., ROCKSTRÖM, J., RICHARDSON, K., LENTON, T.M., FOLKE, C., LIVERMAN, D., SUMMERHAYES, C.P., A.D., CORNELL, S.E., CRUCIFIX, M., DONGES, J.F., FETZER, I., LADE, S.J., SCHEFFER, M., WINKELMANN, R., SCHELLNHUBER, H.J. (2018) Trajectories of the Earth System in the Anthropocene.
- SUN, R., AN, D., LU, W., SHI, Y., WANG, L., ZHANG, C., ZHANG, P., QI, H., WANG, Q. (2016) Impacts of a flash flood on drinking water quality: case study of areas most affected by the 2012 Beijing flood. *Heliyon*, Volume 2, Issue 2, February 2016, pp. 14. [doi.org/10.1016/j.heliyon.2016.e00071](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2016.e00071).
- TABORDA, R., ANDRADE, C., MARQUES, F., FREITAS, M.C., RODRIGUES, R., ANTUNES, C., PÓLVORA, C. (2010) Plano Estratégico de Cascais Face às Alterações Climáticas – Sector Zonas Costeiras. Universidade de Lisboa, Lisboa, pp. 48.
- TEIXEIRA, P., ALMEIDA, L., BRANDÃO, J., COSTA, S., PEREIRA, S., VALÉRIO, E. (2018) Non-potable use of Lisbon underground water: microbiological and hydrochemical data from a 4-year case study. *Environmental Monitoring Assessment*, 190:455, pp. 13. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6828-7>.
- TEREZO, A., SANTOS, E., HENRIQUES, I., ESPADA, M., COLAÇO, R., BARREIRA, S., TRIGUEIROS, T., CARREIRA, A., PASTOR, A. (2014) PDM – Sintra. Revisão. TEMA 2 e 3 – Caracterização Biofísica, Paisagística e do Estado do Ambiente. Relatório de Caracterização e Diagnóstico do Concelho de Sintra. CM Sintra, GPDM/DAGE/DPPE, Sintra, pp. 115.
- TSI-TECNINVEST (2003) Nova Fábrica de Papel nas Instalações de Setúbal. Estudo de Impacte Ambiental. Resumo Não Técnico. Estudo T 10716 N° 2312, pp. 20. In: [http://www.tecninvest.com/eia\\_summary\\_reports/RNT\\_1012\\_FabricaPapel\\_Portu cel\\_Setubal\\_Jun2003.pdf](http://www.tecninvest.com/eia_summary_reports/RNT_1012_FabricaPapel_Portu cel_Setubal_Jun2003.pdf)
- UNEP (2018) Emissions Gap Report 2018. UN Environment, IPCC Side Event, COP 24, 5 December 2018. In: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/12/UNEP-1.pdf>. Consultado a 15/2/ 2019.
- UNISDR (2011) GAR 2011 – 2011 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Revealing Risk, Redefining Development. 2<sup>nd</sup> edition of the United Nations Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction, UNISDR – United Nations Office for Disaster Risk Reduction, pp. 208. In: <https://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2011/en/home/download.html>. Consultado a 15/2/2019.

WADA, Y., VAN BEEK, L.P.H., WEILAND, F.C.S., CHAO, B.F., WU, Y.-H., BIERKENS, M.F.P. (2012) Past and Future Contribution of Global groundwater depletion to sea-level rise Geophysical Research Letters, Vol. 39, doi: [10.1029/2012GL051230](https://doi.org/10.1029/2012GL051230), 2012, pp. L09402-L09408.

WANG, X., ZHANG, G., XU, Y.J. (2015) Impacts of the 2013 Extreme Flood in Northeast China on Regional Groundwater Depth and Quality. Water, 2015, Vol., 7, pp. 4575 – 4592. doi: [10.3390/w7084575](https://doi.org/10.3390/w7084575).

ZEFERINO, J.F.C. (2016) Modelação numérica (FEFLOW) e contaminação por intrusão salina do sistema aquífero Mio-Pliocénico do Tejo, na frente ribeirinha do Barreiro. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Geológica, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, pp. 82.

ZEKTSER, I.S., EVERETT, L.G. (eds.) (2004) Groundwater Resources of the World and their Use. UNESCO IHP-VI, Series on Groundwater, Nº 6, pp. 346. ISBN 92-9220-007-0, in: [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf000013\\_4433](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf000013_4433). Consultado a 29/3/2019.

## Internet sites

<http://www.aguasdosado.pt/qualidade/perguntas-fre-quentes-qualidade-agua>. Consultado a 20/7/2017.

<https://cister.fm/cister/wp-content/uploads/2018/03/PP-Resumo-Tejo-25-02-2018.pdf>. Consultado a 25/7/2017.

<https://climate.nasa.gov/news/2878/a-degree-of-concern-why-global-temperatures-matter/>. Consultado a 19/11/2019.

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2000\\_Year\\_Temperature\\_Comparison.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2000_Year_Temperature_Comparison.png). Consultado a 2/4/2019.

<https://dre.pt/application/file/611853>. Consultado a 25/6/2018.

<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1126518382177368/Saline%20Intrusion.pdf>. Consultado a 8/1/2019.

<https://gracefo.jpl.nasa.gov/resources/48/map-of-groundwater-storage-trends-for-earths-37-largest-aquifers/>. Consultado a 20/3/2019.

<https://opais.co.ao/index.php/2019/03/31/numero-de-mortos-do-ciclone-idai-sobe-para-746-centenas-de-milhares-de-deslocados/>. Consultado a 28/3/2019.

<https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>. Consultado a 11/3/2019.

<http://portaldoclima.pt/en/> – Portal do Clima. Consultado a 10/7/2018.

[https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/28jan\\_extinction](https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/28jan_extinction). Consultado a 19/11/2019.

<http://www.secil-group.com/wp-content/uploads/2016/10/5-Characterizacao-do-Ambiente-Afectado-8.pdf>. Consultado a 20/7/2017.

<https://sig.aml.pt/portal/apps/webappviewer/index.html?id=460aaba422a7499791e7298e9a3b13f8>. Consultado a 17/7/2018.

<https://snirh.apambiente.pt/snirh/atlasagua/sistemasaquiferos/imagens/orlaoccidental.gif>. Consultado a 4/7/2018.

<https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=4&idItem=3&idSubtem=link4d>. Consultado a 4/7/2018.

<https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=ALCOCHETE>.

Consultado a 2/8/2018.

<https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=ALMADA>. Consultado a 4/7/2018.

<https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=BARREIRO>.

Consultado a 2/8/2018.

<https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=CASCAIS>. Consultado a 25/7/2018.

<https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=LOURES>. Consultado a 23/7/2017.

<https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=MAFRA>. Consultado a 17/7/2018.

<https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=MOITA>. Consultado a 24/7/2017.

<https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=MONTIJO>. Consultado a 24/7/2018.

<https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=OEIRAS>. Consultado a 3/8/2018.

<https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=ODIVELAS> Consultado a 3/8/2018.

[https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=8&concelho=palmela&concelho\\_nome=Palmela](https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=8&concelho=palmela&concelho_nome=Palmela). Consultado a 20/7/2017.

<https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=PALMELA>. Consultado a 20/7/2017.

<https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=SEIXAL>. Consultado a 20/7/2017.

<https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=SESIMBRA>.

Consultado a 3/8/2018.

<https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=SET%DABAL>.

Consulta-do a 26/7/2017.

<https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=SINTRA>. Consultado a 25/7/2017.

<https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4&ccdr=LVT&conc=VILA%20FRANCA%20DE%20XIRA>. Consultado a 25/7/2017.

[https://stephenschneider.stanford.edu/Climate/Climate\\_Science/Science.html](https://stephenschneider.stanford.edu/Climate/Climate_Science/Science.html) Consultado a 17/3/2018

[https://unfccc.int/sites/default/files/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf). Consultado a 5/1/2019.

<https://www.britannica.com/science/Permian-extinction>. Consultado a 19/11/2019.

<https://www.cm-alcochete.pt/pages/179>. Consultado a 18/7/2017.

<https://www.cm-alcochete.pt/pages/181>. Consultado a 18/7/2017.

[http://www.cm-amadora.pt/images/TERRITORIO/INFORMACAO\\_GEOGRAFICA/PDF/TRAB\\_ACADEMICOS/relatorio\\_caract\\_fisica\\_inundacoes\\_amadora.pdf](http://www.cm-amadora.pt/images/TERRITORIO/INFORMACAO_GEOGRAFICA/PDF/TRAB_ACADEMICOS/relatorio_caract_fisica_inundacoes_amadora.pdf). Consultado a 3/8/2018.

<https://www.cm-moita.pt/pages/704>. Consultado a 16/7/2017.

<https://www.cm-moita.pt/pages/723>. Consultado a 20/7/2018.

<https://www.cm-palmela.pt/pages/1327>. Consultado a 18/7/2018.

<http://www.cm-seixal.pt/agua/agua>. Consultado a 19/7/2018.

<https://www.dezeen.com/2018/10/18/five-geoengineering-solutions-climate-change-un-ipcc-technology/>. Consultado a 19/3/2019.

[https://www.dn.pt/dossiers/cidades/inundacoes-em-portugal/cronologias/interior/grandes-cheias-104199\\_0.html](https://www.dn.pt/dossiers/cidades/inundacoes-em-portugal/cronologias/interior/grandes-cheias-104199_0.html). Consultado a 15/3/2019.

[http://www.edia.pt/folder/galeria/ficheiro/230\\_Almada\\_9gh6omvms7.pdf](http://www.edia.pt/folder/galeria/ficheiro/230_Almada_9gh6omvms7.pdf). Consultado a 17/7/2018.

<http://www.geocities.ws/cesol999/AquiferoCosteiro.htm>. Consultado a 15/12/2017.

<https://www.geological-digressions.com/astronomy-cycles-and-climate-change/>. Consultado a 3/3/2019.

<https://www.mafra-bewater.com.pt/pt/origens-da-agua>. Consultado a 19/7/2018.

<https://www.nasa.gov/press-release/nasa-satellites-reveal-major-shifts-in-global-freshwater>. Consultado a 20/3/2019.

<https://www.sciencenews.org/article/sunny-day-high-tide-floods-are-rise-along-us-coasts>. Consultado a 8/8/2019.

<https://www.sciencenews.org/article/top-five-us-coastal-cities-risk-flooding-rising-sea-levels>. Consultado a 8/8/2019.

<https://www.seametrics.com/blog/groundwater/>. Consultado a 27/3/2019.

<http://www.secil-group.com/wp-content/uploads/2016/10/5-Caracterizacao-do-Ambiente-Afectado-8.pdf>. Consultado a 26/7/2018.

<http://www.smasalmada.pt/web/portal/abastecimento-de-agua1>. Consultado a 24/7/2018.

<http://www.smasalmada.pt/web/portal/sistema-de-drenagem>. Consultado a 24/7/2018.

[http://www.m-almada.pt/portal/page/portal/AMBIENTE/RECUR\\_HIDR\\_EFLU/?amb=0&actualmenu=4823202&ambiente\\_rec\\_hid\\_eflu=12908809&cboui=12908809](http://www.m-almada.pt/portal/page/portal/AMBIENTE/RECUR_HIDR_EFLU/?amb=0&actualmenu=4823202&ambiente_rec_hid_eflu=12908809&cboui=12908809). Consultado a 24/7/2018.

<http://www.smas-mafra.pt/pages/1217>. Consultado a 22/7/2018.

[http://www.cm-mafra.pt/sites/default/files/8\\_ren\\_mjustif\\_072015\\_0.pdf](http://www.cm-mafra.pt/sites/default/files/8_ren_mjustif_072015_0.pdf). Consultado a 22/7/2018

<https://www.smithsonianmag.com/smart-news/how-did-great-dying-kill-96-percent-earths-ocean-dwelling-creatures-180970992/>. Consultado a 19/11/2019.

<https://www.uq.edu.au/news/article/2016/06/barrier-reef-rodent-first-mammal-declared-extinct-due-climate-change>. Consultado a 19/7/2018.

<http://www2.icnf.pt/portal/ap/r-nat/rnet/geo>. Consultado a 25/7/2018.

