

Rute Sofia Figueiredo Pedro

QUALIDADE DAS MASSAS DE ÁGUA SUPERFICIAIS DO MUNICÍPIO DE  
LEIRIA NO CONTEXTO DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

UNIVERSIDADE D  
COIMBRA



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA



Rute Sofia Figueiredo Pedro

**QUALIDADE DAS MASSAS DE ÁGUA SUPERFICIAIS DO  
MUNICÍPIO DE LEIRIA NO CONTEXTO DAS ALTERAÇÕES  
CLIMÁTICAS**

VOLUME 1

Dissertação no âmbito do mestrado em Geociências na área de especialização de Recursos Geológicos orientada pelos Professora Doutora Ana Maria Aguiar Castilho Ramos Lopes, Professor Doutor Alexandre Oliveira Tavares e Engenheira do Ambiente Margarida Morais, e apresentada na unidade orgânica de Dissertação de Recursos Geológicos ao Departamento de Ciências da Terra.

Setembro de 2018

Dissertação de Recursos Geológicos

# QUALIDADE DAS MASSAS DE ÁGUA SUPERFICIAIS DO MUNICÍPIO DE LEIRIA NO CONTEXTO DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

Rute Sofia Figueiredo Pedro

Dissertação no âmbito do mestrado em Geociências na área de especialização de Recursos Geológicos orientada pelos Professora Doutora Ana Maria Aguiar Castilho Ramos Lopes, Professor Doutor Alexandre Oliveira Tavares e Engenheira do Ambiente Margarida Morais, e apresentada na unidade orgânica de Dissertação de Recursos Geológicos ao Departamento de Ciências da Terra

Setembro de 2018



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA



## **Agradecimentos**

Chegar até esta fase não seria possível sem o auxílio, boa vontade e colaboração de algumas pessoas com quem me identifico. Por esse motivo agradeço desde já a todos os que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Em primeiro lugar gostaria de agradecer aos meus pais por me permitirem evoluir os estudos até onde me encontro hoje e por serem um exemplo do que é dedicação e paixão. Ao meu namorado, Francisco por sempre me apoiar no que preciso.

Ao município de Leiria e ao laboratório dos Serviços Municipalizados de Águas Residuais de Leiria pelos recursos disponibilizados e por toda a ajuda prestada no tratamento de análises. Um obrigado ao meu colega Nuno Coelho por me ter ajudado durante a companhia de amostragem.

Aos meus orientadores Doutora Ana Castilho, Doutor Alexandre Tavares e Engenheira Margarida Morais que me guiaram ao longo da elaboração do trabalho.

Um especial agradecimento à Vereadora Ana Esperança por todos os esforços realizados no meu sentido e aos meus colegas de trabalho Telma Fontes e Rui Andrade que me ensinaram muito.

Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações  
Climáticas

*À minha avó.*

# Índice

---

Índice .....	4
Palavras-chave .....	9
Keywords .....	9
Resumo .....	9
Abstract.....	11
1. Introdução.....	14
1.1 Objetivos .....	17
1.2 Enquadramento dos Referenciais para as Alterações Climáticas .....	18
1.2.1 Modelos de Projeção.....	19
1.3 Enquadramento Legal – Lei da Água.....	23
1.3.1 Sistema de Classificação do Estado Ecológico.....	24
1.3.2 Elementos e qualidade biológica.....	25
1.3.3 Elementos de qualidade química .....	25
1.3.4 Elementos de qualidade hidromorfológica .....	26
2. Definição da área de estudo.....	28
2.1 Localização da área de estudo .....	28
2.2 Geologia.....	29
2.2.1 Estruturas Tectónicas.....	33
2.3 Clima.....	34
2.3.1 Condições meteorológicas nos anos de 2017 e 2018.....	36
2.4 Morfologia e Hidrografia.....	37
2.5 Ocupação e Uso do Solo .....	42
3. Metodologia.....	46
3.1 Definição de elementos de avaliação .....	50
3.2 Medição “in situ” de parâmetros físico-químicos.....	51
3.3 Campanha de amostragem para análise química laboratorial.....	53
3.4 Determinação de constituintes químicos em laboratório .....	55

# Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

4.	Avaliação e Observação de Massas de Água.....	57
4.1	Pontos de Análise .....	58
4.1.1	Nascente do Rio Lis .....	58
4.1.2	Ribeira do Sirol .....	60
4.1.3	Troço intermédio do rio Liz.....	61
4.1.4	Lagoa da Ervedeira .....	63
5.	Resultados.....	66
5.1	Resultados da campanha de monitorização de parâmetros físicos e químicos nas massas de água .....	66
5.2	Avaliação do estado químico das águas.....	76
5.3	Monitorização da altura da coluna de água da Lagoa da Ervedeira .....	77
6.	Discussão .....	81
6.1	Exposição.....	81
6.2	Sensibilidade.....	82
6.2.1	Uso e Ocupação do Solo.....	82
6.2.2	Geologia .....	83
6.2.3	Morfologia.....	83
6.2.4	Hidrografia e hidrogeologia .....	83
6.3	Impacto Potencial.....	84
6.4	Capacidade Adaptativa .....	85
7.	Conclusão.....	88
	Referências Bibliográficas .....	92

## Índice de Figuras

Figura 1- Mapa classificativo do risco hídrico (elaborado segundo o modelo Aquedut Global Maps 2.1).....	15
Figura 2 - Risco hídrico para Portugal continental (elaborado segundo o modelo Aquedut Global Maps 2.1) .....	16
Figura 3 - Classes de representação da ocupação e uso de solo em Leiria de 1958 a 2011 ( Barros, Tavares, Monteiro & Santos, 2018) .....	17
Figura 4 - Modelo de projeção das concentrações de CO <sub>2</sub> de 1850 a 2300 (adaptado de RCP Database – version 2.0.5).....	20
Figura 5 - Representação esquemática da determinação do estado ecológico da massa de água (adaptado de Instituto da água, 2009).....	24
Figura 6 - Mapa de localização do concelho de Leiria e da bacia hidrográfica do Lis.....	28
Figura 7 - Carta geológica da BH do Lis (adaptado de LNEG, s.d.) .....	29
Figura 8 - Classificação de Koopen de Portugal continental (adaptado de IPMA, s.d.) .....	34
Figura 9 - Gráfico combinado de temperatura média e precipitação média para o período de tempo entre 1961 e 1990 a partir da estação meteorológica de Monte Real. (adaptado de SNIRH, 2018) .....	35
Figura 10 - Gráfico de dados de precipitação dos anos hidrológicos de 2017 e 2018 da estação 14D/03C (dados retirados de Freemeteo, 2018) .....	36
Figura 11 - Morfologia da área da bacia hidrográfica do rio Lis.....	39
Figura 12 - Bacia Hidrográficas do Lis e pontos de monitorização da qualidade das massas de água superficiais segundo SNIRH .....	40
Figura 13 - CLC de 1990 da Bacia Hidrográfica do Lis .....	43
Figura 14 - CLC de 2012 da Bacia Hidrográfica do Lis .....	44
Figura 15 - Esquema de avaliação das massas de água superficiais (adaptado de Fritzche, et al, 2014) .....	46
Figura 16 - Determinação de multiparâmetros "in situ" .....	52
Figura 17 - Método de armazenamento das amostras durante a campanha de recolha .....	54
Figura 18 - Método de titulometria para a determinação da dureza total.....	56
Figura 19 - Localização dos pontos de amostragem .....	57
Figura 20 - Ponto de amostragem P1, Fontes, Leiria .....	59
Figura 21 - Ponto de amostragem P2, Andrinos, Leiria.....	61
Figura 22 - Obra de alteração da foz do rio. A cinzento está representado o traçado original e a vermelho o projeto de Oudinout (Leite, C., 2016, adaptado de Eldsen, G, 1765).....	62

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

Figura 23 - Ponto de amostragem P3, Percurso Polis, Leiria .....	62
Figura 24 - Ponto de amostragem, P4, Lagoa da Ervedeira .....	65
Figura 25 - Gráfico de pH para cada ponto amostrado (1 Exurgência do rio Lis, 2 Ribeira do Sirol, 3 troço intermédio do rio Lis e 4 lagoa da Ervedeira) .....	68
Figura 26 - Gráfico de % de saturação de O <sub>2</sub> para cada ponto amostrado (1 Exurgência do rio Lis, 2 Ribeira do Sirol, 3 troço intermédio do rio Lis e 4 lagoa da Ervedeira).....	69
Figura 27 - Gráfico dos valores médios de pe para cada ponto amostrado (1 Exurgência do rio Lis, 2 Ribeira do Sirol, 3 troço intermédio do rio Lis e 4 lagoa da Ervedeira).....	69
Figura 28 - Gráfico dos valores médios de Condutividade Elétrica de referência nos pontos amostrado (1 Exurgência do rio Lis, 2 Ribeira do Sirol, 3 troço intermédio do rio Lis e 4 lagoa da Ervedeira) .....	70
Figura 29 - Diagrama de Piper com a análise dos pontos amostrados .....	73
Figura 30 - Diagrama de Stiff com a análise dos pontos amostrados .....	74
Figura 31 - Localização dos diagramas de Stiff dos pontos de amostragem no mapa da BH do Lis .....	75
Figura 32 - Localização das Estacas de medição da variação da coluna de água em P4.....	78
Figura 33 - Gráfico da variação da volumetria hídrica da Lagoa da Ervedeira.....	80
Figura 34 - Elementos para a determinação da vulnerabilidade (adaptado de Fritzche, <i>et al</i> , 2014) .....	81

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Projeções Climáticas para o município de Leiria (adaptado de CEDRU, 2018) .....	22
Tabela 2 - Limites máximos de parâmetros físico-químicos gerais.....	25
Tabela 3 - Limites máximos de 4 elementos do grupo Poluentes específicos .....	26
Tabela 4 - Ocupação do solo da bacia hidrográfica do Lis .....	45
Tabela 5 - Componentes de Vulnerabilidade, fatores e indicadores para o município (adaptado de Fritzsche <i>et al.</i> , 2017) .....	48
Tabela 6 - Dados recolhidos da campanha de determinação de parâmetros <i>in situ</i> ; 6(a) em P1, 6(b) em P2, 6(c) em P3 e d(d) em P4.....	66
Tabela 7 - Análises laboratoriais da campanha de amostragem.....	71
Tabela 8 - Alteração da coluna de água da Lagoa da Ervedeira.....	79

# Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

## Palavras-chave

---

Massas de águas superficiais; Estado de Conservação e avaliação da qualidade; Monitorização; Hidrogeoquímica; Gestão dos Recursos Hídricos

## Keywords

---

Surface water bodies; Conservation status and quality evaluation; Monitoring; Hydrogeochemical; Management of Hydrologic Resources

## Resumo

---

A água, sendo um bem essencial ao ser humano, é um foco de preocupação nas sociedades atuais e do passado. Atualmente considera-se importante garantir a sua qualidade bem como o equilíbrio dos ecossistemas dependentes dela, quer em espaços urbanos quer em espaços rurais e florestais. Com o objetivo de atingir a qualidade de vida e igualdade entre a população mundial, a Organização das Nações Unidas decretou que a água potável e o saneamento básico são dois direitos universais (A/RES/64/292, 2010) envidando os países esforços no sentido de cumprir estes direitos.

O desenvolvimento populacional e o conseqüente aumento industrial e agrícola que daí advém, aliado às alterações de uso e ocupação de solo, são fatores que, por si só, podem provocar perturbações profundas na qualidade das massas de água superficiais (Clapcott et al., 2012).

Na temática da qualidade dos recursos hídricos é também importante salientar as Alterações Climáticas e os seus efeitos. A emissão descontrolada de gases com efeito de estufa (GEE), representa um dos principais fatores influenciadores para o aceleração dos processos de degradação. Não sendo, na atual fase, possível reverter a quantidade de GEE já emitidos, nem, conseqüentemente, impedir os efeitos das alterações climáticas, torna-se necessário mitigar as possíveis conseqüências e desenvolver um conjunto de medidas de prevenção e adaptação diretamente relacionadas com este recurso natural (Intergovernmental Painel on Climate Change, 2007).

As alterações climáticas são sentidas um pouco por todos os setores que tocam na vida humana. As projeções mundiais, e para o caso particular do município de Leiria, são esperadas que exista uma diminuição da precipitação média anual, um aumento da temperatura média anual, o aumento dos períodos de seca, a subida do nível médio da água do mar e o aumento de eventos extremos (como é o caso de períodos de precipitação muito intensa ou de ondas de calor).

A garantia de uma boa qualidade hídrica só pode ser assegurada com um programa de monitorização das massas de água baseado no estudo detalhado de parâmetros químicos e físicos. Por esse motivo, foi desenvolvido um programa de amostragem, iniciado em setembro de 2017 e concluído em junho de 2018, a massas de água superficiais na envolvente à cidade de Leiria.

O programa de amostragem foi realizado em 4 pontos distintos do município e que estavam sujeitos a diferentes elementos influenciadores. Foi então tido em

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

consideração a ocupação e uso de solo, a topografia do terreno, a litologia da área e as alterações climáticas projetadas para o município. Os pontos de amostragem localizam-se junto a um ponto de exurgência do Rio Lis (localmente denominada como nascente), na Ribeira do Sirol, num troço intermédio do rio Lis e na Lagoa da Ervedeira.

A campanha de amostragem de parâmetros químicos, realizada no dia 13 de março de 2018, permitiu determinar os constituintes principais das águas amostradas. Verifica-se que as águas recolhidas na nascente do rio Lis, na Ribeira do Sirol e no troço intermédio de rio Lis, apresentam fácies bicarbonatadas cálcicas ( $\text{Ca-HCO}_3$ ). As análises incidiram tanto nos constituintes dissolvidos como nos totais e verificou-se que as espécies químicas estão essencialmente sob a forma dissolvida e não existem evidências de nitratos, fosfatos ou fluoretos.

As concentrações dos restantes constituintes são, tendencialmente, maiores ao longo da linha de água, de montante para jusante. O ponto analisado na Ribeira do Sirol revela a presença de alguns elementos na água, como é o caso de ferro, manganês e alumínio em quantidades superiores aos restantes, o que pode ser atribuído ao uso agrícola do solo e técnicas associadas.

O terceiro ponto de amostragem, na linha de água do rio Lis, em contexto urbano, representa uma mistura da água da sua nascente e dos seus tributários, como é o caso da Ribeira do Sirol. Neste ponto é importante destacar que o catião amónia possui uma concentração superior aos restantes pontos analisados, e, estando frequentemente relacionada com poluição de origem fecal, pode ser um indicador o uso urbano da área.

A água da Lagoa da Ervedeira é notoriamente distintiva da dos pontos amostrados referidos anteriormente. Os principais constituintes dissolvidos são Na e Cl e Ca, que poderá denotar a influência de estruturas tectónicas e diapíricas próximas da área. Ao longo do período da campanha foi ainda controlada a variação do nível hidrostático da lagoa da Ervedeira tendo aumentado 53 cm o tamanho da sua coluna de água, entre as cotas 50,85 e 51,33 metros.

### Abstract

---

Water, being an essential good for the human being, is a focus of concern in past and today's and past societies. Today is considered that it is crucial to ensure its quality as well as the balance of all the ecosystems dependent on it, both in urban spaces and in rural and forest areas. With the aim of achieving quality of life and equality among the world's population, the United Nations has decreed that drinking water and basic sanitation are two universal rights (A / RES / 64/292, 2010) and since then, countries have been making efforts to enforce these rights.

Population development, and consequently the resulting increase in industry and agriculture, coupled with changes in land use and occupation, are factors that in themselves can cause profound disturbances in the quality of surface water bodies (Clapcott et al., 2012).

Regarding the quality of water resources, it is also important to emphasize Climate Change and its effects. The uncontrolled emission of greenhouse gases (GHG) represents one of the main factors influencing the acceleration of the degradation process. Since it is impossible at the present stage to reverse the amount of GHGs already emitted or, consequently, to prevent the effects of climate change, it is necessary to determinate the possible consequences and develop a set of prevention and adaptation measures directly related to this natural resource (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007).

Climate changes are affecting a little bit in all sectors touching human life. The global projections, and for the particular case of the municipality of Leiria, are expected to decrease annual precipitation, an increase in mean annual temperature, an increased periods of drought, an increase in the mean sea level and an increase in extreme precipitation events (as is the case of very intense periods of precipitation and heat waves).

Ensuring good water quality can only be ensured through a water mass monitoring program based on a detailed study of chemical and physical parameters. For this reason, a sampling program was developed, starting in September 2017 and completed in June 2018, of superficial water bodies surrounding the city of Leiria.

The sampling program was carried out in four distinct points of the municipality and representing different elements. Soil occupation and use, topography of the land, lithography of the area and climate change projected for the municipality were then taken into account. The sampling points are located near the source of the Lis River, the Ribeira do Sirol, in intermediate sector of the Lis River and the Ervedeira Lagoon.

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

The chemical parameters sampling campaign, held on March 13, 2018, allowed us to determine the main constituents of the sampled waters. It is verified that the waters collected at the source of the Lis river, the Ribeira do Sirol and the Lis River, present calcium bicarbonate facies (Ca-HCO<sub>3</sub>). The analyses focused on both the dissolved and total constituents and it was found that the chemical species are essentially in the dissolved form and there is no evidence of nitrates, phosphates or fluorides.

The concentrations of the remaining constituents tend to be larger along the water line, from upstream downstream. The point analyzed in Ribeira do Sirol reveals the presence of some elements, such as Iron, Manganese and Aluminum in higher quantities, which can be attributed to the agricultural use of the soil and associated techniques.

The third sampling point, in the water line of the Lis river, in an urban context, represents a mixture of the water of its source and its tributaries, as is the case of Ribeira do Sirol. At this point it is important to highlight that the ammonium cation has a higher concentration than the other analyzed points, being frequently related to faecal pollution.

The water of the Lagoa da Ervedeira is notoriously distinctive from the points previously sampled. The main constituents dissolved are Na and Cl and Ca, which may denote the influence of tectonic structures and diapirs near the area. During the period of the campaign, the variation of the hydrostatic level of the Ervedeira lagoon was also controlled, which increased its water column by 53 cm between the 50.85 and 51.33 meters.

## 1. Introdução

---

No dia 28 de julho de 2010, a Assembleia Geral das Nações Unidas, através da Resolução A/RES/64/292, decretou que a água potável e o saneamento são um direito à vida e à dignidade humana. Em abril de 2011, foi ainda referido pelo Comité das Nações Unidas que o acesso universal ao saneamento é, *“não apenas fundamental para a dignidade humana e a privacidade, mas também um dos principais mecanismos de proteção da qualidade”* dos recursos hídricos (comentário geral nº 15). Assim sendo, torna-se importante, não só a nível ambiental, mas também a nível civil, assegurar a qualidade dos recursos hídricos para que, a partir deles, possa ser extraído o máximo proveito (United Nations General Assembly, 2010).

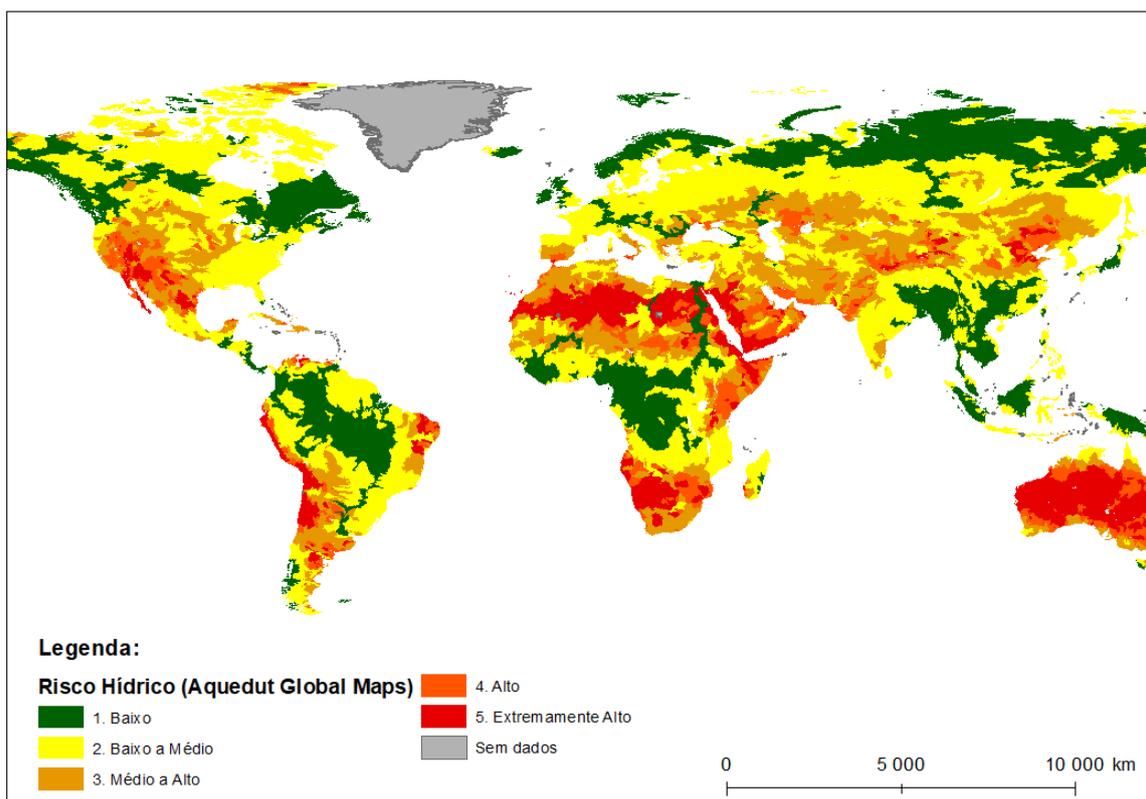
As sociedades humanas desde sempre compreenderam que a Água era uma mais-valia no dia-a-dia habitando as margens de grandes cursos hídricos. Atualmente é possível observar a concentração urbana em redor de rios, estuários, ribeiras e albufeiras, assim como a desertificação em pontos do planeta onde os recursos hídricos são escassos ou de difícil acesso.

É importante compreender que atualmente cerca de um terço da população mundial tem acesso insuficiente à água potável (United Nations, 2016). As alterações climáticas, as alterações de uso do solo, bem como a persistente poluição dos recursos hídricos, irão agravar o problema de acessos às massas de água potáveis. As alterações climáticas potencialmente irão exercer uma grande pressão na qualidade e quantidade hídrica disponível. A ocorrência de ondas de calor, períodos de seca e eventos de precipitação intensa, são processos que afetam diretamente as massas de água superficiais e subterrâneas pelo que a sua manutenção e monitorização são fatores prioritários para a sociedade.

O desenvolvimento social e o aumento da população implicam, inevitavelmente, tal como em diversos setores, uma maior utilização de fontes de água doce. Um acréscimo do uso implica um acréscimo do potencial de contaminação humana e, por esse motivo, deve ser realizada uma avaliação constante da qualidade e manutenção do estado de conservação.

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

Segundo a classificação elaborada a partir do modelo *Aquedut Global Maps 2.1 Data*, pelo *World Resources Institute* (WRI, 2018), cujo objetivo é avaliar o risco hídrico através de indicadores de quantidade física e de qualidade química das massas de água ao longo do mundo, a grande maioria da Europa apresenta risco hídrico baixo a médio ou médio a alto, existindo algumas manchas pontuais representativas de risco alto (Figura 1).

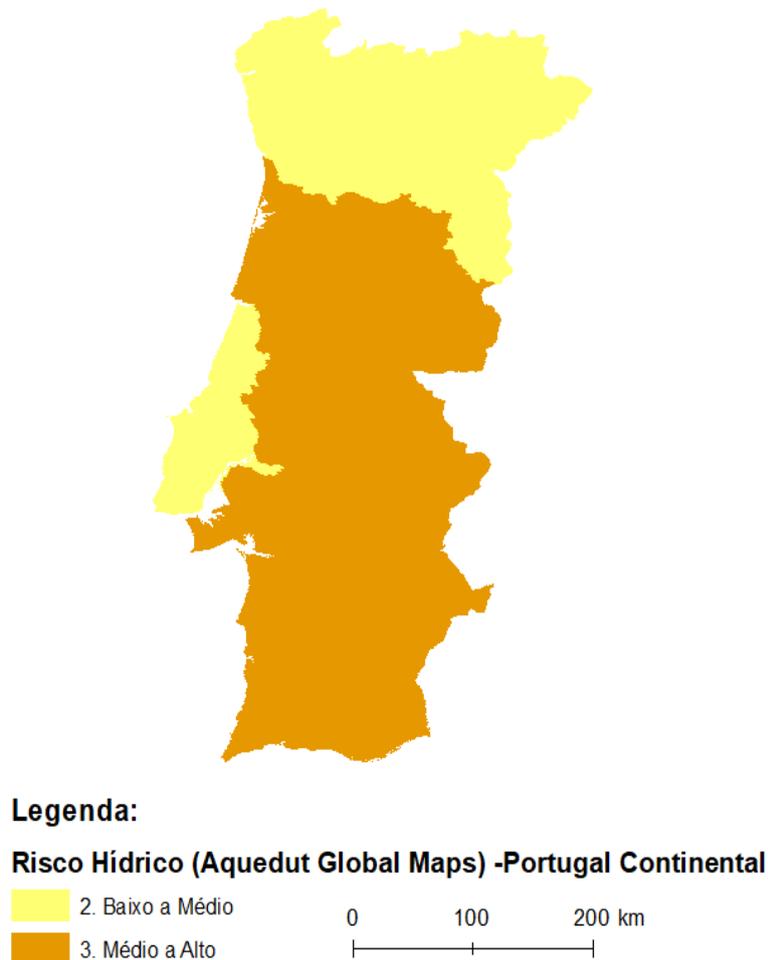


**Figura 1- Mapa classificativo do risco hídrico (elaborado segundo o modelo Aquedut Global Maps 2.1)**

A região do Norte de África segundo o modelo apresenta um fator de risco que varia entre alto e muito alto, sendo este fator impulsionado pela falta de reservas hídricas na região e pela falta de programas de gestão das mesmas. O mesmo fator de risco repete-se na região da Arábia e em outros países asiáticos, como é o caso da Mongólia, Paquistão, Índia e parte da China (WRI, 2018).

O mapa do continente americano demonstra um aumento do risco tendencialmente no litoral oeste, com uma mancha de risco médio a alto concentrada na área entre os Estados Unidos da América e o México. O continente da Oceânia também representa uma área com um risco extremamente elevado (WRI, 2018).

Atualmente a área de Portugal continental, está categorizada como tendo risco hídrico médio a alto e risco baixo a médio. No concelho de Leiria apenas uma pequena fração da área Oeste se encontra com registo médio a alto, estando a restante área categorizada com risco hídrico baixo a médio (Figura 2).



**Figura 2 - Risco hídrico para Portugal continental (elaborado segundo o modelo Aqedut Global Maps 2.1)**

As alterações climáticas, a par da ação humana, são consideradas como um dos principais fatores de perturbação dos ecossistemas do planeta. Os modelos de projeção, tendo em conta o futuro de emissões de GEE, definem a maior ou menor probabilidade de ocorrência para um conjunto de fatores (IPMA, 2018). Tendo em conta as projeções, em conjunto com os dados da qualidade hídrica atual e da exploração dos recursos hídricos, é necessário prever quais serão os maiores impactos nas massas de água superficiais e desenvolver um conjunto de medidas de adaptação.

As medidas de adaptação às alterações climáticas são uma ação prioritária a nível mundial e devem ser particularizadas tendo em conta as necessidades de cada

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

região para que seja possível responder de forma eficaz aos problemas ambientais que surgirão.

O uso e ocupação do solo é também um grande fator modificador da qualidade hídrica. Em Portugal continental, registam-se grandes transições nas últimas três décadas e o município de Leiria (Figura 3) não é exceção (Barros *et al.*, 2018).

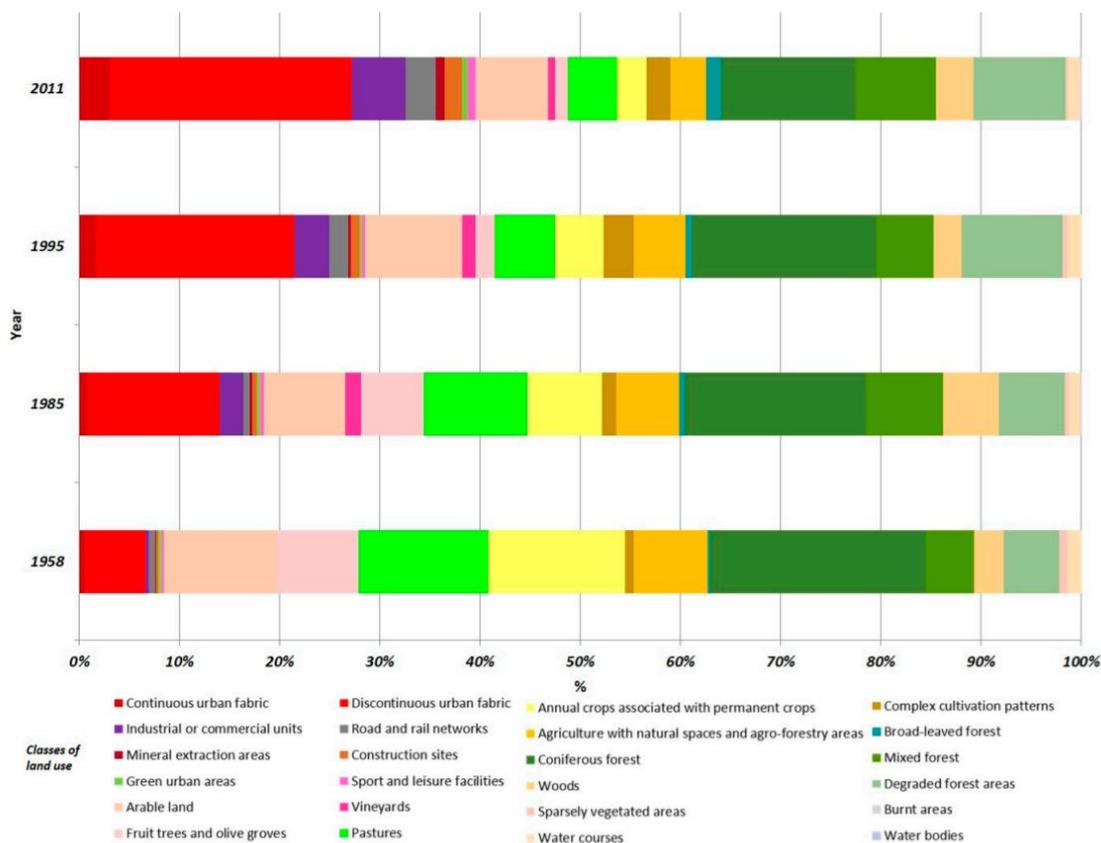


Figura 3 - Classes de representação da ocupação e uso de solo em Leiria de 1958 a 2011 ( Barros, Tavares, Monteiro & Santos, 2018)

### 1.1 Objetivos

O trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação de Mestrado em Geociências, no ramo de recursos geológicos, tem como objetivos os seguintes pontos:

- Caracterizar a qualidade do estado atual de alguns pontos das massas de água superficiais da bacia hidrográfica do Lis.
- Analisar os potenciais elementos influenciadores da qualidade hídrica;

- Avaliar as projeções das alterações climáticas e determinar as principais influências para a bacia hidrográfica do Lis
- Elaborar um conjunto de medidas adaptativas que salvaguardem a quantidade e qualidade hídrica das massas superficiais, diminuindo desta forma a vulnerabilidade do sistema.

## 1.2 Enquadramento dos Referenciais para as Alterações Climáticas

A Convenção-Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas resulta de um tratado internacional realizado na Conferência das Nações Unidas no ano de 1992. O objetivo do tratado era a estabilização dos gases de efeito de estufa (GEE) em níveis que evitassem a propagação de alterações climáticas. Apesar de ter ficado estabelecido uma diminuição dos GEE, só em 1997, no Protocolo de Quioto, ficaram definidas metas quantificáveis para essa redução (United Nations 1998, European Commission, 2012, Agência Portuguesa do Ambiente, s.d.)

São considerados gases de efeito de estufa os seguintes elementos: dióxido de carbono (que é o constituinte maioritário), óxido de azoto, hidrofluorcarbonetos, perfluorcarbonetos, hexafluoreto de enxofre e trifluoreto de azoto. (Agência Portuguesa do Ambiente, 2018).

O Protocolo de Quioto, foi até à data, o único tratado internacional que visa limitar as emissões de GEE. Segundo o documento, assinado por 84 países, as emissões globais deveriam ser reduzidas em 5,2% até 2012, estabelecendo-se diferentes metas para cada país e aumentando os limites de produção para alguns países em desenvolvimento.

Apesar dos esforços de alguns países, o primeiro período de compromisso (2008 – 2012) atingiu valores desanimadores para as metas, uma vez que os níveis de dióxido de carbono na atmosfera continuaram a aumentar sem nenhum registo de desaceleração.

Atualmente, está em curso o segundo período de compromisso, que decorre entre os anos de 2013 e 2020, no qual os países concordaram com uma redução mais ambiciosa de 18% do valor de GEE na atmosfera em comparação com 1990.

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

As emissões de gases de efeito de estufa são um denominador comum em vários setores de atividade e, dessa forma é simples compreender a necessidade de limitações políticas para a que seja possível a aquisição dos resultados desejáveis.

Segundo referido pela Agência Portuguesa do Ambiente, “*para fazer face ao problema das alterações climáticas existem essencialmente, duas linhas de atuação – Mitigação e Adaptação. Enquanto a mitigação é o processo que visa reduzir a emissão de GEE para a atmosfera, a adaptação é o processo que procura minimizar os efeitos negativos dos impactos das alterações climáticas nos sistemas biofísicos e socioeconómicos*” (Agência Portuguesa do Ambiente, s.d.).

Segundo a *CNA Corporation*, 2007, as alterações climáticas são atualmente os desafios para a chave do futuro, quer em países desenvolvidos, quer para países em desenvolvimento e é considerado um dos principais fatores de relevo nível social e ambiental, uma vez que, as suas consequências, estão a ocorrer a um ritmo sem precedentes.

Com o aumento da população, a crescente procura por alimentos, água e energia e uma base de recursos naturais cada vez menor, as alterações climáticas irão funcionar como um “multiplicador de ameaças”, agravando a escassez de recursos e aumentando os problemas socioeconómicos. Segundo a CEDRU (2018), as alterações climáticas constituem o maior desafio global em termos de desenvolvimento sustentável, esperando-se impactos complexos, disruptivos e extremamente exigentes nas políticas públicas territoriais.

Fritzsche et al. (2017) referem que a magnitude das alterações climáticas dependem da quantidade de gases de efeito de estufa que serão emitidos para a atmosfera. Desta forma, é necessário projetar as alterações com base nos atuais valores de GEE bem como em possíveis cenários de concentrações futuras.

### 1.2.1 Modelos de Projeção

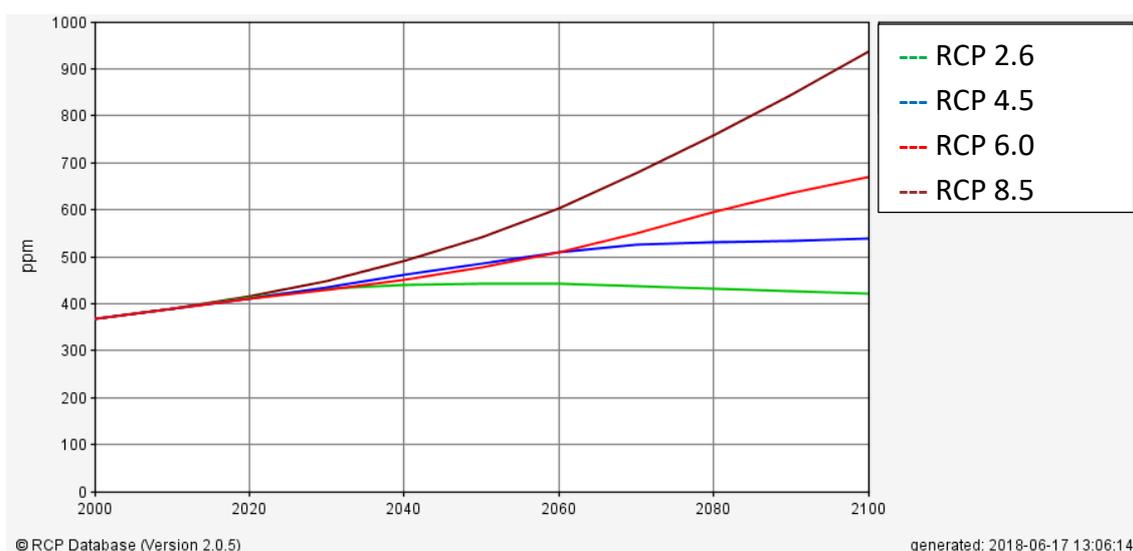
Os modelos globais de clima são baseados em princípios físicos gerais da dinâmica dos fluidos e termodinâmica e têm origem na previsão numérica de tempo, descrevendo as interações entre os componentes do sistema climático global, compreendendo a atmosfera, os oceanos e uma descrição básica da superfície da Terra (IPMA, s.d.). A par destes modelos, existem os modelos regionais, que, metodologicamente assentes nos globais, permitem o estudo dos processos regionais

e apresentam informação relevante para estudos de vulnerabilidade, riscos, impactos e adaptação (Wayne, 2013).

O modelo *Representative Concentration Pathways (RCP)* é o mais recente modelo regional para a Europa, de projeção de alterações climáticas e tem como um dos principais objetivos representar projeções temporais dependentes da concentração de gases de efeito de estufa contabilizando os seus aumentos e o seu nível de estabilização, traduzindo a trajetória temporal para cada hipótese (IPCC, 2007).

O modelo desenvolve quatro hipóteses distintas para um período de tempo de 100 anos (2000-2100) com evoluções diferenciadas da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico (Vuuren et al, 2011, Wayne, 2013).

- RCP 2.6 – é o cenário mais favorável, e estima um pico de aumento das concentrações de dióxido de carbono em 490 ppm até 2050, e depois estas diminuem progressivamente até 2100;
- RCP 4.5 – prevê aumento da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico até 650 ppm em 2070 seguida de uma estabilização deste valor até 2100;
- RCP 6.0 – semelhante ao anterior, porém de forma mais intensificada. Pressupõe um aumento de 850ppm de CO<sub>2</sub> atmosférico até 2100, estabilizando os valores a partir dessa data;
- RCP 8.5 – pressupõe um aumento contínuo da emissão de gases, atingindo uma concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico de 950 ppm em 2100.



**Figura 4 - Modelo de projeção das concentrações de CO<sub>2</sub> de 1850 a 2300 (adaptado de RCP Database – version 2.0.5)**

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

O gráfico da figura 4, demonstra a variação da concentração de um dos elementos do grupo de GEE, que é representativo do conjunto já que este é o constituinte maioritário e aquele que mais influencia as alterações (Karl, 2009). Do ponto de vista de um futuro a médio prazo, o gráfico apresenta as curvas dos modelos de RCP 8.5 e RCP 6.0 com um crescimento contínuo, não sendo previsível a redução ou estabilização da concentração de dióxido de carbono. Por outro lado, para o modelo RCP 4.5 nota-se uma estabilização e para o modelo RPC 2.6 existe uma diminuição destas concentrações. Numa análise a longo prazo, as projeções do modelo demonstram que o cenário 8.5 revela uma estabilização das concentrações de CO<sub>2</sub> no ano de 2240; o RCP 6.0 prevê a estabilização destas em 2140 enquanto os restantes cenários preveem a sua estabilização até ao fim do atual século XXI.

Note-se que o modelo RCP 2.6 é o único que projeta uma diminuição nos valores de concentração dos gases de efeito de estufa ao longo do tempo a partir de 2030, aproximadamente.

Os estudos climatológicos analisam, por base, longos períodos de tempo de uma dada região, geralmente 30 anos para que seja possível observar alterações a uma escala a longo prazo, e utilizam modelos conceptuais definidos e escolhidos consoante o cenário mais adequado (IPMA, s.d.).

As principais consequências sentidas na Europa, segundo a Direção-Geral da Ação Climática (Comissão Europeia, s.d.), divididas em 3 setores, são:

- Europa Meridional e Central – aumento das vagas de calor, incêndios florestais e períodos de seca cada vez mais frequentes;
- Região Mediterrânea – aumento da aridez, tornando-se consequentemente mais vulnerável a secas e incêndios florestais;
- Norte da Europa – aumento de períodos de intensa precipitação e, por este motivo, com vários períodos de cheias durante o Inverno.

Segundo a CEDRU (2018), as *“alterações climáticas constituem o maior desafio global em termos de desenvolvimento sustentável, esperando-se impactos complexos, disruptivos e extremamente exigentes para as políticas públicas territoriais”*. Deste modo, no âmbito do Plano Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas, foram aplicados à região de Leiria os modelos RCP 4.5 e o RPC 8.5 para o período de tempo entre 1961-1990 (CEDRU, 2018) (Tabela 1).

Os extremos climáticos são, na sua grande maioria, as consequências mais notórias para a sociedade (cenários de chuva extrema, tempestades, vagas de calor...), e demonstram ser o parâmetro mais complicado de projetar havendo sempre uma incerteza associada, tanto na frequência como na severidade.

É essencial, ao abordar o tema das alterações climáticas, falar de dois parâmetros que estão intrinsecamente ligados: a temperatura e a precipitação. Assim sendo, os resultados da aplicação dos modelos RCP 4.5 e RCP 8.5 originaram as seguintes projeções (Tabela 1):

**Tabela 1 - Projeções Climáticas para o município de Leiria (adaptado de CEDRU, 2018)**

<b>Variável</b>	<b>RCP 4.5</b>	<b>Período Temporal</b>	<b>RCP 8.5</b>
Temperatura Média Anual	Aumento de 1,2 °C	2041 – 2070	Aumento de 1,9 °C
	Aumento de 1,5 °C	2071 – 2100	Aumento de 3,4 °C
Temperatura Máxima diária	Aumento de 1,6 °C	2041 – 2070	Aumento de 2,5 °C
	Aumento de 1,8 °C	2071 – 2100	Aumento de 4,7 °C
Temperatura Mínima diária	Aumento de 1,5 °C	2041 – 2070	Aumento de 1,9 °C
	Aumento de 2,2 °C	2071 – 2100	Aumento de 3,7 °C
Número de Dias Muito Quentes	+ 4 dias	2041 – 2070	+ 5 dias
	+ 5 dias	2071 – 2100	+ 15 dias
Número de Noites tropicais	+ 2 dias	2041 – 2070	+ 4 dias
	+ 4 dias	2071 – 2100	+ 16 dias
Precipitação Média Anual	Diminuição de 4,7%	2041 – 2070	Diminuição de 7,7%
	Diminuição de 14%	2071 – 2100	Diminuição de 18%
Dias de precipitação	- 9 dias	2041 – 2070	- 6 dias
	- 12 dias	2071 – 2100	- 14 dias

### 1.3 Enquadramento Legal – Lei da Água

Em Portugal, a gestão das redes hidrográficas rege-se segundo o Plano Nacional da Água, destacando-se um conjunto de decretos-lei que têm como objetivo estabelecer o enquadramento para a gestão das águas superficiais e subterrâneas para que seja possível assegurar-se os seguintes parâmetros:

- *“Proteção e melhoria do estado dos ecossistemas aquáticos, terrestres e zonas húmidas;*
- *A utilização sustentável da água;*
- *Redução da poluição das águas superficiais e subterrâneas;*
- *Mitigação do efeito das inundações e secas;*
- *Garantir a qualidade hídrica satisfatória para uma utilização sustentável, equilibrada e equitativa;*
- *Proteção das águas marítimas e territoriais;*
- *Cumprimentos dos objetivos dos acordos internacionais que se insiram no tema“ ( Decreto-Lei n.º 130/2012, p. 3116)*

A diretiva 2008/105/CE de 16 de dezembro de 2008 explica que os estados membros devem proteger, melhorar e recuperar as massas de água superficiais e subterrâneas. Para este melhoramento foram definidos um conjunto de conceitos e diretrizes que assegurem a boa qualidade das massas de água. Assim, ficou definido que por águas superficiais entende-se águas interiores excetuando as águas subterrâneas, águas de transição, águas costeiras e águas territoriais; o bom estado das águas superficiais define-se com o estado global em que se encontra uma massa de água superficial quando os seus estados ecológicos e químicos são considerados, pelo menos, “bons”; o bom estado químico das águas superficiais define as concentrações de poluentes segundo as normas de qualidade definidas em legislação específica (DL nº 236/98 e Lei nº 58/2005): o bom estado ecológico é o estado alcançado por uma massa de águas superficiais, classificado como Bom nos termos de legislação específica; e por fim, o estado das águas superficiais é a expressão global do estado a que se encontra uma massa de água superficial determinando em função do pior dos seus estados físico ou químico.

Por sua vez, o estado ecológico possui 5 classes diferentes de categorização: Excelente, Bom, Razoável, Mediocre ou Mau.

### 1.3.1 Sistema de Classificação do Estado Ecológico

A classificação de estado ecológico para rios e lagos é definida pelo pior dos resultados de monitorização dos elementos qualificadores biológicos e físico-químicos (Pio *et al*, 2000). (Figura 5)

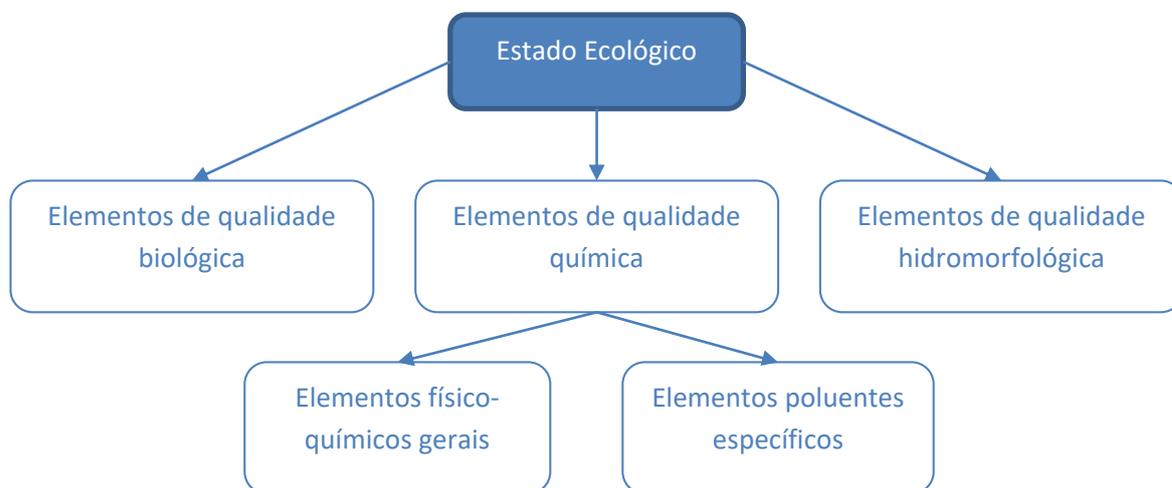


Figura 5 - Representação esquemática da determinação do estado ecológico da massa de água (adaptado de Instituto da água, 2009)

Para que fosse possível determinar a classificação do estado das massas de água, o Instituto da Água considerou as seguintes linhas orientadoras (Instituto da Água, 2009):

- Para os elementos de qualidade biológica - Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho;
- Para os elementos físico-químicos gerais - Directiva 78/659/CEE, de 18 de julho de 1978;
- Para os elementos poluentes específicos - legislação Comunitária e Nacional;
- Para os elementos hidromorfológicos “*adotaram-se as fronteiras prédefinidas do índice Habitat Modification Score (HMS) e as estabelecidas em Portugal para o Habitat Quality Assessment (HQA), de acordo com método River Habitat Survey;*” (Instituto da Água, 2009, pag 3)

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

### 1.3.2 Elementos e qualidade biológica

Os elementos de qualidade biológica diferem consoante o tipo de massa de água. Para o caso de estudo, em rios são analisados os invertebrados bentónicos, a fauna piscícola e a flora aquática (fitoplâncton, fitobentos, macrófitas); para os lagos são avaliados os invertebrados bentónicos, a fauna piscícola, o fitoplâncton e outra flora aquática (Instituto da Água, 2009).

### 1.3.3 Elementos de qualidade química

#### Elementos Gerais

Os elementos gerais são constituídos pelas condições térmicas (temperatura do ar e da água), condições de oxigenação (oxigénio dissolvido), salinidade (ou condutividade elétrica), acidificação (constituído pelo conjunto de elementos pH, alcalinidade e dureza) e condições relativas a nutrientes (que são: sólidos suspensos totais, nitratos, nitritos, azoto amoniacal e fósforo) (DQA, 2000, Instituto da Água 2009).

Segundo o descrito na DQA, os elementos químicos podem atingir a classe de Excelente, Bom e Razoável. Contudo, o défice de dados históricos nacionais relativos a informação dos elementos físico-químicos e biológicos, não permite estabelecer relações para a classificação de excelente. Por esse motivo, atualmente os elementos são classificados como Bom ou Razoável, tendo em conta os seguintes limites (Instituto da Água, 2009) conforme a Tabela 2:

Tabela 2 - Limites máximos de parâmetros físico-químicos gerais

Parâmetro	Limite para o Bom Estado Químico
Oxigénio Dissolvido	$\geq 5$ mg de O <sub>2</sub> /L
Taxa de Saturação em Oxigénio	Entre 60% e 120%
pH	Entre 6 e 9
Azoto Amoniacal	$\leq 1$ mg/L
Nitratos	$\leq 25$ mg de NO <sub>3</sub> /L
Fósforo Total	$\leq 0,1$ mg de P/L

### Poluentes Específicos

Os elementos poluentes específicos descritos pela DQA (Instituto da Água, 2009) foram identificados em colaboração com as diferentes Comissões de Coordenação de Desenvolvimento Regional e a lista é flexível e sujeita a alterações consoante o atual estado das massas de água.

A lista destes elementos contém aproximadamente 90 constituintes, e destacam-se o antimónio, o cobre, os fluoretos e o manganês (Tabela 3).

**Tabela 3 - Limites máximos de 4 elementos do grupo Poluentes específicos**

<b>Substância</b>	<b>Norma Qualidade (µg/L)</b>
Antimónio	< 40
Cobre	< 100
Fluoretos	< 1700
Manganês	< 123

#### 1.3.4 Elementos de qualidade hidromorfológica

A avaliação da qualidade hidrogeológica é utilizada apenas na determinação do estado ecológico excelente ou bom. Os elementos utilizados para a determinação desta qualidade são:

- O regime hidrológico: (a) caudais e condições de escoamento e (b) ligação a massas de água subterrânea;
- Continuidade do rio;
- Condições morfológicas: (a) variação de profundidade e largura, (b) estrutura e substrato do leito e (c) estrutura da zona ripícola (Instituto da Água, 2009).

Este indicador é sensível a influências humanas quer nas barreiras do leito do rio quer no seu curso natural, pelo que, apenas é possível atingir o estado excelente se esta influência for pouco significativa (Instituto da Água, 2009).

No Plano de Gestão da Rede Hidrográfica, no capítulo II, artigo 6º, são definidas as regiões hidrográficas em Portugal. O município de Leiria está incluído na alínea d) na região hidrográfica 4 designada por “*Vouga, Mondego, Lis e Ribeiras do Oeste (RH 4)*, que compreende as bacias hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis, das ribeiras

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

*da costa entre o estuário do rio Douro e a foz do rio Lis e as bacias hidrográficas de todas as linhas de água a sul da foz do Lis até ao estuário do rio Tejo, exclusive”.*(ARH, 2011, pág. 14) O artigo 9º, ainda referente às regiões hidrográficas, estabelece as administrações da jurisdição territorial dos parâmetros definidos.

## 2. Definição da área de estudo

### 2.1 Localização da área de estudo

A Comunidade Intermunicipal da Região de Leiria (NUTS 3 – Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos, segundo a Lei nº 75/2013, de 12 de setembro, DL nº46/89 de 15 de fevereiro) está inserida em Portugal continental na região do centro litoral e na bacia hidrográfica do Rio Lis. Faz fronteira a Norte com a Comunidade Intermunicipal da Região de Coimbra, a Este com a Comunidade do Médio Tejo e a Sul com as Comunidades Intermunicipais da Lezíria do Tejo e do Oeste e a Oeste com o Oceano Atlântico. Tem uma área de cerca de 3 515 km<sup>2</sup> e conta com 10 municípios (Figura 6) e uma população residente de 294 632 habitantes (INE, 2012).

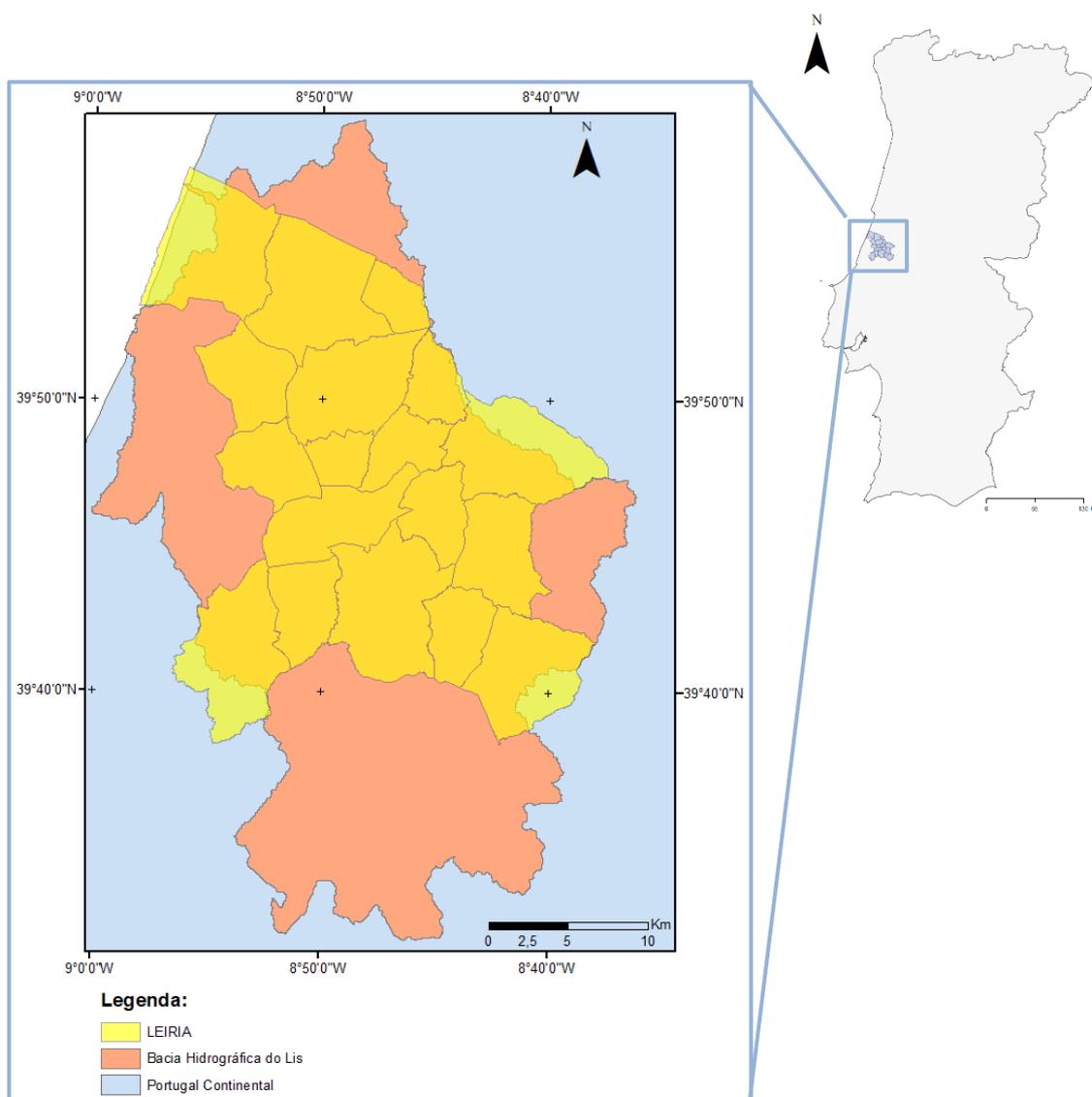
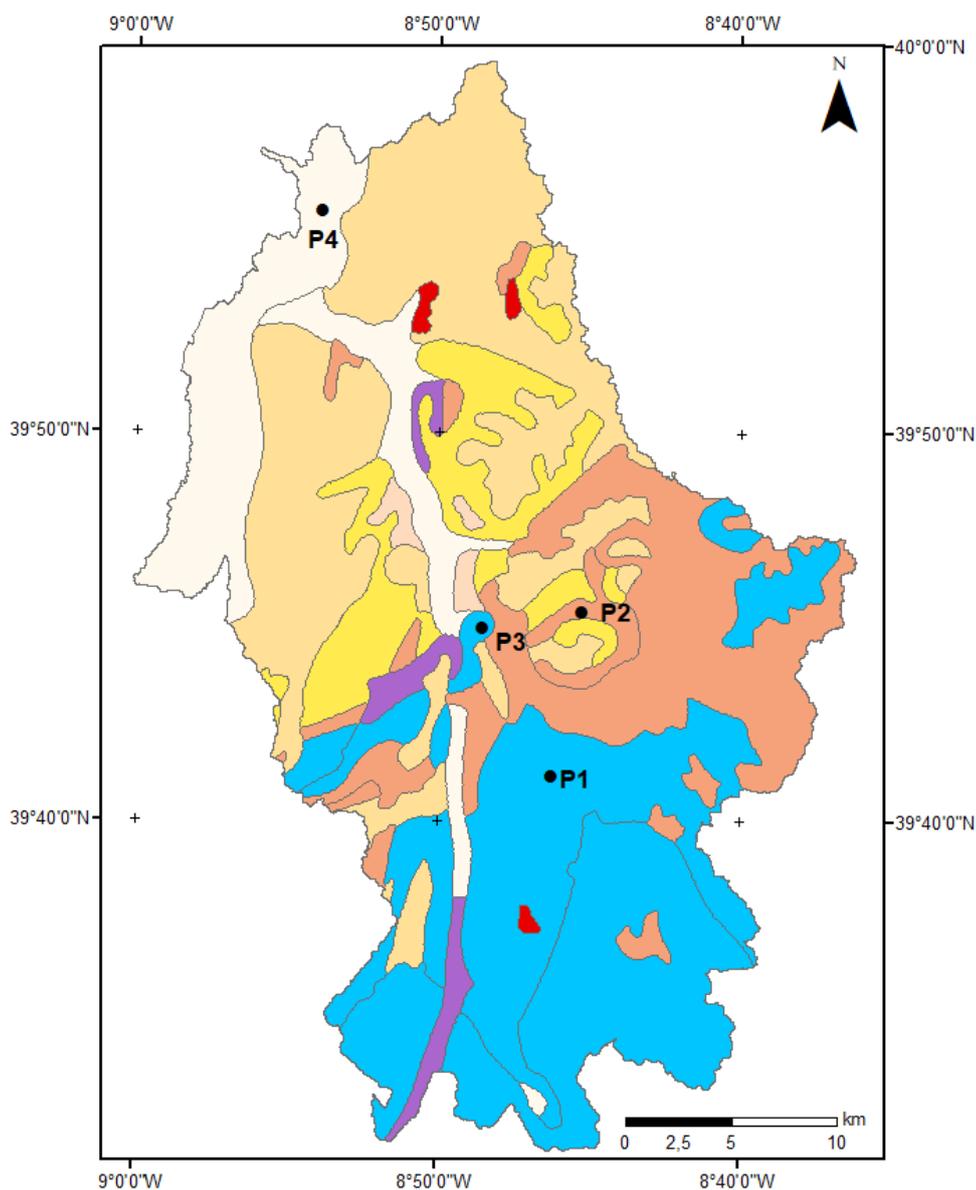


Figura 6 - Mapa de localização do concelho de Leiria e da bacia hidrográfica do Lis

## 2.2 Geologia

Geologicamente, o município está enquadrado na Orla Meso-Cenozóica Ocidental Portuguesa, sendo representada pelos materiais do enchimento da bacia Lusitânica, do registo sedimentar detrítico do Cretácico e Cenozóico e o registo sedimentar carbonatado do Jurássico e parte do Cretácico (Figura 7).



### Legenda:

- |  |  |
|--|--|
| ● Pontos de amostragem                       | Formações Sedimentares - Mio-Pliocénico    |
| <b>Geologia da BH Lis</b>                    | Formações Sedimentares - Paleogénico       |
| Formações Sedimentares - Holocénico          | Formações Sedimentares - Plio-Plistocénico |
| Formações Sedimentares - Jurássico           | Formações Sedimentares - Plistocénico      |
| Formações Sedimentares - Jurássico -Triásico | Rochas Eruptivas Vulcánicas                |

Figura 7 - Carta geológica da BH do Lis (adaptado de LNEG, s.d.)

A carta geológica da região de Leiria (Folha nº 23-C) demonstra uma forte evidência de formações sedimentares nas quais o seu processo de formação deveu-se a episódios de avanço e recuo de águas epicontinentais (Teixeira, Zbyszewski, Torres de Assunção & Manuppela, 1968), sendo constituída por diferentes formações e materiais geológicos

#### Formações sedimentares do Holocénico

São constituídas por aluviões e areia de fundo de vale e localizam-se numa grande extensão do curso do rio Lis e seus afluentes, bem como em toda a área litoral da bacia.

Os materiais que constituem esta formação são sedimentares detríticos essencialmente de areia e argila com ocorrências de argila lodosa ou turfosa.

Pelas características geológicas de região, a série aluvial é mais calcária a montante da confluência da ribeira dos Milagres com o rio Lis, e mais siliciosa a jusante deste ponto. Os aluviões argilosos aparecem no vale do rio Lis, a jusante da confluência do rio Lis com o rio Lena bem como ao longo do vale deste rio (Veiga & Quinta Ferreira, 2010).

#### Formações sedimentares do Plistocénico

O Plistocénico é constituído por formações sedimentares detríticas representadas por depósitos de terraços e de praias antigas.

A sua constituição é de areias com seixos e argilas e apresentam-se essencialmente na margem direita do rio Lis entre as localidades de Marrazes e Riba de Aves. (Teixeira et al., 1968).

#### Formações sedimentares do Plio-Plistocénico

Estas formações sedimentares detríticas podem ser divididas em dois tipos de corpos (Teixeira et al., 1968):

1. Fácies marinha – localizada no vale do rio Lis, a jusante da cidade de Leiria, constituído por areias finas e argilas acastanhadas ou azuladas, com presença de conchas;

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

2. Fácies Continental – localizada na área do diapiro de Monte Real a série marinha está coberta pela fácies continental de arenitos argilosos, areia e cascalheiras, com intercalações argilosas. A norte do diapiro de Leiria, esta fácies forma um extenso planalto que se estende desde a localidade do Souto da Carpalhosa, ao Barracão, e é dividida pela ribeira dos Milagres, sendo constituída por argilas com fósseis vegetais, cobertos por areias grosseiras com seixos.

### Formações sedimentares do Mio-Pliocénico

As formações detríticas do Miocénico são de carácter continental e apresentam-se com dois aspetos diferentes conforme a sua deposição a Este ou Oeste do diapiro de Leiria. No flanco ocidental do mesmo ocorre um conjunto de formações sedimentares carbonatadas e detríticas na forma de margas com concreções calcárias, arenitos argilosos e argilas; este tipo de elementos indica fácies lagunares. Na área a Este do diapiro as formações são essencialmente detríticas constituídas por arenitos argilosos ou siliciosos, podendo, ou não, ser grosseiros (Teixeira et al., 1968).

### Formações sedimentares do Paleogénico

Estas formações presentes da região de Leiria são divididas em dois complexos sobrepostos, “Complexo de Benfica” do Oligocénico e o “Complexo basáltico de Lisboa” datado do Eocénico (Teixeira et al., 1968).

O “complexo de Benfica” aparece a NW dos flancos do diapiro de Monte Real e a SE dos flancos do diapiro de Leiria-Parceiros sendo constituído por conglomerados calcários e materiais margosos, brancos ou rosados. Aparecem também elementos areníticos argilosos e margas arenosas nas séries mais recentes do complexo (Teixeira et al., 1968).

O “Complexo basáltico de Lisboa” aparece na periferia do diapiro de Leiria e é representado por conglomerados constituídos por calcários, arenitos (acastanhados ou avermelhados) e argilas castanhas, avermelhadas ou com cor de tijolo (Teixeira et al., 1968).

### Formações sedimentares do Jurássico

As formações do Jurássico ocupam uma área significativa no flanco SW da bacia, observando-se uma evolução de material de sedimentar carbonatado para detrítico (Teixeira *et al.*, 1968).

O Jurássico inferior é fortemente carbonatado e constituído, na base, por calcários e margas com dolomias passando a calcários semi-cristalinos, ligeiramente margosos com intercalações de calcários altamente margosos com presença ocasional de pequenos gastrópodes, terminando em calcários margosos compactos, com intercalações margosas (Teixeira et al., 1968).

O Jurássico médio, à semelhança do inferior, é fortemente carbonatado constituído pelas alternâncias de dolomias e calcários dolomíticos, evoluindo para calcários oolíticos semi-cristalinos, terminando em calcários com presença de amonites (Teixeira et al., 1968).

O Jurássico superior faz-se representar, na sua base, por materiais carbonatados como é o caso dos calcários criptocristalinos intercalados por calcários betuminosos e margas do Oxfordiano (Teixeira et al., 1968).

No local das Fontes Quentes, localizado a N de Leiria, através de um corte, é possível observar seguinte sucessão de cima para baixo, correspondente ao Oxfordiano (Teixeira et al., 1968).

1. Calcário cinzento;
2. Calcário compacto, cinzento escuro e fraturado;
3. Calcário mais claro e com bancadas espessas;
4. Calcário acinzentado em finas bancadas;
5. Calcários negros, com elevada rigidez.

O Jurássico superior marca a alteração dos materiais sedimentares carbonatados para elementos sedimentares detríticos. Esta alteração ocorre entre o Oxfordiano e o Kimmeridgiano.

O Kimmeridgiano é constituído por um complexo de arenitos de grão fino, alternados com argila, e calcários areníticos e estão localizados a Este da cidade de Leiria. As formações mais recentes do Jurássico são constituídas por material essencialmente detrítico frequentemente de arenitos argilosos com nódulos calcários (Teixeira et al., 1968).

#### Formações sedimentares do Jurássico-Triásico

A Formação de Silves é a formação que mais se destaca ao longo do Triásico e base do Jurássico. A evolução sedimentar do complexo corresponde a uma sucessão de sequências de arenitos finos, siltitos, pelitos e dolomitos (Costa, 1945, Terrinha, 2006). A formação tem um aspeto avermelhado e na bacia hidrográfica do Lis é especialmente

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

visível nas margens mais a montante do rio Lena, na margem esquerda do mesmo rio, ao longo da cidade de Leiria

### Rochas Eruptivas Vulcânicas

Estas rochas ocorrem em três áreas distintas da bacia, associados a formações diapíricas e são representados por doleritos e basaltos (Teixeira et al., 1968).

#### **Doleritos**

O dolerito de maior relevo na área localiza-se no centro da cidade de Leiria e está nele assente o castelo de Leiria. É um domo dolerito ofiolítico com fortes indícios de meteorização, com sulcos e estrias horizontais no flanco ocidental, provocadas por deslocações tectónicas.

A par do domo do castelo de Leiria, existem 6 filões doleríticos na bacia hidrográfica do Lis, são eles: filão da encosta do castelo, filão de Santo António, filão da Codiceira, filão de Alcolgulhe, filão do Casal da Cortiça e filão do Casal do Vale Seco (Teixeira et al., 1968).

#### **Basaltos**

Na área do Brogal está representada uma chaminé vulcânica de rocha basáltica, microlítica e com uma estrutura mal definida. A par dela, observa-se um filão junto à prisão-escola de Leiria (na cidade de Leiria), constituída por rocha basáltica com tendências doleríticas (Teixeira et al., 1968).

### 2.2.1 Estruturas Tectónicas

Um dos elementos mais distintivos da geologia de Leiria é a presença de estruturas diapíricas, com forte condicionamento tectónico. Na região detetam-se três estruturas diapíricas diferentes:

- Diapiro de Monte Real – datado do Jurássico inferior, com orientação N-S, possui um núcleo com formações gressosas e salíferas;

- Diapiro de Leiria-Parceiros – com idade também do Jurássico Inferior com orientação NE-SW, sendo uma unidade estrutural, é essencialmente constituída por silte e argila e em menor quantidade por gesso, sal-gema e rochas calcárias.

- Anticlinal Diapírico da Maceira – inserido numa formação pertencente ao Jurássico e com orientação NE-SW (Crispim J. A., 2010).

### 2.3 Clima

Segundo a classificação de Köppen, Portugal continental é constituído por duas regiões climáticas distintas (Figura 8): uma zona com clima do tipo Csb, clima temperado com inverno chuvoso e verão seco e pouco quente, na maioria da região norte de Portugal continental e no litoral alentejano; e a restante área, correspondente ao interior centro e sul de Portugal continental e a uma pequena zona no interior nordeste de Portugal, caracterizada por um clima do tipo Csa, temperado com inverno chuvoso e verão quente e seco. O concelho de Leiria está localizado na área Csb, com inverno chuvoso e verão seco e pouco quente.

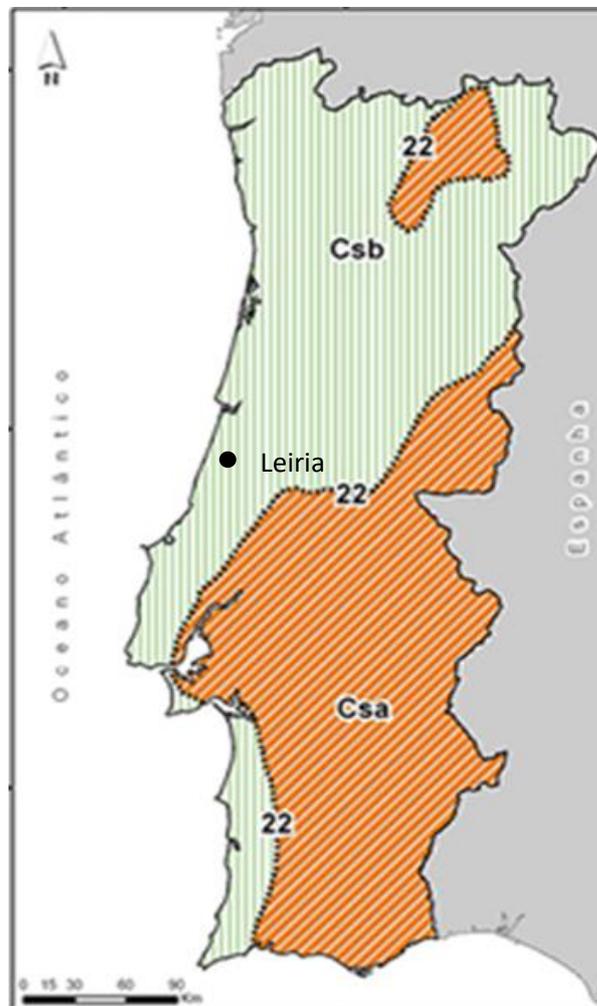


Figura 8 - Classificação de Köppen de Portugal continental (adaptado de IPMA, s.d.)

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

No concelho de Leiria a temperatura média varia entre os 14,1 e 15,0 °C e a precipitação entre 601 e 1000 mm. A monitorização dos dados da estação meteorológica de Monte Real (14D/03C, SNIRH) e de Leiria, no período de tempo de 1961-1990 traduz-se no gráfico seguinte (Figura 9).

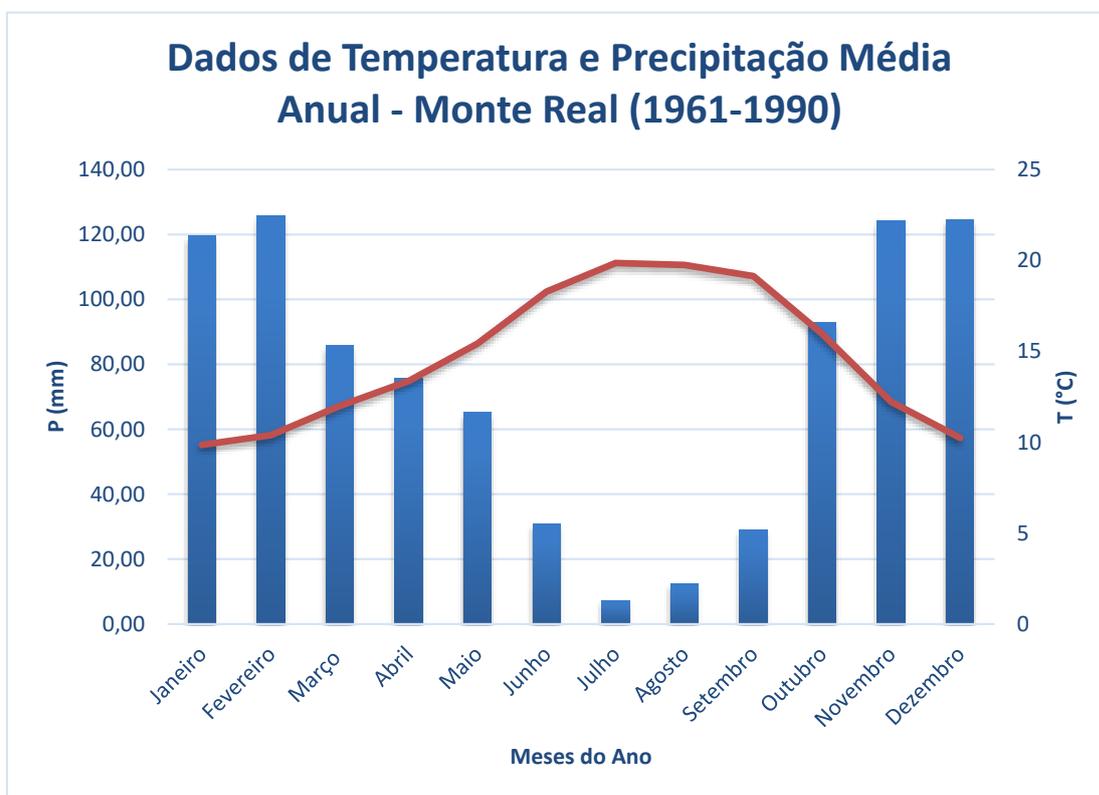


Figura 9 - Gráfico combinado de temperatura média e precipitação média para o período de tempo entre 1961 e 1990 a partir da estação meteorológica de Monte Real. (adaptado de SNIRH, 2018)

Em Leiria, os meses mais quentes são o de julho e agosto com temperaturas médias de 20 °C, seguindo-se os meses de junho e setembro. Os registos com temperaturas mais baixas ocorrem em janeiro e em dezembro registando-se uma temperatura média mensal abaixo dos 10 °C (SNIRH, 2018, IPMA, 2018). A amplitude térmica anual no concelho é de cerca de 10 °C, entre os meses de janeiro e dezembro cuja temperatura média é de 10,1 °C e o de Agosto em que é de 20,1 °C (IPMA, 2017).

Os dados da última década (1990-2010) referem uma precipitação média anual de 806 mm e 75% dessa precipitação ocorre entre os meses de outubro e março.

### 2.3.1 Condições meteorológicas nos anos de 2017 e 2018

O ano de 2017 foi marcado por fraca precipitação atmosférica e, conseqüentemente, ocorreu um grande episódio de seca, que se iniciou em abril e se prolongou até ao início de 2018 (Freemeteo, 2018). (Figura 10)

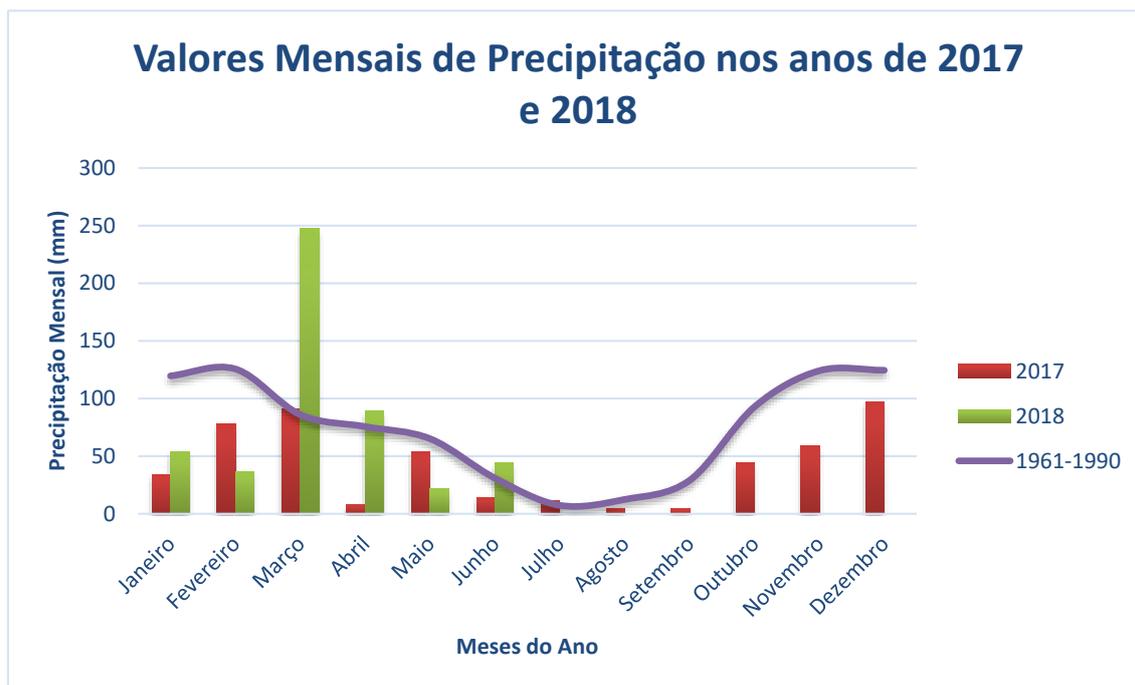


Figura 10 - Gráfico de dados de precipitação dos anos hidrológicos de 2017 e 2018 da estação 14D/03C (dados retirados de Freemeteo, 2018)

O mês com maior precipitação em 2017 foi março que contou com um total de 91,2mm de precipitação. Em contraste, nos meses de julho e agosto do mesmo ano foi registado um total de 4 mm de pluviosidade seguido do mês de abril de 8,2 mm. A precipitação total anual (de 2017) foi de 499,7 mm, bastante mais baixa do que a média anual do período de 1990 – 2000, de 806 mm e com a registada no ano anterior (2016) de 888,1 mm. (IPMA, 2018)

Segundo o IPMA (2017), o mês de outubro de 2017 foi o mês mais quente dos últimos 87 anos com uma temperatura média do ar 3 °C acima do valor médio e foi o mês mais seco dos últimos 20 anos (IPMA, 2017). Segundo os dados retirados da estação meteorológica de Monte Real (14D/03C), é possível constatar que 2017 foi um ano anormalmente seco quando comparado com os anos anteriores (IPMA, 2018).

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

O inverno de 2017/2018 registou valores de temperatura e precipitação inferiores à média aos períodos de 1961-1990 e 1990-2010. O mês de fevereiro de 2018 foi anormalmente frio e o episódio de seca ainda se verificava, com 84% de Portugal continental em seca severa ou extrema (IPMA, 2018).

Consequentemente, primavera de 2018 foi fria e extremamente chuvosa, com uma precipitação acumulada de março a maio de 429 mm. Já o mês de maio registou novamente valores de precipitação inferiores à média, porém tendo em conta o valor acumulado de precipitação dos dois meses anteriores, o trimestre foi de forte precipitação (IPMA, 2018).

### 2.4 Morfologia e Hidrografia

Morfologicamente, a bacia do rio Lis e o concelho de Leiria estão limitados a norte pela bacia hidrográfica do Mondego, a Este pela bacia do Tejo e a Sul pela bacia do Rio Alcoa. A área de estudo apresenta elevações entre 200 metros e 415 metros na região su-sudeste, devido ao Maciço Calcário Estremenho. O ponto mais alto da bacia localiza-se a SW da bacia, com 562 m, no lugar de Pedras do Altar (ARH, 2011).

A morfologia da bacia suaviza-se para oeste, progredindo para materiais litológicos de fraca coesão e relevos ondulados com valores de cota entre 0 a 50 metros (ARH, 201) (Figura 11).

A bacia hidrográfica do Rio Lis (BHL) tem uma área de 900 km<sup>2</sup> e constitui um dos recursos naturais mais importantes da região. Os dois principais cursos de água da bacia, o rio Lis e o rio Lena, são caracterizados a jusante por vales planos e largos, típicos de planícies aluvionares. Geomorfologicamente a bacia do rio Lis pode ser dividida em três troços com diferentes características (ARH Centro, 2012):

- O troço superior, que engloba as sub-bacias do Lis e Lena (as duas principais massas de água superficiais no concelho de Leiria) que se desenvolve nos materiais do Maciço Calcário Estremenho, cuja permeabilidade é geralmente baixa, mas aumentando em locais onde existe carsificação; a drenagem é realizada sobretudo através de galerias, dando origem a exurgências em locais com altitudes inferiores. Os caudais das linhas de água da bacia do rio Lis são fortemente incrementados pela precipitação; observando-se igualmente um

aumento do número de exurgências nos locais mais próximos da nascente do rio.

- O troço intermédio, que engloba a massa urbana do concelho, desenvolve-se em arenitos, calcários e margas, correspondendo a litologias com fraca permeabilidade.
- O troço inferior do rio Lis, e a zona mais a jusante, possui declives mais baixos, e situa-se em uma zona onde afloram materiais detríticos altamente permeáveis, onde se regista uma fraca drenagem e maiores défices de escoamento superficial.

A topografia da bacia reduz e suaviza-se para oeste, progredindo para materiais litológicos de fraca coesão, até atingir uma cota variável de 0 a 50 metros (ARH, 2011).

O rio Lis nasce na Serra de Aire e infiltra-se, pelo maciço calcário estremenho até ao lugar das Fontes, Corte onde exsurge em diferentes pontos. Percorre cerca de 39,5 km até chegar à sua foz, em Vieira de Leiria, e tem uma orientação preferencial S-NW, atravessando todo o concelho de Leiria. Como afluentes principais pode-se enumerar a Ribeiro da Tábua, a Ribeira do Sirol, o Vale dos Barreiros, o Rio Lena, o Rio Seco, o Rio de Fora, a Ribeira dos Milagres e a Ribeira do Freixal. (LeiriaPolis S.A. 2001).

# Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

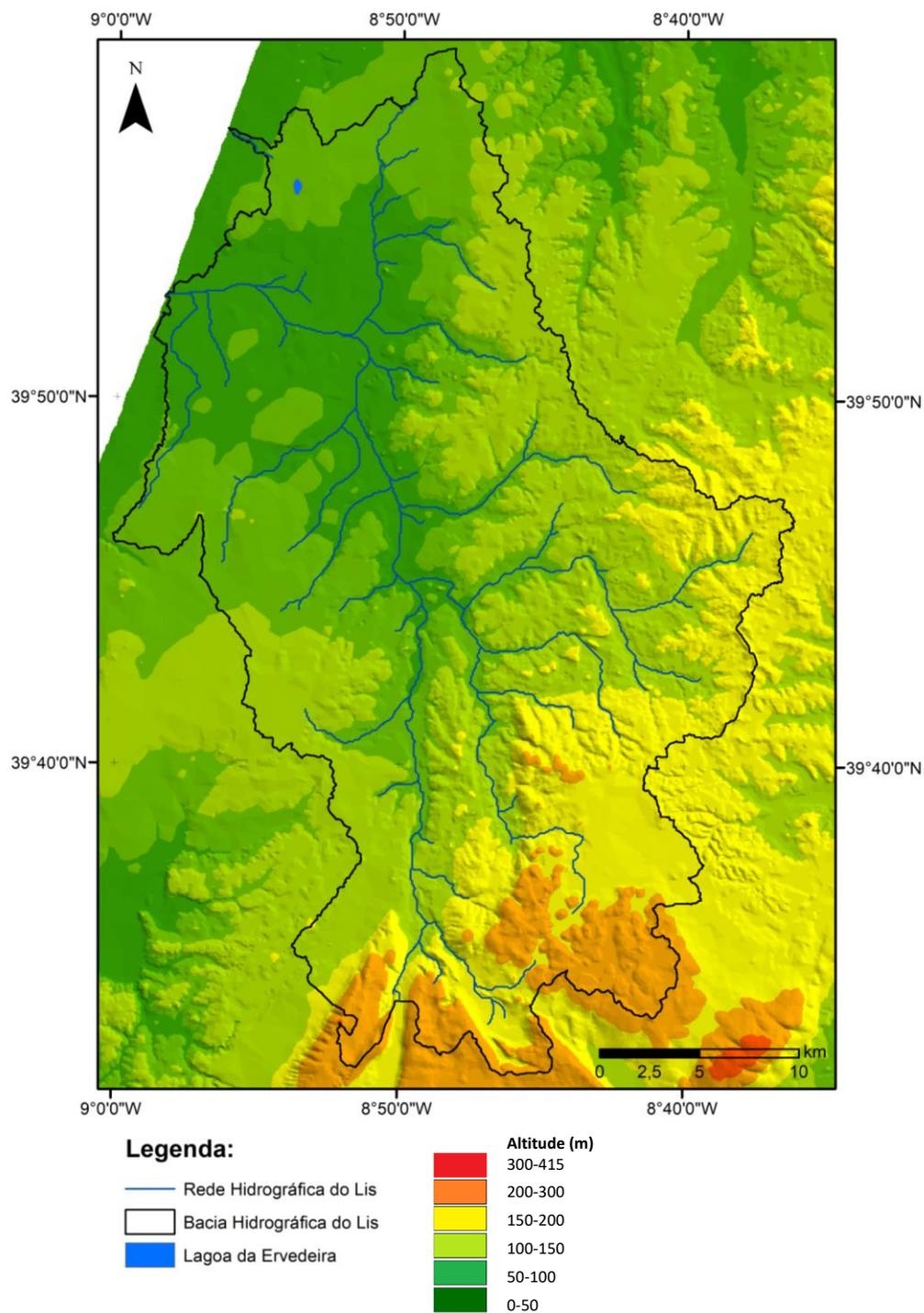


Figura 11 - Morfologia da área da bacia hidrográfica do rio Lis

A imagem da Figura 12 define a área da bacia hidrográfica do rio Lis e suas linhas de água principais. Os pontos assinalados ao longo da bacia referem-se a estações de monitorização da qualidade das águas superficiais com acesso a elementos químicos, físicos e biológicos da água.

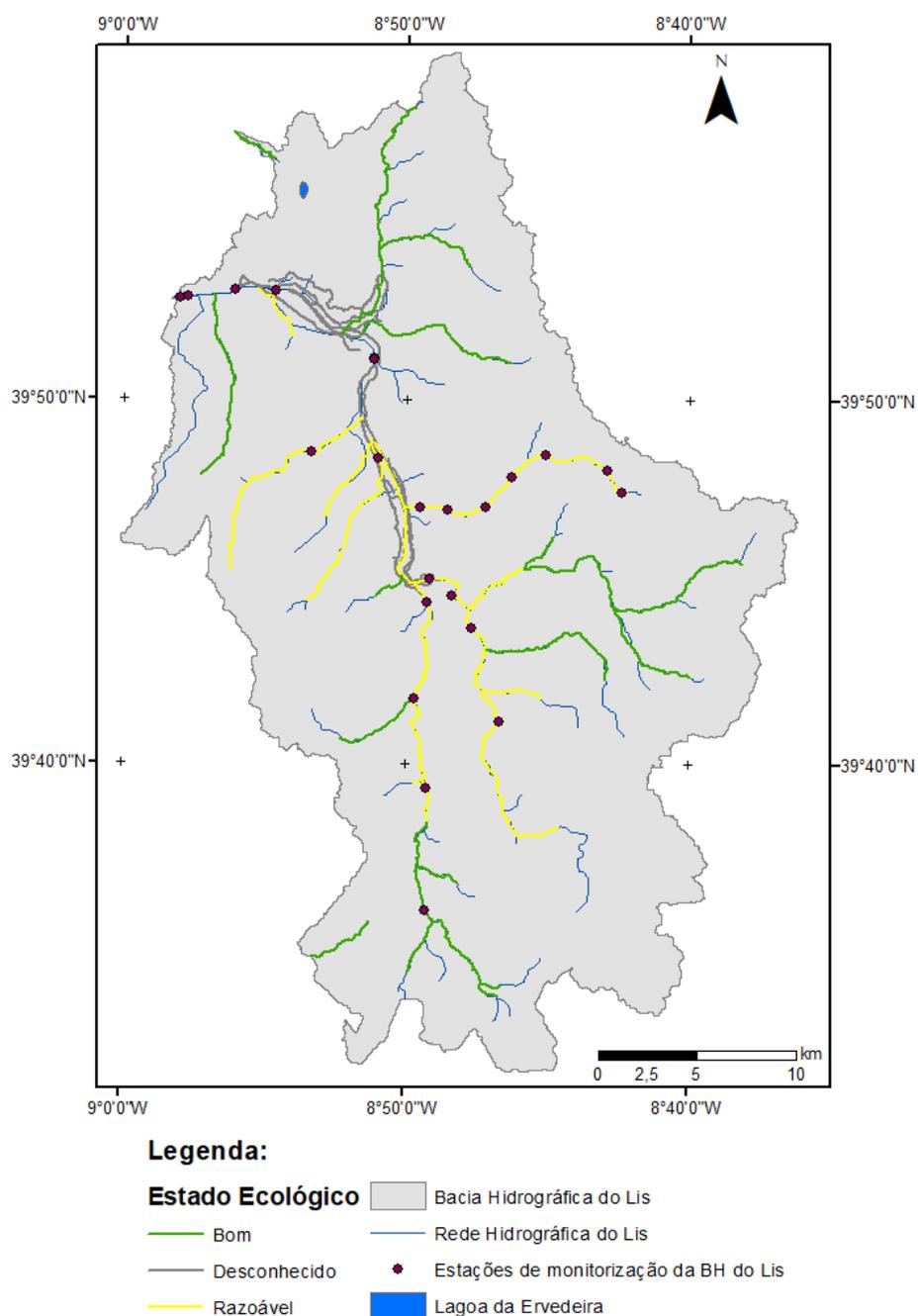


Figura 12 - Bacia Hidrográficas do Lis e pontos de monitorização da qualidade das massas de água superficiais segundo SNIRH

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

As massas de água da região possuem um histórico de forte contaminação essencialmente fecal e eram frequentemente caracterizadas pela má qualidade ecológica (Ferreira., 2010, 2015, Vieira, et al., 2012, Vieira, 2007). Nos últimos anos nota-se uma evolução muito positiva em termos de qualidade química e biológica, e atualmente, na área da bacia todas as massas de água atingem o estado ecológico de bom a razoável (ARH, 2011).

Relativamente aos sistemas aquíferos na região podem ser divididas por duas tipologias (ARH, 2011):

- Cárscicos – Constituídos por calcários e dolomitos. Superfícies fortemente casificadas permitem uma infiltração muito rápida que pode atingir os 60% da precipitação. Consequentemente também possuem dificuldade em armazenar traduzindo-se frequentemente em descargas de caudais de forte intensidade para os cursos de água. Este tipo de aquíferos são bastante vulneráveis à poluição uma vez que o seu poder de autodepuração é muito fraco e a propagação dos contaminantes é muito rápida.
- Porosos – este tipo de sistemas são multicamadas, sendo constituídos por formações detríticas de arenitos argilosos e de argilas, e possuem um comportamento de aquífero fraco porém com maior poder de filtração.

As massas de água da região (superficiais e subterrâneas), possuem, maioritariamente, condutividades baixas e pH próximo de 7 (neutro) tendencialmente ácido. Os nitratos encontram-se em quase toda a extensão da bacia em concentrações bastante inferiores ao valor paramétrico admissível para consumo humano tal como os elementos menores. As concentrações de amónio, ferro e manganês registaram valores superiores às concentrações máximas nalguns pontos da bacia, sendo, por esse motivo, os elementos de maior preocupação (ARH, 2011).

## 2.5 Ocupação e Uso do Solo

Atualmente, Portugal possui dois sistemas de classificação do uso de solo: a carta de ocupação e uso do solo (COS), que é uma ferramenta nacional, da responsabilidade da Direção Geral do Território, e que visa avaliar a forma como as comunidades estão a ocupar o território; e a carta CORINE Land Cover (CLC), inserido no programa Europeu Copernicus - Europe's eyes on Earth, realizada em colaboração com a Direção Geral do Território, cujo objetivo é monitorizar a ambiente terrestre (Copernicus Programme, 2017).

A ocupação do solo é um parâmetro que está em constante mudança e, por esse motivo, em constante atualização. O modelo Corine Land Cover é constituído por 5 classes principais: zonas artificializadas, zonas agrícolas, zonas florestais e semi-naturais, zonas húmidas e corpos de água. (Bonsard, et al, 2000). Cada classe é depois dividida em níveis segundo a ocupação do solo perfazendo um total de 53 classificações distintas (Néry, 2007).

Segundo a Direção Geral do Território (2017), a área de Portugal Continental possui uma ocupação predominante de uso florestal, agrícola e incultos. Analisando os gráficos disponibilizados pela Direção Geral do Território desde 1980 a 2010, é possível perceber que:

1. A área artificializada está a aumentar (de 3,0% em 1980, para 5,0% em 2010);
2. A ocupação agrícola reduziu significativamente a sua área passando de 40,00% em 1980 para 35,00% em 2010;
3. O uso florestal, à semelhança das áreas artificializadas, aumentou de 31,5% para 34,6%, bem como os incultos que aumentaram de 14,30% para 15,20%;
4. O agroflorestal diminuiu de 10,00% para 8,8%;
5. As zonas húmidas mantiveram o mesmo valor e os corpos de água aumentaram ligeiramente de 0,90% para 1,20%.

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

Analisado a área de estudo, as cartas de ocupação segundo o modelo de CORINE Land Cover, para a bacia hidrográfica do Lis são as que constam das figuras 13 e 14.

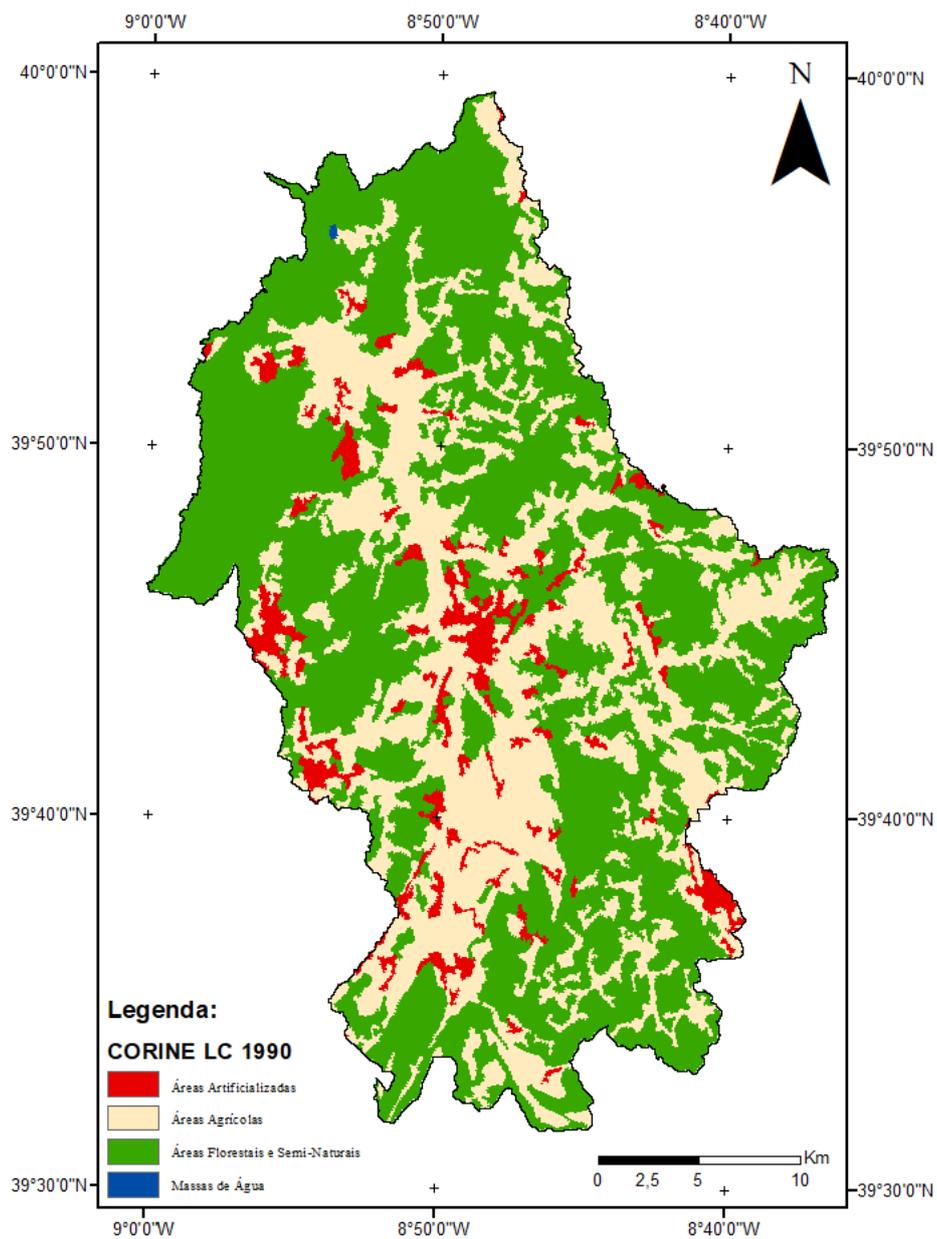
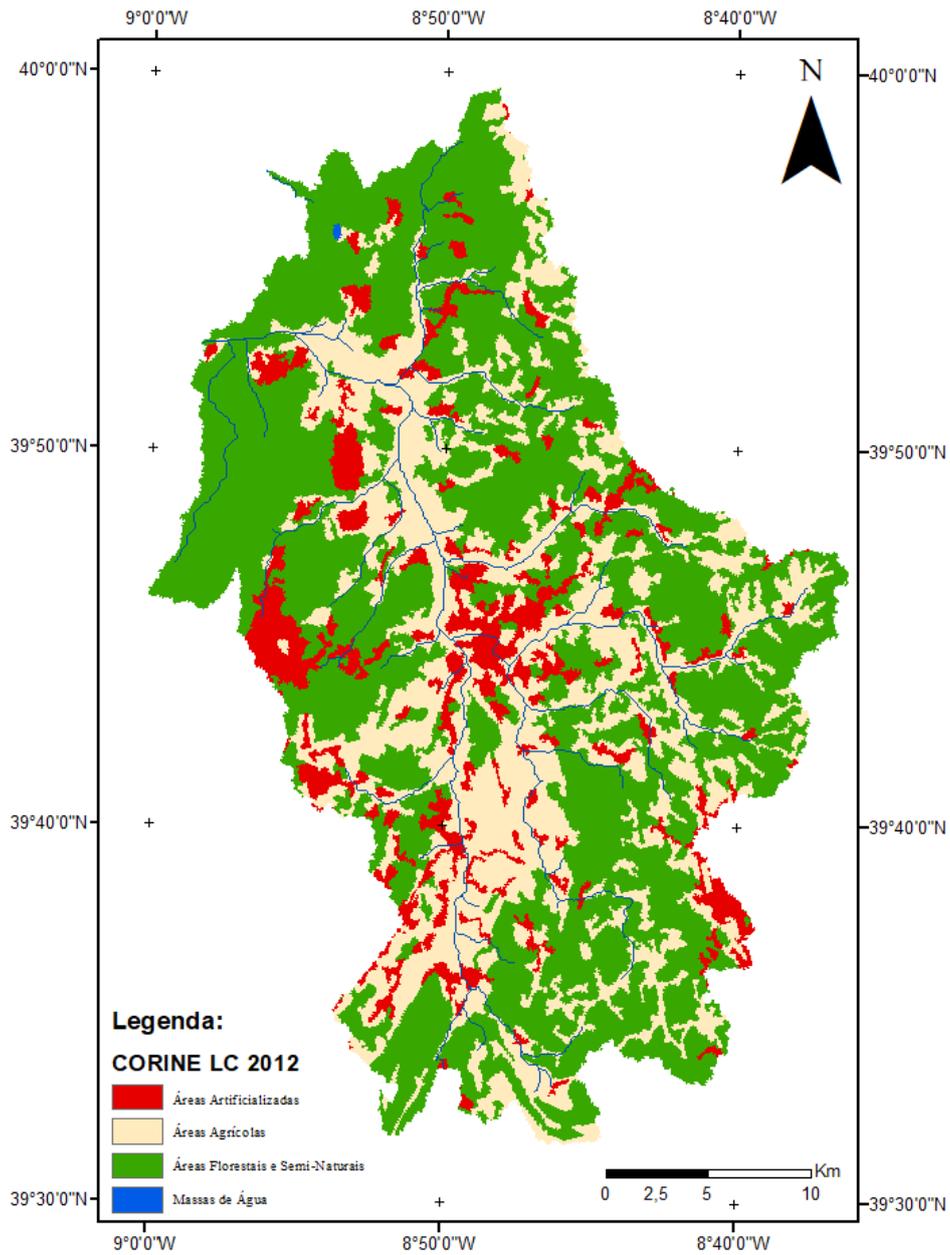


Figura 13 - CLC de 1990 da Bacia Hidrográfica do Lis



**Figura 14 - CLC de 2012 da Bacia Hidrográfica do Lis**

Pela comparação entre as cartas Corine Land Cover de 1990 (Figura 13) e 2012 (Figura 11), nota-se que as áreas artificializadas, estão em maiores proporções no ano de 2012. Em contrapartida, as áreas agrícolas diminuíram. A área florestal e os espaços semi-naturais são os mais representativos destacando-se a área mais litoral que engloba parte da Mata Nacional do Pedrógão e da Mata do Urso As tendências que se observam na bacia do rio Lis e no concelho de Leiria são concordantes com o que se observa no país.

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

Na Tabela 4 aparece representada a percentagem de área de cada classe de uso na bacia hidrográfica do rio Lis.

Tabela 4 - Ocupação do solo da bacia hidrográfica do Lis

Uso do Solo segundo CLC 2012	Área da BH Lis (%)
Áreas Artificializadas – Espaço urbano	8%
Áreas Artificializadas - Indústria, comércio e vias de transporte	2%
Áreas florestais e semi-naturais	51%
Áreas Agrícolas	31%
Outros	1%

As alterações da ocupação e uso do solo são notórias ao longo das últimas décadas. Existe uma tendência óbvia, um pouco por todo o país, no aumento das áreas artificializadas e florestais, comprometendo a ocupação agrícola.

Segundo o programa de desenvolvimento das Nações Unidas (United Nation, 2016), atualmente mais de metade da população mundial vive em áreas urbanas. As estimativas apontam para uma subida contínua deste valor, e preveem que em 2050 a população residente nestas áreas aumente para dois terços da população mundial. Assim sendo, em comparação com o CLC 2012, é espectável que no atual ano de 2018 os valores de área artificializada sejam superiores e a área agrícola seja inferior.

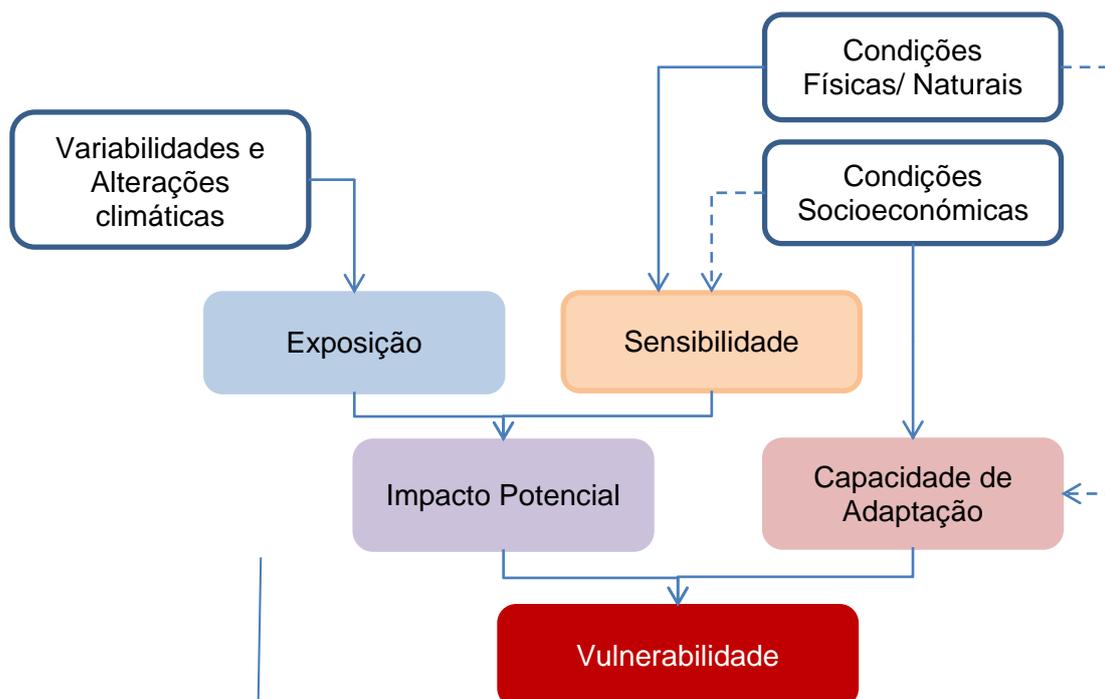
A carta de uso e ocupação do solo permite perceber que a bacia do rio Lis é dominada por espaços florestais seguida de ocupações agrícolas, embora que com tendência decrescente. Relativamente aos territórios artificializados são essencialmente constituídos por espaços urbanos concentrados em redor das sedes do concelho (LeiriaPolis, 2001).

A análise das alterações de uso e ocupação de solo para a cidade de Leiria, desde 1958 até 2011, corroboram a avaliação realizada pela comparação das cartas CORINE Land Cover de 2011 e 1990 (Figuras 13 e 14). Barros, et al, (2018) referem um grande aumento das áreas artificializadas através da conversão de áreas de uso agrícola e florestal. Referem ainda que a mancha urbana correspondente à indústria quadruplicou ao longo dos 53 anos já mencionados (Figura 3). A análise deste período temporal também permitiu compreender o crescimento da cidade de Leiria uma vez que

existiu a consolidação urbana da área central e a expansão para novas frentes urbanas, próximas da cidade (Barros *et al.*, 2018).

### 3. Metodologia

A avaliação de uma massa de água só pode ser realizada através do estudo de um



conjunto de parâmetros e indicadores que devem integrar todos os setores quer sociais quer ambientais (Fritzche, et al., 2014). Assim sendo, o estudo vai ser realizado com base no seguinte esquema metodológico (Figura 15):

A exposição engloba todos os componentes que contribuem para a vulnerabilidade. É o único parâmetro diretamente ligado a questões climáticas como é o caso da temperatura, evapotranspiração e precipitação. Fazem também parte deste parâmetro os eventos climáticos extremos como é o caso de tempestades, períodos de intensa precipitação e secas ( Fritzche, et al., 2014).

Figura 15 - Esquema de avaliação das massas de água superficiais (adaptado de Fritzche, et al, 2014)

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

A sensibilidade determina o grau em que cada ecossistema é prejudicado ou beneficiado e é influenciado por dois tipos de condicionantes: (Fritzche, et al., 2014)

- Físicas e/ou naturais, como é o caso da topografia, da litologia, da capacidade erosiva, entre outros aspetos.
- Socioeconómica que incluem a atividade humana que afete as propriedades físicas de um sistema como é o caso de parcelas agrícolas, gestão e uso da água e pressão populacional. É de notar que já existem muitos sistemas de gestão de água adaptados ao clima atual como é o caso de diques, açudes e sistemas de irrigação.

O Impacto Potencial das alterações traduz a consequência da combinação dos parâmetros acima referidos, ou seja:

$$\textit{Condições de um sistema + evento climático = Impacto Potencial}$$

$$\textit{Exposição + Sensibilidade = Impacto Potencial}$$

A Capacidade Adaptativa do sistema representa a agilidade deste para se ajustar às alterações climáticas com o objetivo de diminuir os estragos e aproveitar novas oportunidades. (IPCC, 2013). “A adaptação é um processo e não um resultado” (Spearman & McGray, 2011).

A Vulnerabilidade é uma característica multi-facetada e tem diferentes definições consoante o autor (IPCC, 2007,2011 e Bell, Zanobetti & Dominici, 2013). O quinto relatório produzido pelo IPCC, 2014, refere a vulnerabilidade como um conceito de risco de desastre, enquanto o quarto relatório elaborado pela mesma entidade (IPCC, 2007) aborda o conceito como sendo a junção da sensibilidade e da capacidade adaptativa. Ainda assim, apesar das modificações de aceção, a ideia base mantém-se: um ecossistema/sistema que é exposto a um evento climático nocivo adquire um elemento potencialmente prejudicial. Este, combinado com as condições físicas, naturais e socioeconómicas determina o impacto potencial e a capacidade adaptativa do sistema. A junção de todos estes elementos permite determinar a sua vulnerabilidade (Fritzche et al., 2014). A vulnerabilidade é assim, o grau de suscetibilidade de cada sistema para reagir a um evento (incluindo extremos) provocado pelas alterações climáticas (IPCC, 2007).

Tendo em conta os conceitos acima mencionados foram definidos os seguintes fatores e indicadores de avaliação (Fritzsche *et al.*, 2017) na tabela 5, para a região de Leiria.

**Tabela 5 - Componentes de Vulnerabilidade, fatores e indicadores para o município (adaptado de Fritzsche *et al.*, 2017)**

<b>Componente Vulnerável</b>	<b>Fator</b>	<b>Indicador</b>
Exposição	Precipitação	Valores de precipitação média mensal de 1961 - 1990
	Temperatura	Valores de temperaturas médias mensais de 1961 - 1990
Sensibilidade	Ocupação e Uso do Solo	Corine Land Cover de 1990 a 2012
	Topografia	Carta de Declives do Concelho
	Geologia	Cartas Geológicas do Concelho e notícias explicativas (22-B e 23C)
	Hidrografia e Hidrogeologia	Bacia hidrográfica do Rio Lis
Capacidade Adaptativa	Quantidade e qualidade hídrica Superficial	Estudo de Parâmetros hidrológicos
		Determinação de parâmetros físico-químicos
		Análises de elementos químicos
		Análise de constituintes Biológicos

As massas de água superficiais são notoriamente, o recurso hídrico mais suscetível a contaminações. A sensibilidade de cada ponto a estas modificações determina o modo como a massa é afetada. Desta forma, iguais condições de temperatura e precipitação, podem originar diferentes impactos em diferentes massas de água (Fritzsche *et al.*,

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

2017). A resposta do sistema deve ser elaborada individualmente e particularizada para cada ponto de modo a responder com eficiência às vulnerabilidades apresentadas.

Numa tentativa de realizar um plano adaptativo adequado a cada caso, foram determinados os locais que melhor representassem os maiores influenciadores da qualidade hídrica. A escolha dos pontos de análise baseou-se em quatro critérios: a morfologia do terreno, a bacia hidrográfica, a geologia da área e a ocupação de solo presente em cada local.

Numa perspetiva de simplificação, foram definidas três grandes unidades morfológicas com implicações na topografia. A área a Este do concelho é constituída por serras com relevos de declive acentuado, a área central marcada colinas onduladas e o litoral representado por planícies aluviais e plataformas litorais.

O uso e ocupação de solo, definida pela Corine Land Cover representa no espaço de Leiria 4 grandes classes, são elas: uso florestal e semi-natural, uso agrícola, uso artificializado e massas de água, tendo a seleção da localização dos pontos de amostragem sido repartido em cada classe.

A geologia do espaço de Leiria é genericamente definida por materiais sedimentares detríticos a Oeste e materiais carbonatados a Este. Na área central destacam-se algumas intrusões magmáticas que aparecem sob a forma de diapiros. Os pontos de amostragem, à semelhança dos indicadores anteriores, permitem avaliar a influência das diferentes litologias do solo.

A localização da amostragem e do operador entrou em consideração com alguns aspetos físicos do terreno, de forma que seja possível garantir a obtenção de resultados fiáveis. São eles (ISO 5667-6:2014):

- O local deve ser acessível durante todo o ano;
- O ponto deve ter um bom fluxo hídrico de forma a garantir a mistura e evitar águas paradas;
- O perfil no ponto deve ser semelhante ao perfil na restante massa de água;
- Deve estar garantida a segurança do investigador;
- A espessura, extensão lateral, vertical e horizontal de fluxo hídrico, a condutividade e os contrastes de material geológico possuem a capacidade de influenciar a contaminação e têm que ser considerados;
- O tipo de contaminantes a serem amostrados têm que ser tidos em conta, assim como a sua distribuição vertical e lateral;

- Os fatores que podem alterar os resultados têm que ser conhecidos e identificados, como é o caso das condições meteorológicas no dia da colheita e nos dias anteriores.

### 3.1 Definição de elementos de avaliação

No âmbito da avaliação e segundo a Diretiva Quadro da Água, o trabalho analisou o estado químico das massas de água, a partir da análise dos parâmetros de campo e da análise laboratorial. Os dados obtidos no campo permitem perceber as condições gerais da massa de água e os resultados de determinações laboratoriais permitem avaliar a composição química da água em detalhe e conhecer os seus constituintes naturais e os que podem resultar de poluição em resultado da atividade humana.

Para que fosse possível determinar a qualidade hídrica das massas de água do município de Leiria e da bacia hidrográfica do Lis, foi realizado um conjunto de análises e monitorização que passou pela determinação de parâmetros de campo, bem como pela recolha de amostras de água para ulterior análise laboratorial no laboratório de análises químicas dos Serviços Municipalizados de Águas Residuais (SMAS) de Leiria.

O plano de amostragem e monitorização foi decidido em conjunto com os laboratórios e os técnicos envolvidos, nomeadamente em relação à frequência e localização da amostragem e aos parâmetros a analisar, tendo em conta as condicionantes temporais e logísticas. As técnicas e os equipamentos utilizados nas medições efetuadas no campo e na amostragem de água superficial foram escolhidos de modo a manter a integridade e a minimizar as alterações físicas e químicas da amostra, para que a amostra seja representativa das condições e composição real da água (.

Foram definidas três malhas de frequência e duração de amostragem tendo em conta os meios disponíveis:

- A monitorização da altura da coluna de água da lagoa foi realizada de forma sistemática e com uma periodicidade mensal;
- Os parâmetros físico-químicos foram medidos *in situ* em duas campanhas (28 de março a 1 de abril e 29 de junho a 1 de julho), com medição diária dos parâmetros em quatro pontos durante 3 dias e sempre que possível sucessivos;

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

- Por fim, os elementos químicos que careciam de análise laboratorial foram amostrados numa única campanha, coincidente com o primeiro dia de medição de parâmetros físico-químicos.

### 3.2 Medição “in situ” de parâmetros físico-químicos

A situação real de uma água superficial começa a conhecer-se no campo, sendo necessário garantir que a informação hidrogeológica e hidroquímica básica é recolhida inicialmente, já que existem parâmetros físicos e químicos da água que se alteram rapidamente após a colheita da amostra (IGRAC, 2008; Sundaram *et al.*, 2009). Estes parâmetros incluem:

- pH;
- ORP (mV);
- Condutividade eléctrica da água (CE) ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ );
- Temperatura da água e do ar ( $T_{\text{água}}$  e  $T_{\text{ar}}$ ) ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- Oxigénio dissolvido (OD) ( $\text{mg}/\text{L}$  de  $\text{O}_2$ );
- Turvação (FTU).

Para a determinação destes parâmetros usou-se um medidor multiparamétrico WTW 340i que contém eléctrodos para a medição de pH (Sentix 81), ORP (Sentix ORP), condutividade eléctrica da água (TetraCon 225), oxigénio dissolvido (Cellox 225) e temperatura (Figura 16). As sondas foram devidamente mantidas e previamente calibradas sendo colocadas diretamente em contacto com a massa de água até estabilizarem os valores das leituras. Uma vez que foram avaliadas massas de água dinâmicas, foram retirados para cada parâmetro 3 a 5 valores por medição, dependendo do coeficiente de variação dos valores e seguidamente calcularam-se os valores médios.

Os valores de ORP foram convertidos em valores de Eh através das indicações do fabricante do equipamento, tendo em conta a temperatura da água, e estes foram usados no cálculo do pe através da seguinte equação (Stumm & Morgan, 1996):

$$pe = \frac{F}{2,3 RT} Eh \quad \text{Eq. 1}$$

Em que  $E_h$  é o potencial redox do elétrodo de referência (H) em volts,  $T$  é a temperatura em Kelvin,  $F$  é a constante de Faraday igual a 23,1 kcal/V e  $R$  é a constante dos gases perfeitos igual a  $1,987 \times 10^{-3}$  kcal/(mol.K).

A taxa de saturação de oxigênio foi determinada com base na concentração de oxigênio dissolvido medida em campo e utilizando a seguinte fórmula (Siste *et al*, 2011):

$$\% \text{ de Saturação de } O_2 = \frac{\text{Oxigênio dissolvido (mg/L)}}{\text{Saturação de } O_2 \text{ (ppm)}} \times 100 \quad \text{Eq. 2}$$

Sendo que, o oxigênio dissolvido é um valor determinado em campo e a saturação de  $O_2$  é tabelada e varia com a temperatura da água da amostra.

Os valores de CE foram também convertidos para a temperatura de 25 °C. Para isso, foi aplicada a fórmula segundo US EPA (Clesceri *et al*, 1998):

$$\sigma T_{ref} = 100 \times \frac{\sigma T}{100 + \theta \times (T - T_{ref})} \quad \text{Eq. 3}$$

Em que  $\sigma T_{ref}$  representa a CE de referência (*ie*, com o fator de correção aplicado),  $\sigma T$  é a CE medida em campo,  $\theta$  corresponde ao coeficiente da temperatura que é 1,91,  $T$  representa a temperatura da água medida em °C e  $T_{ref}$  a temperatura de referência que é 25 °C.

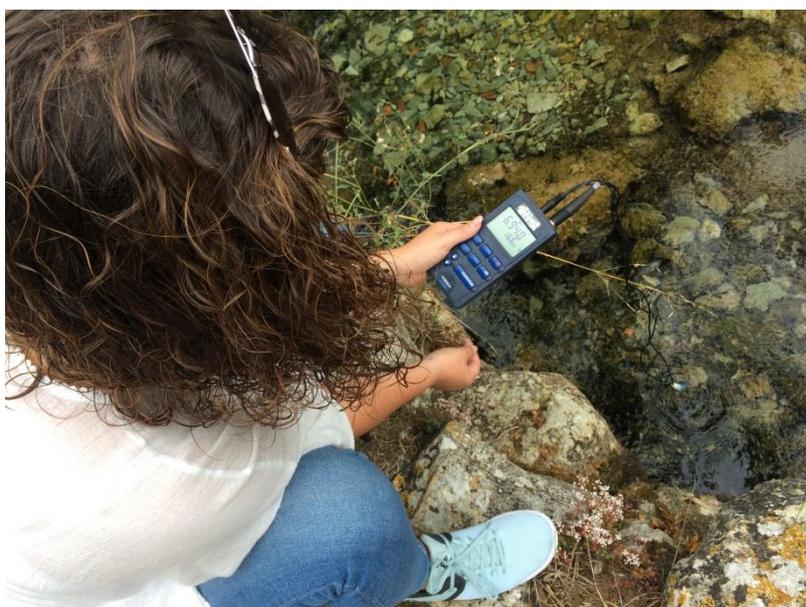


Figura 16 - Determinação de multiparâmetros "in situ"

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

Para a medição da turvação retira-se uma pequena amostra de água que é colocada numa cuvette e inserida no equipamento Hanna HI 93703 que, seguidamente, fornece o resultado. O equipamento é previamente calibrado.

Igualmente no campo foi efetuada a determinação da alcalinidade total e de fenolftaleína (mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ); e da concentração de dióxido de carbono dissolvido (mg/L de  $\text{CO}_2$ ). Ambas as determinações foram efetuadas com recurso a titulimetria digital com um titulador da marca Hach.

Para a determinação da alcalinidade total e de fenolftaleína foi titulado um volume de 100 mL de amostra de água e utilizado o método 8203 (Hach, 2013) (Sundaram *et al*, 2009):

- Se o pH fosse superior a 8,3, era adicionado o indicador de fenolftaleína e titulava-se com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  até a cor da solução passar de rosa a incolor;
- Se o pH fosse inferior a 8,3 adicionava-se indicador verde de bromocresol (BCG) e era titulado com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  registando os valores quando a solução passava de verde a cinza, de cinza a lilás e de lilás a rosa.

O dióxido de carbono dissolvido foi determinado por um processo semelhante, utilizando o método 8205 (Hach, 2013), onde apenas é usado um indicador. Em amostras com um volume de 100 mL de água, foi adicionada fenolftaleína e seguidamente a amostra foi titulada com NaOH até passar de incolor a rosa.

Todo o equipamento utilizado foi disponibilizado pelo Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra.

### 3.3 Campanha de amostragem para análise química laboratorial

A metodologia de amostragem bem como o transporte das amostras até ao laboratório de análise foi efetuado de acordo com a Norma ISO 5667:6 (2014).

O material utilizado na amostragem foi previamente limpo no laboratório e em cada local, foi ainda lavado diretamente na massa de água no mínimo 3 vezes, a uns metros a jusante do local onde seria feita a recolha. Seguidamente, uma vez que existia muito material em suspensão, foi retirada um volume maior de água através de um balde, para que parte do material suspenso pudesse decantar antes de a água ser filtrada.

Foram retiradas cinco amostras de água sem qualquer filtração e cinco amostras de água filtrada a 0,45 µm diretamente da massa de água a cerca de meia altura da coluna de água, ou 30 cm da superfície, no caso de a coluna ser maior do que 60 cm. O equipamento de filtração utilizado foi um filtro de seringa da marca Millipore.

As amostras que seriam utilizadas para a análise de cátions maiores e amónio na forma dissolvida foram acidificadas com HNO<sub>3</sub> ultrapuro até o pH ser igual a 3; as amostras que seriam utilizadas para determinação de cátions metálicos e elementos vestigiais dissolvidos foram acidificadas com HNO<sub>3</sub> ultrapuro até o pH ser inferior a 2 e as amostras utilizadas para a determinação de aniões maiores na forma dissolvida foram apenas refrigeradas após a filtração.

As amostras foram rotuladas e colocadas em arca térmica (Figura 17) para que o transporte fosse realizado a uma temperatura inferior à temperatura a que foi recolhida e foram entregues no laboratório no próprio dia.



**Figura 17 - Método de armazenamento das amostras durante a campanha de recolha**

Neste caso, foram utilizadas 4 arcas térmicas (uma para cada ponto amostrado) com os respetivos recipientes de recolha; este equipamento foi disponibilizado pelo Laboratório dos SMAS, em parceria com a Câmara Municipal de Leiria.

### 3.4 Determinação de constituintes químicos em laboratório

As amostras foram encaminhadas para análise laboratorial, no mesmo dia da amostragem, sendo armazenadas em condições de baixa temperatura até serem analisadas. As amostras foram preservadas e analisadas dentro dos intervalos temporais recomendados pela norma ISO 5667:3 (2012) (Clesceri *et al.*, 1998).

Foi determinada a composição da água em termos de elementos dissolvidos e de material particulado. Os elementos analisados foram os cátions maiores e alguns cátions menores (Ca, Mg, Na, K, NH<sub>4</sub> e Fe), aniões (HCO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>, Br, F, P e NO<sub>3</sub>) e alguns elementos vestigiais (Al, Cd, Sb, Pb, Cu e Mn).

Os primeiros elementos que foram determinados foram o cálcio e a dureza total (Figura 18). Para tal, foi realizado o método de titulometria com EDTA, e em cada elemento:

- Para a alcalinidade foi adicionada Murexina e seguidamente titulado com Hidróxido de Sódio
- Para a dureza total foi utilizado o composto EDTA (ácido etilenodiamino tetra-acético).

Os aniões maioritários (Cl, SO<sub>4</sub>, Br, F e NO<sub>3</sub>) foram determinados por cromatografia iónica no dia seguinte à campanha de amostragem. O fósforo foi determinado pelo método de SMEWW 4500-P. O bicarbonato e carbonato foram calculados por especiação a partir dos resultados da alcalinidade medida no campo por titulação digital. As análises laboratoriais foram efetuadas no laboratório de análises dos serviços municipalizados de água e saneamento de Leiria.

Os cátions maiores (Na, Mg, K, Ca e NH<sub>4</sub>) foram determinados por cromatografia iónica no laboratório ITeCons em Coimbra.

Por fim, os elementos traço (Al, Cd, Sb, Pb, Cu, Fe, e Mn) foram determinados por espectrometria de absorção atómica em câmara de grafite, o que também foi realizado no laboratório dos SMAS em Leiria.



**Figura 18 - Método de titulometria para a determinação da dureza total**

Todos os resultados retirados em campo quer seja da campanha de recolha ou da avaliação de parâmetros *in situ*, foram organizados numa tabela adaptada a partir do formulário referido na norma ISO 5667-6 (2014).

#### 4. Avaliação e Observação de Massas de Água

A escolha dos pontos de amostragem para a determinação do estado químico teve como objetivo compreender cada uma das áreas da bacia, tendo em consideração todas as variáveis do capítulo 3 (Metodologia) e determinados 4 pontos de amostragem (Figura 19).

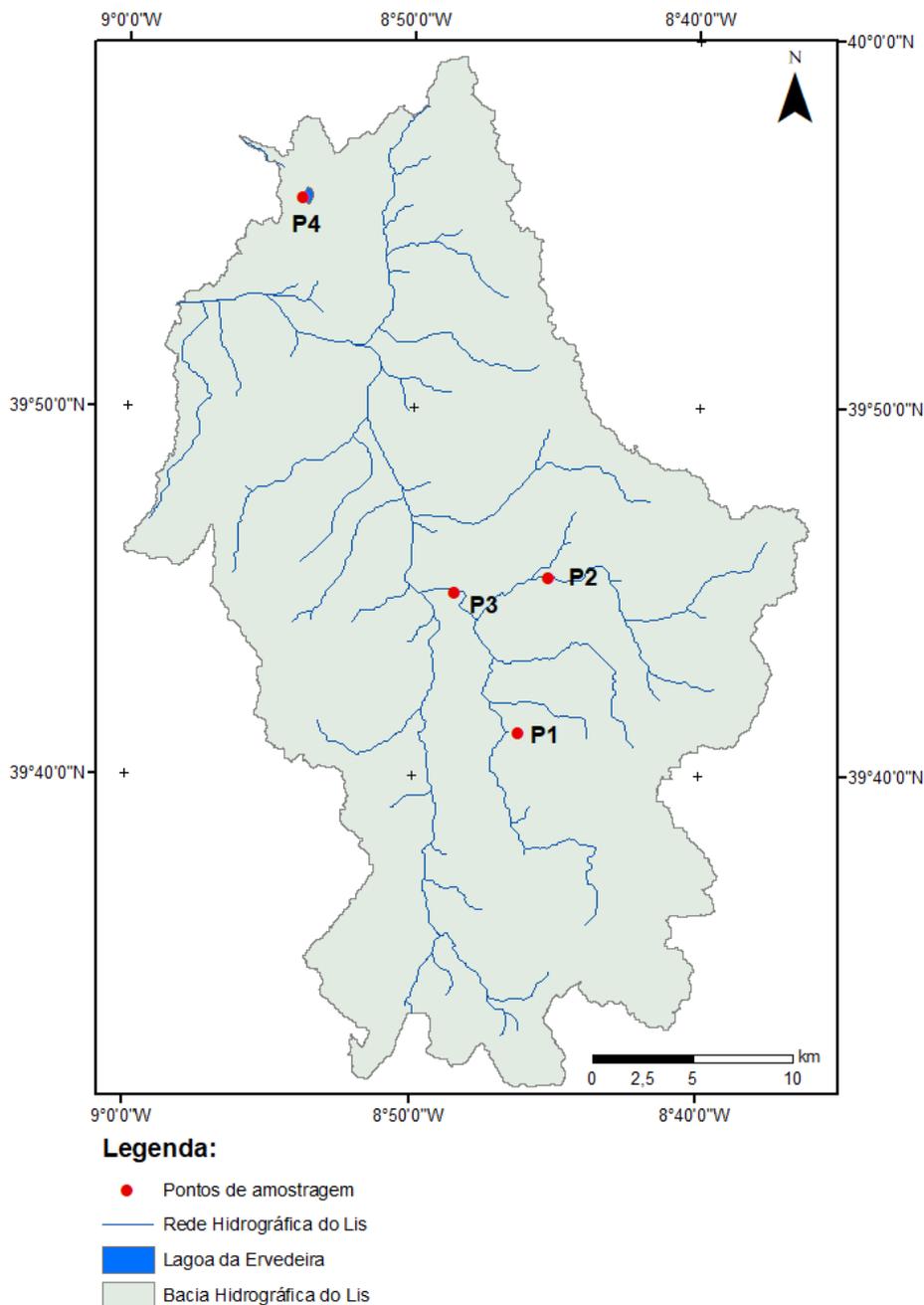


Figura 19 - Localização dos pontos de amostragem

## 4.1 Pontos de Análise

### 4.1.1 Nascente do Rio Lis

O rio Lis é a linha de água de maior relevo no concelho de Leiria e a principal linha de água da bacia hidrográfica estudada. Os pontos de exurgência, e de entre eles o que se considera a sua nascente, estão inseridos no sistema aquífero Maciço Calcário Estremenho (O20), na folha 297 (Leiria) da carta militar do Instituto Geográfico do Exército (IGeoE) e na folha 23-C (Leiria) da Carta Geológica de Portugal.

O rio Lis é o destino da água superficial dos cursos secundários e é caracterizado por um caudal médio de 2,69 m<sup>3</sup>/s (SNIRH, 2018), sendo bastante fraco nos meses de verão e mais intenso no inverno. Esta alteração de volume hídrico é provocada pela precipitação que se faz sentir com maior intensidade nos meses entre novembro e abril e que rapidamente alimenta os caudais das linhas de água da região.

O curso de água, pelo contexto litológico onde se insere, possui vários locais onde existem exurgências que só se verificam em períodos de forte precipitação. O local que a população denomina de nascente é precisamente uma das exurgências perenes existentes no leito do rio. No entanto, se as condições climáticas forem favoráveis, este é o local por onde se regista um dos maiores caudais afluentes.

Quando não existe precipitação, o cenário altera-se. Ainda assim registam-se dois locais onde surge água durante todo o ano. O mais conhecido localiza-se nas ruínas de um antigo moinho de água a poucos metros da exurgência perene já mencionada. O outro local, e o que foi alvo de amostragem, localiza-se a aproximadamente 300 m a jusante dos primeiros num dos afluentes do rio que se une ao leito principal passados 170 m (Figura 20) (Almeida *et al.*, 2000).

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas



Figura 20 - Ponto de amostragem P1, Fontes, Leiria

O ponto de amostragem P1 situa-se em área de floresta e está inserido num vale imediatamente a jusante da área das serras do maciço calcário estremenho que é caracterizado pela sua intensa carsificação, com longas redes de galerias subterrâneas por andares e pelas quais a água atravessa o maciço (Almeida *et al.*, 2000).

As margens do rio, ao longo desta área estão desprovidas de vegetação e a área envolvente é essencialmente florestal com a presença de eucaliptos, oliveiras e espécies autóctones como é o caso de sobreiros (*Quercus suber*).

O rio Lis é a única massa de água onde é realizada captação superficial de água para consumo humano no concelho de Leiria. Visto que, águas para consumo humano requerem parâmetros químicos, físicos e biológicos muito específicos e exigentes, qualquer perturbação pode ter consequências gravosas para a saúde da população que a consome. Em anos anteriores já houve registos de qualidade hídrica medíocre nas exurgências, devido a descargas de efluentes domésticos nas zonas a montante, inseridas nas serras de Aire e Candeeiros e que, pelas condições topográficas e geológicas rapidamente se propagaram por uma vasta área da bacia.

O ponto em questão insere-se na localidade de Fontes e é um ponto turístico da região, e por esse motivo os acessos são fáceis. No âmbito do trabalho o local foi definido como P1 e tem as coordenadas geográficas 39° 41' 13,4" N e 8° 46' 08,4" W (WGS 84) e situa-se a uma altitude de 101 m.

#### 4.1.2 Ribeira do Sirol

A ribeira do Sirol, também denominada Ribeira da Caranguejeira, Ribeira de Santa Eufémia ou Ribeira dos Frades é, um afluente da margem direita do rio Lis que conflui no início da zona urbana da cidade de Leiria. Insere-se na área do sistema aquífero Pousos – Caranguejeira (O12), na folha 285 (Marrazes) da carta militar do Instituto Geográfico do Exército (IGeoE) e na folha 23-C (Leiria) da carta geológica de Portugal.

O sistema aquífero em que se insere ocupa uma área de cerca que 102 km<sup>2</sup> e, na sua generalidade a recarga aquífera é direta, fundamentalmente por sul e sudeste através de arenitos do Cretácico cobertos por areias do Pliocénico (Almeida et al, 2000).

Esta ribeira encontra-se muito próxima da estrutura sinclinal dos Pousos (Lauverjat, 1982; citado em Teixeira *et al.*, 1968) e tem a particularidade de ser a única linha de água a passar pelo vale fluvial cársico da região, o Vale do Lapedo, conhecido pelos vestígios de ocupação humana durante o Paleolítico Inferior (Carvalho, 2011).

A área é caracterizada por uma planície com forte uso agrícola (Figura 21) e, segundo a Direção Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural, a bacia hidrográfica desta ribeira é ocupada pelo maior regadio tradicional da região. É, por este motivo uma massa de água com intenso uso para rega e que já foi considerado pela Agência Portuguesa do Ambiente como tendo boa qualidade para esse fim (Almeida *et al.*, 2000). O fluxo hídrico da ribeira é muito variável consoante a precipitação e as margens, de forma geral e em quase todo o seu percurso, possuem um bom poder de encaixe.

As suas margens possuem uma grande densidade de flora infestante (*Arundo donax L e Rubbos spp*) típica um pouco ao longo de todas as linhas de água da bacia. Também é observável no local que a linha de água já sofreu intervenções de estabilização das margens (Figura 21). Pela densa vegetação, os pontos de acesso são escassos, sendo o trabalho de campo dificultado.

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas



**Figura 21 - Ponto de amostragem P2, Andrinos, Leiria**

O ponto de amostragem da ribeira do Sirol é denominado de P2 e tem de coordenadas geográficas 39° 45' 25,5" N e 8° 45' 31,0" W (WGS 84) e uma altitude de 62 m.

### 4.1.3 Troço intermédio do rio Liz

O rio Lis constitui a massa de água que atravessa a cidade de Leiria e que dá nome à bacia hidrográfica, está inserida na folha nº 297 (Leiria) da carta militar do Instituto Geográfico do Exército (IGeoE) e na folha 23-C (Leiria) da Carta Geológica de Portugal.

Remontando um pouco ao passado, no final do século XVIII, entre 1773 e 1887, Reinaldo Oudinot, um engenheiro militar de nacionalidade francesa, desenvolveu um extenso projeto de ordenamento e arquitetura hidráulica no rio. As obras desenvolvidas tinham como premissa fomentar o desenvolvimento agrícola dos campos do Vale do rio Liz (Leite, 2016)

Para tal, Reinaldo Oudinot desenvolveu um projeto que, numa primeira fase, procedeu à abertura de um novo leito do rio alterando a sua foz para 3 km a sul do local onde naturalmente desaguava (Figura 20). Esta alteração foi realizada em linha reta (perpendicularmente à linha de costa) de forma a facilitar e acelerar o escoamento das águas fluviais eliminando, desta forma os problemas de inundações que se registavam a montante (Leite, 2016).

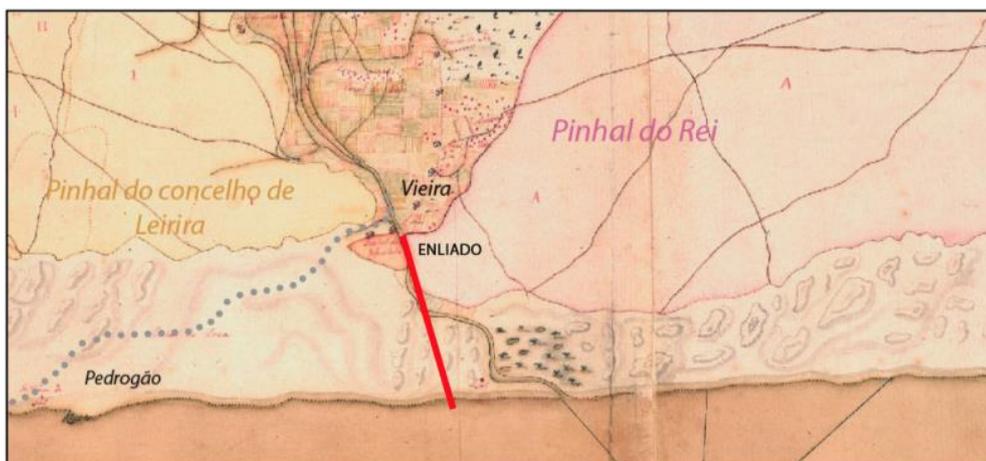


Figura 22 - Obra de alteração da foz do rio. A cinzento está representado o traçado original e a vermelho o projeto de Oudinout (Leite, C., 2016, adaptado de Eldsen, G, 1765)

A segunda fase do projeto consistiu no ordenamento hidrográfico a montante, definindo-se os seguintes objetivos: regularização do traçado do rio em linha reta sempre que possível, a reconstrução de margens, o ordenamento de valas e canais, e a construção de plataformas de irrigação para campos agrícolas (Leite, 2016; Santos, Tavares, Zêzere & Pereira, 2013).

A escolha do ponto de amostragem, neste tipo de massa de água, foi feita tendo por base a passagem na zona urbana da cidade, podendo assim, incorporar a influência urbana na qualidade hídrica. O local em causa está inserido no percurso de intervenção Polis e localiza-se por debaixo da ponte do Arrabalde, possui um caudal médio de cerca de 2,69 m<sup>3</sup>/s (SNIRH, 2018) com fáceis acessos e bons pontos de recolha, o que facilita o trabalho de campo (Figura 23).



Figura 23 - Ponto de amostragem P3, Percurso Polis, Leiria

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

A escolha do ponto P3 neste local da malha urbana e não a jusante da mesma prende-se com a existência de indústria nas proximidades no troço imediatamente a jusante do rio. Assim, tentou-se que este local não fosse afetado por constituintes com origem em efluentes de fontes industriais.

No ponto de amostragem, o rio tem um perfil largo com cerca de 10 m e com um elevado poder de encaixe de caudais de pico. No local de amostragem de água superficial o leito do rio está artificializado com diques longitudinais com o objetivo de prevenir cheias e inundações. É importante referir que o troço em análise tem um caudal regulado, uma vez que 300 m a montante localiza-se um açude, que é regulado pela Câmara Municipal de Leiria, e a cerca de 800 m a jusante, existe um outro da responsabilidade da Associação de Regantes do Vale dos Lis.

Ficou então determinado o ponto P3 com coordenadas geográficas de 39° 45' 00,4" N e 8° 48' 14,1" W (WGS 84) e uma altitude média de 33 m.

### 4.1.4 Lagoa da Ervedeira

O local em estudo situa-se na Lagoa da Ervedeira que em conjunto com o espaço envolvente, ocupam uma área de cerca de 25 hectares, localizando-se na faixa de separação entre a Mata Nacional do Pedrógão (conhecido como Pinhal de Leiria) e a Mata Nacional do Urso, ambos do domínio do Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF). Situa-se ainda na freguesia de Coimbrão, concelho de Leiria e está incluída no sistema aquífero Vieira de Leiria (O12), na folha 272 (Vieira de Leiria) da carta militar do Instituto Geográfico do Exército (IGeoE) e na folha 22-B (Vieira de Leiria) da Carta Geológica de Portugal.

O sistema aquífero Vieira de Leiria - Marinha Grande é considerado um aquífero multicamada constituído por areias miocénicas e arenitos do Cretácico Inferior. A recarga subterrânea dá-se fundamentalmente nas áreas mais elevadas a leste, por drenagem entre camadas ao longo dos cursos de água influentes e é uma lagoa particularmente vulnerável a condições de baixa pluviosidade (Almeida, 2000; Martins, 2006).

A lagoa parece estar inserida em zona de falhas com orientação N-S que originam a sua forma irregular (Andrade, 2008). Trata-se de um afloramento à superfície do nível aquífero superior, não confinado da região.

A área envolvente da Lagoa pode ser dividida segundo duas tipologias de ocupação e uso do solo. A zona Oeste e Sul, onde são observados espaço florestais utilizados para a prática recreativa durante os meses mais quentes. As margens Norte e Este da Lagoa que são usadas para a prática agrícola, apesar de ser visível um abandono de grande parte dos terrenos.

A morfologia da Lagoa da Ervedeira difere entre margens e através da batimetria do fundo, realizada em 2008 por Andrade, sabe-se que:

- A lagoa tem uma forma alongada segundo a direção Norte-Sul;
- A morfologia da lagoa apresenta-se assimétrica tanto no fundo como nas margens;
- A margem Este da massa de água tem um pendor bastante suave mantendo-se estável ao longo de toda a sua extensão;
- A margem Oeste da Lagoa da Ervedeira é marcada por declive acentuado registando-se o local de maior profundidade na faixa central da margem.
- A maior profundidade da coluna de água tem um máximo de três metros.

Apesar de ser uma massa de água de relevo no concelho de Leiria, este é um ponto que atualmente carece de especial atenção, uma vez que foi sujeita ao incêndio de 15 de outubro, encontrando-se quase toda a sua área vizinha agora ardida. As cinzas resultantes do incêndio são um motivo de preocupação, uma vez que a precipitação e o escoamento superficial as encaminham para o interior da lagoa, temendo-se alterações da qualidade da água.

As margens da massa de água apresentam vegetação aquática como é o caso de caniços (*Phragmites australis*) e a área envolvente é essencialmente constituída por pinheiro bravo (*Pinus Pinaster*) e eucalipto (*Eucalyptus globulus labill*) (Câmara Municipal de Leiria, s.d.) (Figura 24).

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas



**Figura 24 - Ponto de amostragem, P4, Lagoa da Ervedeira**

O local de recolha de amostra para análise laboratorial foi escolhido pela sua geomorfologia no qual se estabeleceu a importância de ser amostrado um ponto com maior profundidade e bons acessos. Ficou definido como ponto P4 o ponto com coordenadas geográficas 39°55'49,1"N 8°53'51,6"W (WGS 84) e altitude média de 49 m, representando a maior área de ocupação de solo de uso florestal no concelho de Leiria.

## 5. Resultados

Os resultados da aplicação da metodologia descrita no capítulo 3 serão divididos tendo em conta a determinação de parâmetros físicos e químicos no campo e a determinação de constituintes químicos laboratorialmente, sendo que, a partir destes resultados será determinado no estado químico das massas de água analisadas, e por fim serão apresentados os resultados da monitorização da altura da coluna de água da Lagoa da Ervedeira.

### 5.1 Resultados da campanha de monitorização de parâmetros físicos e químicos nas massas de água

Os dados das campanhas de monitorização de parâmetros físico-químicos (pH, ORP, CE, OD; T ar e T água, e seus derivados) efetuadas durante o inverno (13 de março a 1 de abril de 2018) e o verão (dias 29 e 30 de junho e 1 de julho de 2018) nos 4 pontos selecionados estão representados nas tabelas que se seguem. É importante referir que, durante a campanha de inverno, o ponto P4 referente à lagoa da Ervedeira tem menos um dia de medição em comparação com os restantes pontos. Tal facto deveu-se ao início de um período de precipitação intensa que inviabilizou a medição. Os resultados das campanhas demonstram, de forma consistente, os diferentes contextos das massas de água analisadas (Tabela 6a, 6b, 6c, 6d).

Tabela 6 - Dados recolhidos da campanha de determinação de parâmetros *in situ*; 6(a) em P1, 6(b) em P2, 6(c) em P3 e d(d) em P4

#### P1 - Nascente do Rio Lis

Data	pH	ORP (mV)	Eh (mV)	pe	O <sub>2</sub> (mg/L)	% Saturação de O <sub>2</sub>	CE (μS/cm)	CE a 25°C (μS/cm)	Turvação (FTU)	T água (°C)	T ar (°C)
13/03/2018	6,9	157	371	6,50	7,9	77,91	544	672	8,52	15,03	14
28/03/2018	7,18	112,5	326,5	5,71	8,4	83,75	551	672	3,72	15,6	17,8
29/03/2018	7,04	111,4	325,4	5,68	7,2	72,65	562	682	3,12	15,8	12,4
01/04/2018	7	131,3	345,3	6,05	7	69,03	567	698	4,18	15,2	22,7
29/06/2018	6,94	144,1	356,1	6,20	7,2	73,47	605	721		16,6	20,5
30/06/2018	6,84	156,1	368,1	6,41	6,8	69,39	604	719		16,6	21,2
01/07/2018	6,95	118,5	330,5	5,76	7,1	72,45	608	723		16,7	21,9

#### P2 - Ribeira do Sirol

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

Data	pH	ORP (mV)	Eh (mV)	pe	O <sub>2</sub> (mg/L)	% Saturação de O <sub>2</sub>	CE (µS/cm)	CE a 25°C (µS/cm)	Turvação (FTU)	T água (°C)	T ar (°C)
13/03/2018	7,9	131	345	6,06	9,3	89,60	495	625	9,86	14,1	15,4
28/03/2018	7,94	99,3	313,3	5,48	8,8	86,79	488	600	7,84	15,2	18,3
29/03/2018	8,07	111,4	325,4	5,70	8,8	86,79	487	603	8,27	14,9	12,6
01/04/2018	8,01	104,3	317,3	5,54	8,9	89,81	485	588	6,91	15,8	22,1
29/06/2018	7,8	145,9	356,9	6,17	8,4	90,61	468	531		18,8	19,1
30/06/2018	7,86	145,9	356,9	6,19	8,7	93,85	469	540		18,1	20,1
01/07/2018	7,73	159,9	370,9	6,41	8,1	88,33	461	521		19	19,5

### P3 - Rio Lis

Data	pH	ORP (mV)	Eh (mV)	pe	O <sub>2</sub> (mg/L)	% Saturação de O <sub>2</sub>	CE (µS/cm)	CE a 25°C (µS/cm)	Turvação (FTU)	T água (°C)	T ar (°C)
13/03/2018	7,96	121,4	334,4	5,85	9,4	93,72	554	675	10,06	15,6	17,9
28/03/2018	8,08	97,1	310,1	5,42	9,3	92,72	558	679	8,19	15,7	17,9
29/03/2018	8,15	101	314	5,49	9,1	90,73	562	687	8,32	15,5	13,9
01/04/2018	8,14	107,3	320,3	5,59	9	90,82	561	677	5,04	16	19,9
29/06/2018	7,81	118,2	329,2	5,69	8,5	91,69	568	640		19,1	23,8
30/06/2018	7,89	149,2	359,2	6,23	8,2	86,50	572	659		18,1	20,9
01/07/2018	8,01	135,4	345,4	5,97	8,1	87,38	558	629		19,1	22,7

### P4 - Lagoa da Ervedeira

Data	pH	ORP (mV)	Eh (mV)	pe	O <sub>2</sub> (mg/L)	% Saturação de O <sub>2</sub>	CE (µS/cm)	CE a 25°C (µS/cm)	Turvação (FTU)	T água (°C)	T ar (°C)
13/03/2018	8,29	107,4	321,4	5,62	9,8	97,71	512	625	8,87	15,5	18,1
28/03/2018	8,3	83,9	295,9	5,14	9,2	96,03	499	582	7,06	17,5	17,9
01/04/2018	8,18	100,2	313,2	5,46	9,3	93,84	503	605	7,32	16,2	21,1
29/06/2018	8,31	108,2	315,2	5,34	8,8	107,71	501	503		24,8	23,4
30/06/2018	8,25	137,2	344,2	5,85	8,3	99,52	503	512		24,1	23,2
01/07/2018	8,1	188,1	398,1	6,77	8,6	103,12	505	517		23,8	19,6

A comparação entre os valores observados nas duas campanhas permite perceber que, de modo geral, no inverno o potencial de oxidação-redução da água é mais reduzido e a concentração de oxigénio dissolvido é mais elevada, dada a diminuição da temperatura e o aumento do caudal, já que esta altura do ano apresenta períodos de precipitação intensa. Igualmente as primeiras chuvas arrastam matéria orgânica o que pode provocar o decréscimo do ORP. Estas variações são mais acentuadas em P2, P3 e P4 e pouco visíveis em P1, dada a origem da água que, neste caso, terá uma contribuição grande de água subterrânea.

As tabelas permitem ainda compreender que a turvação é um elemento muito variável e que é diretamente proporcional à pluviosidade sentida na área. Apesar de não

ter sido determinado o valor da turvação na campanha de verão, a diminuição do valor é visível apenas pela observação da massa de água (em anexo encontram-se imagens do mesmo ponto da campanha de inverno e de verão a usar como termo de comparação).

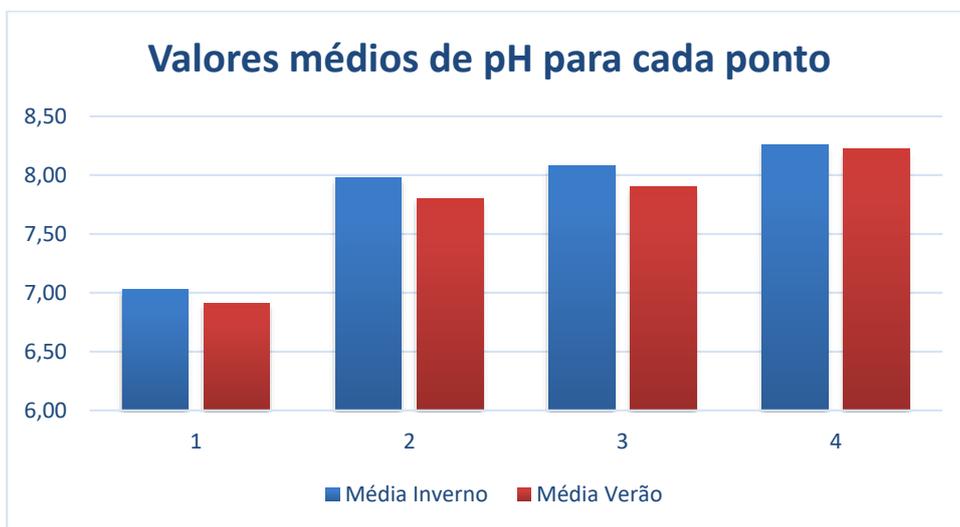


Figura 25 - Gráfico de pH para cada ponto amostrado (1 Exurgência do rio Lis, 2 Ribeira do Sirol, 3 troço intermédio do rio Lis e 4 lagoa da Ervedeira)

Pela observação do gráfico da figura 25, é perceptível que:

- O valor de pH regista um aumento grande entre P1 e P2, aumentando mais lentamente para P3 e P4;
- Os valores da campanha de inverno são, em todos os pontos, superiores aos da campanha de verão;
- O ponto que apresenta valores mais estáveis de pH em todas as medições é a lagoa da Ervedeira variando muito pouco entre campanhas.

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

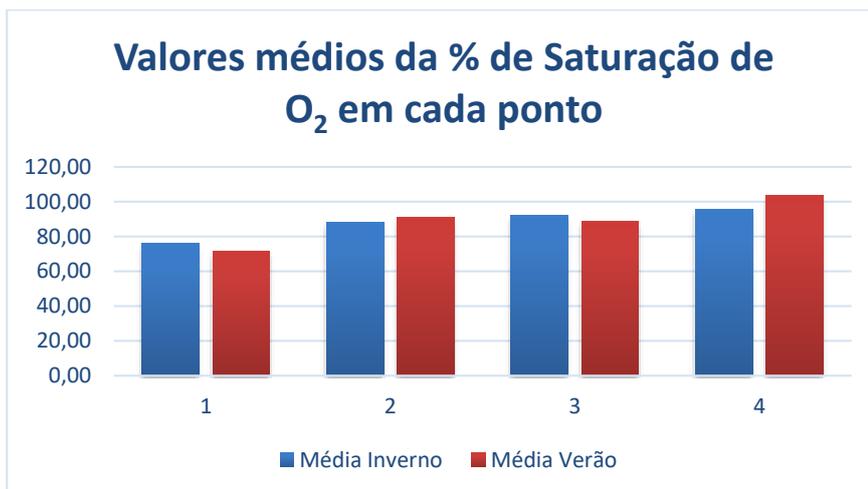


Figura 26 - Gráfico de % de saturação de O<sub>2</sub> para cada ponto amostrado (1 Exurgência do rio Lis, 2 Ribeira do Sirol, 3 troço intermédio do rio Lis e 4 lagoa da Ervedeira)

O valor de oxigénio dissolvido foi utilizado para o cálculo da percentagem de saturação em O<sub>2</sub> e os resultados mostram que a percentagem de saturação aumenta tendencialmente de montante para jusante, à exceção do ponto 3, na campanha de Verão (Figura 26). Esta divergência pode estar relacionada com presença de substâncias ou organismos que promovam reações químicas ou bioquímicas que necessitem de oxigénio, como a degradação da matéria orgânica, a oxidação de compostos azotados e a respiração celular.

Aos valores medidos de ORP, foram aplicados os fatores de correção e determinados os parâmetros de Eh e pe (Eq. 1) (Figura 27).

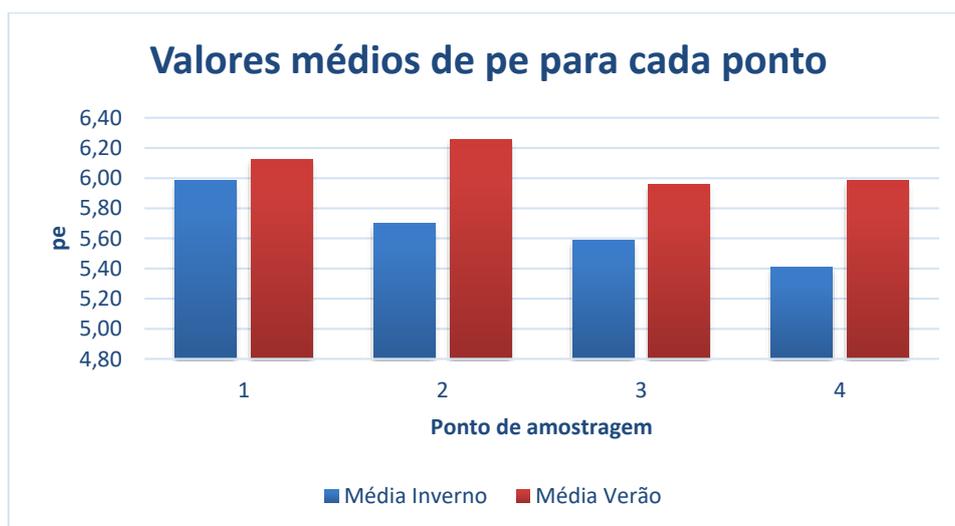


Figura 27 - Gráfico dos valores médios de pe para cada ponto amostrado (1 Exurgência do rio Lis, 2 Ribeira do Sirol, 3 troço intermédio do rio Lis e 4 lagoa da Ervedeira)

Todos os elementos determinados nos parâmetros ORP, Eh e pe, foram menores nas campanhas de inverno e maiores na campanha de verão. O ponto onde se registou uma alteração menor foi em P1, possivelmente por ser um ponto onde a origem da água é em grande parte subterrânea e sujeita a menores variações sazonais. A ribeira do Sirol foi o local onde se registaram os maiores valores, ao longo da campanha de verão; em contrapartida, a lagoa da Ervedeira registou os valores mais baixos de ambas as campanhas.

O potencial de Oxidação Redução permite avaliar a capacidade da massa de água receber eletrões e pode ser utilizada para o carácter redutor ou oxidante do corpo hídrico. É também um bom indicador dos elementos biológicos da água uma vez que controla a grande maioria das reações com compostos orgânicos e inorgânicos (Dragun, 1988). Valores baixos indicam condições mais redutoras. Os valores de Eh aumentam substancialmente no verão o que sugere um ambiente mais oxidante do que no inverno, o que pode resultar de maior atividade biológica.

O valor da condutividade elétrica da água está relacionado com a quantidade e o tipo de elementos dissolvidos. De uma maneira geral, a condutividade elétrica é mais elevada quando na água existe uma maior quantidade de matéria dissolvida.

Uma vez que é um parâmetro que é alterado com a temperatura, foi necessário aplicar o fator de correção para o valor da condutividade elétrica de referência (Eq. 3).

Os resultados da aplicação dos valores de referência encontram-se nas tabelas 7<sup>a</sup>, 7b, 7c e 7d e no gráfico da figura 28.

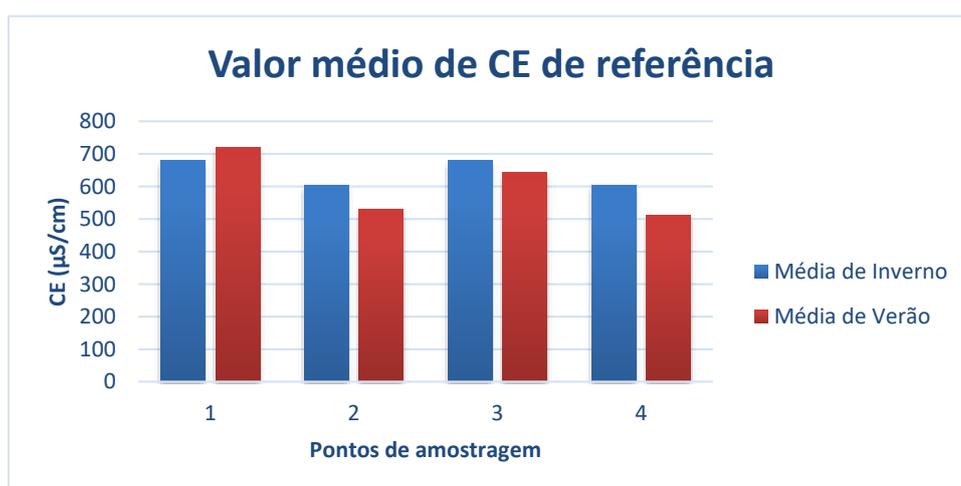


Figura 28 - Gráfico dos valores médios de Condutividade Elétrica de referência nos pontos amostrado (1 Exsurgência do rio Lis, 2 Ribeira do Sirol, 3 troço intermédio do rio Lis e 4 lagoa da Ervedeira)

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

Como se pode observar pelo gráfico da figura 28, os pontos que registam valores de CE mais elevados são o ponto P1 e P3, ou seja a água do rio Lis na sua nascente e na zona urbana. O facto do ponto P2 apresentar valores mais baixos, estando em zona de ocupação de solo agrícola, pode indicar uma origem diferente para esta água. Na nascente do rio Lis pode haver um afluxo elevado de água subterrânea com condutividade elétrica mais elevada, provavelmente com origem em aquíferos carbonatados que existem na zona da nascente e a montante do rio Lis, no Maciço Calcário Estremenho. A água da ribeira do Sirol poderá ter uma contribuição mais elevada de água menos mineralizada, com uma origem diferente, que poderá ser água de precipitação atmosférica ou de escorrência superficial, ou então uma água subterrânea menos mineralizada e influenciada pelos materiais geológicos detríticos existentes a montante.

Em P1 verifica-se um aumento do valor da condutividade elétrica entre a campanha de inverno e a de verão, podendo significar uma menor diluição por ausência de precipitação atmosférica. No entanto, em P2 e P3 regista-se uma diminuição deste valor. Poder-se-ão explicar estes valores por diminuição de incorporação de matéria dissolvida proveniente do escoamento superficial, o que concorda com o facto de haver menor caudal e menor turvação. Igualmente pode haver diminuição da mineralização da água superficial por precipitação de sais. Por fim, o ponto P4 é o que regista a maior descida deste valor entre campanhas.

A tabela 7 permite comparar os resultados obtidos para cada amostra sendo que  $P_{<0,45\mu m}$  representa a amostra filtrada no campo a  $0,45\ \mu m$  e  $P_{total}$  representa a amostra sem filtragem e por isso os constituintes totais.

**Tabela 7 - Análises laboratoriais da campanha de amostragem**

Ponto de amostragem	CaCO <sub>3</sub> (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Cl (mg/L)	HCO <sub>3</sub> (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mg/L)	NH <sub>4</sub> (mg/L)	SO <sub>4</sub> (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Al (mg/L)
P1 <sub>Total</sub>	283	101	7	-	-	17	-	10	-	12	-	-	-
P2 <sub>Total</sub>	231	76	10	-	-	25	-	10	-	22	-	-	-
P3 <sub>Total</sub>	286	98	10	-	-	25	-	9	-	19	-	-	-
P4 <sub>Total</sub>	168	51	10	-	-	71	-	< 3	-	47	-	-	-
P1 <sub>&lt; 0,45 μm</sub>	282	102	2,4	7,2	0,91	16	310	10	0,04	12	<0,020	0,007	< 0,02
P2 <sub>&lt; 0,45 μm</sub>	226	76	6,7	14	2,5	24	246	10	0,049	22	0,059	0,022	0,029
P3 <sub>&lt; 0,45 μm</sub>	283	98	4,7	13	1,9	22	278	10	0,153	18	<0,020	0,009	< 0,02
P4 <sub>&lt; 0,45 μm</sub>	165	50	6	36	2,7	67	117	< 3	0,00	47	0,028	<0,004	<0,020
Máxima admissível		250*	50*	200*	10*	400*		50***	0,02**	250	200	0,123**	

- \* Valor máximo admissível segundo a norma diretiva 80/778/EEC,
- \*\* Valores de concentração recomendados segundo UK Technical Advisory Group on the Framework Directive
- \*\*\* Valor de concentração recomendado segundo a Diretiva 91/676/CEE

Para além dos elementos já descritos na tabela, foi também analisada a presença de F, NO<sub>2</sub>, Cd, Sb, Cu e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, tendo a sua concentração tido valores abaixo do limite detetável pelo equipamento.

Os dados da tabela 7 permitem perceber que os resultados da análise total ou da amostra filtrada a 0,45 µm são muito semelhantes, o que indica que a maioria dos constituintes estarão sob a forma dissolvida e não sob a forma particulada.

Alguns dos elementos traço foram analisados com o objetivo específico da determinação de fontes poluentes, como por exemplo a presença de cobre que está frequentemente relacionada com fontes de origem doméstica ou industrial (*UK Technical Advisory Group on the Water Framework Directive*, 2013). A inexistência deste elemento nas amostras analisadas, principalmente na zona urbana, é um bom indicador de qualidade hídrica. Já o manganês que pode estar associado a fontes de origem industrial também apresenta valores bastante baixos quando comparados com a concentração máxima admissível para águas superficiais (*UK Technical Advisory Group on the Water Framework Directive*, 2013), sendo também ele, um bom indicador da qualidade hídrica.

Os melhores indicadores dos efeitos do uso do solo a nível químico são os nitratos e nitritos. Estes elementos, quando são notados em maiores quantidades, demonstram a ocupação do solo pelo setor primário, principalmente a nível agrícola (Clapcott *et al.*, 2012). Na análise das amostras não foram detetados vestígios de NO<sub>2</sub>, e registou-se uma concentração de 10 mg/L de NO<sub>3</sub> em todas as massas de água à exceção de P4 em que o valor estava abaixo da capacidade de deteção do equipamento (ou seja, 3 mg/L). A Directiva 75/440/CEE determina que as águas superficiais (podendo ser ou não ser utilizadas para a produção de água para consumo humano) não devem ter valores de concentração em nitratos superiores a 50 mg/L, pelo que, pode-se afirmar que este, não é um parâmetro que apresente risco hídrico nas águas que foram alvo de estudo.

A concentração de amónia presente na água nos pontos amostrados indica que este elemento aumenta para jusante da bacia e em P3 possui uma concentração três vezes superior aos valores registados anteriormente. Segundo a WHO (2017) a presença do catião de amónia está diretamente relacionada com os processos

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

biológicos de fixação, mineralização e nitrificação de nitrogénio, ou seja, por outras palavras, é um indicador da presença de poluição fecal na massa de água.

Apesar do valor de amónia se encontrar abaixo da máxima admissível segundo o *UK Technical Advisory Group on the Framework Directive* (2013), este deve ser tido em consideração uma vez que, coloca em risco a qualidade hídrica da massa de água e conseqüentemente poderá resultar em efeitos graves para a população.

Com base nos dados das análises de constituintes maiores das águas superficiais amostradas, foram elaborados os diagramas de Piper e de Stiff (Figuras 29 e 30) através do software *Diagrammes*, onde foram inseridos os principais constituintes químicos das amostras, em meq/L, e com a identificação de totais de sólidos dissolvidos.

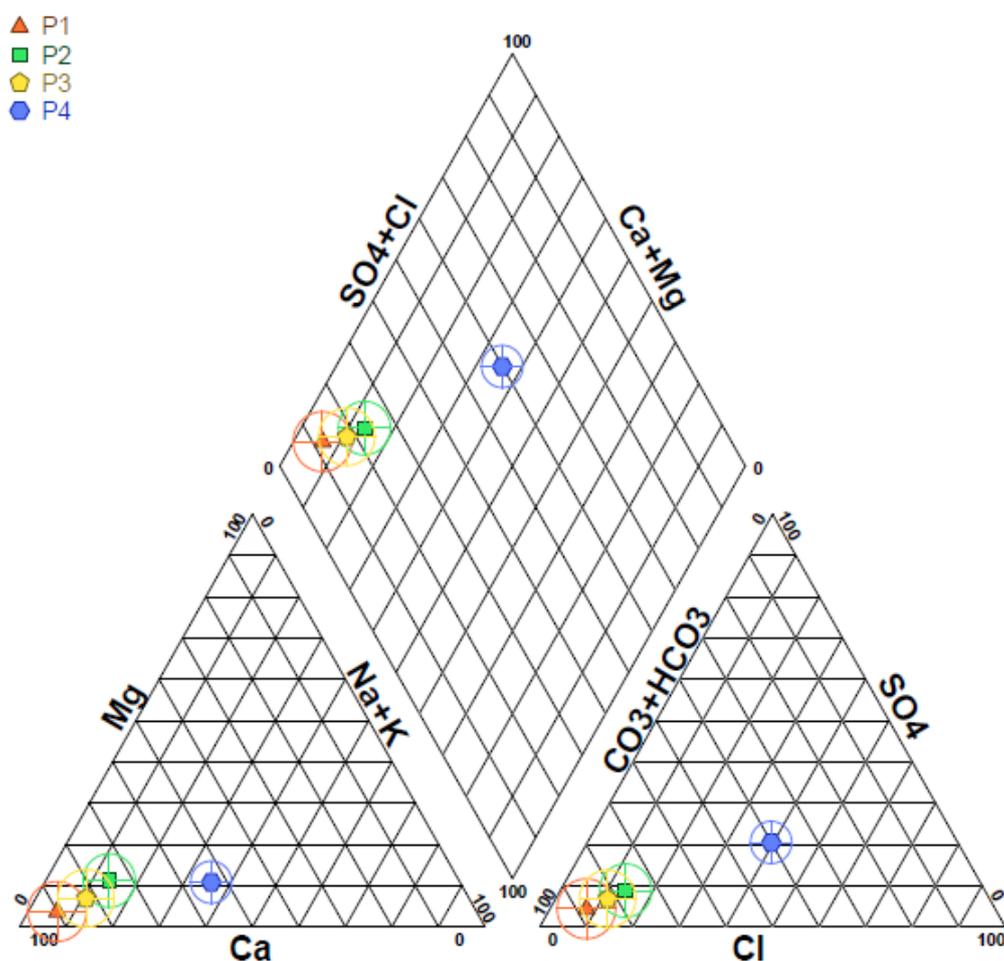


Figura 29 - Diagrama de Piper com a análise dos pontos amostrados

O diagrama de Piper, Figura 29, permite identificar os elementos dominantes e a fácies hidroquímica de que cada tipo de água. O diagrama permite avaliar que três dos quatro pontos (P1 a P3) correspondem a análises de águas bicarbonatadas

cálcicas. O ponto P4, correspondente à massa de água da Lagoa da Ervedeira, distingue-se das restantes sendo uma água de fácies mista cálcica-sódica e bicarbonatada-cloretada.

A representação permite ainda compreender que os pontos P1, P2 e P3 são quimicamente muito semelhantes e que a representação de P3 se encontra numa posição intermédia entre os limites P1 e P2, sugerindo a mistura destes dois tipos de água na amostra P3. P4 destaca-se deles. É ainda perceptível que o total de sólidos dissolvidos é muito maior nos primeiros 3 pontos de amostragem, ou seja, nas linhas de água, e menor no ponto da Lagoa da Ervedeira.

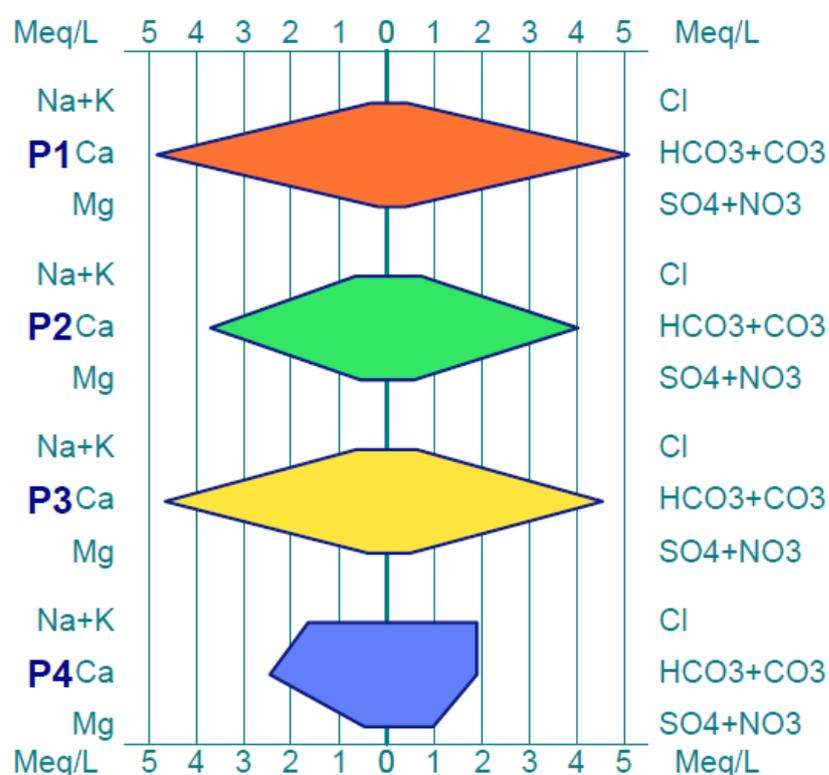
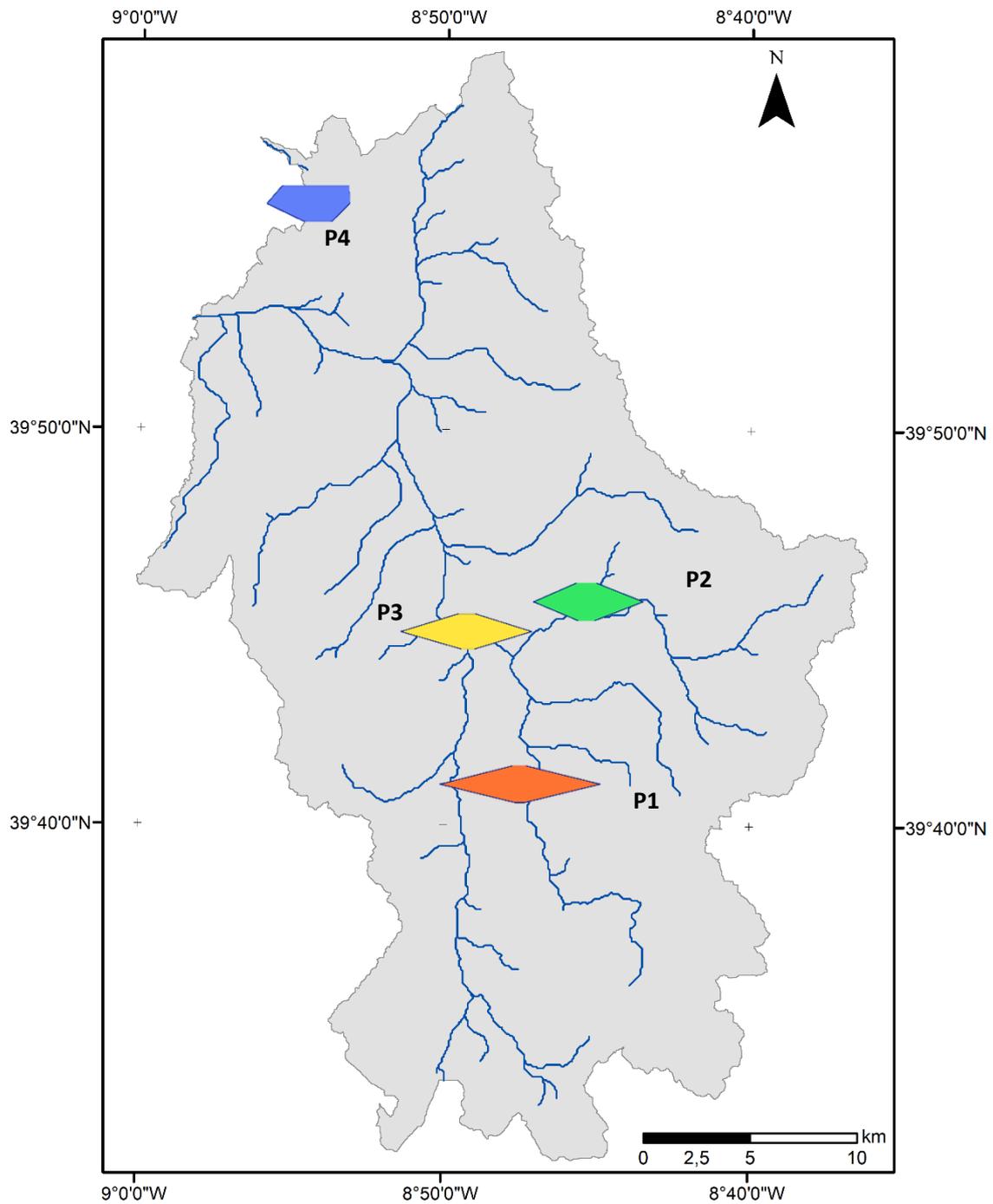


Figura 30 - Diagrama de Stiff com a análise dos pontos amostrados

O diagrama de Stiff (Figura 30) é uma representação visual e dinâmica dos principais elementos constituintes nas amostras e da mineralização das mesmas. A amostra do ponto P1 é a que possui uma maior mineralização, especialmente de origem nas espécies Ca e HCO<sub>3</sub>+CO<sub>3</sub>, seguida de P3 e P2.

# Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas



## Legenda:

- Rede Hidrográfica do Lis
- Lagoa da Ervedeira
- Bacia Hidrográfica do Lis
- ◆ Facies dos pontos de amostragem

Figura 31 - Localização dos diagramas de Stiff dos pontos de amostragem no mapa da BH do Lis

Os resultados sugerem que os pontos P1, P2 e P3 estão representados na área correspondente à fácies maioritária da bacia, que corresponde a águas bicarbonatadas cálcicas (Figura 31). Desta forma as condições geológicas existentes nas zonas de recarga e nos aquíferos regionais parecem ser um dos fatores justificativos da composição destas águas. A água amostrada em P1 é uma água com forte influência litológica tendo uma fácies bicarbonatada cálcica (Ca-HCO<sub>3</sub>) resultante das interações com o maciço calcário por onde se infiltra e com o qual reage.

A água do ponto P2 pode representar a situação geral das ribeiras da bacia hidrográfica, em termos de uso do solo agrícola e das características geomorfológicas. As análises mostraram que a água, embora menos mineralizada, apresenta uma maior diversidade de constituintes dissolvidos, com maior participação de K, Mg, Cl, SO<sub>4</sub>, Fe, Al e Mn quando comparados com as águas de massas de água superficial semelhantes (P1 e P3). Por outro lado, as concentrações de Ca e HCO<sub>3</sub> são menos elevadas. As alterações observadas nas concentrações podem resultar da interação com produtos utilizados na agricultura, como os fertilizantes ricos em K, Mg e S, e os pesticidas e herbicidas usados durante o cultivo. A menor mineralização poderá resultar de uma maior contribuição da água da chuva e da interação com aquíferos porosos de origem detrítica, como os constituídos pelos arenitos de idade Cenozóica.

Os dados obtidos mostram que a água do ponto P3 parece ser resultado de uma mistura da água das linhas de água dos dois pontos anteriores (P1 e P2), o que pode ser corroborado pela observação do diagrama de Piper (Fig. 29) onde o ponto da amostra P3 se localiza na linha que une os pontos extremos P1 e P2, e no diagrama de Stiff (Fig. 32) onde se nota que a amostra P3 apresenta contribuição de Na e Cl e de Mg e SO<sub>4</sub> De valor intermédio entre a apresenta na amostra P1 e P2.

A análise da água amostrada em P3 apresentou boa qualidade hídrica, não se detetando evidências de NO<sub>2</sub> e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. No entanto, esta água apresenta a maior concentração de NH<sub>4</sub>.

Os resultados demonstram igualmente, que as análises de P4 apresentam uma água distinta das anteriores. Os principais elementos constituintes são Na e Cl e Ca e SO<sub>4</sub>. A lagoa da Ervedeira é uma massa de água superficial, que corresponde a um lago que resulta de um afloramento da superfície freática local.

## 5.2 Avaliação do estado químico das águas

Para a determinação do estado químico da água, foram determinados os elementos químicos e físico-químicos gerais e alguns poluentes específicos

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

O oxigénio dissolvido e o pH foram elementos determinados em campo, o azoto amoniacal e os nitratos foram determinados por análise laboratorial. O fósforo total foi determinado a partir da análise de  $P_2O_5$  cujo resultado foi abaixo do limite de determinação do equipamento pelo que se assume que o valor é zero.

Em termos gerais, e comparando os limites descritos na Diretiva do Quadro da Água com os resultados obtidos nos pontos de amostragem, tem-se que, todas as medições efetuadas registaram valores concordantes com os limites para o bom estado químico das águas. Relativamente ao oxigénio dissolvido, o valor mais baixo registado foi de 6,8 mg/L, as taxas máximas e mínimas de saturação de oxigénio foram de 107,71% e 69,03 % respetivamente, tendo-se atingido a sobressaturação em oxigénio no período diurno na água da lagoa da Ervedeira, coincidindo com um período de temperatura mais elevada e com elevadas taxas de produção de oxigénio devido à fotossíntese. Os valores de pH máximos e mínimos foram de 8,31 e 6,84, e por isso, estão dentro do intervalo da classificação de Bom. Os maiores valores determinados para os elementos azoto amoniacal e nitratos foi de 0,105 mg/L e 10 mg/L respetivamente, e ambos estão abaixo da concentração máxima do DQA. Por fim, não foi detetado o elemento fósforo em nenhum ponto de amostragem. Assim, todos os valores do grupo dos elementos gerais cumprem o limite para o bom estado químico das massas de água.

Quando se analisa a presença de Substâncias Prioritárias e Perigosas, de acordo com a DQA, envolvendo o antimónio, o cobre, os fluoretos e o manganês regista-se que os elementos antimónio, cobre e fluoretos deram valores abaixo do limite de deteção do equipamento, pelo que, mesmo que estejam presentes na amostra, a sua concentração não é significativa para influenciar a qualidade hídrica da água.

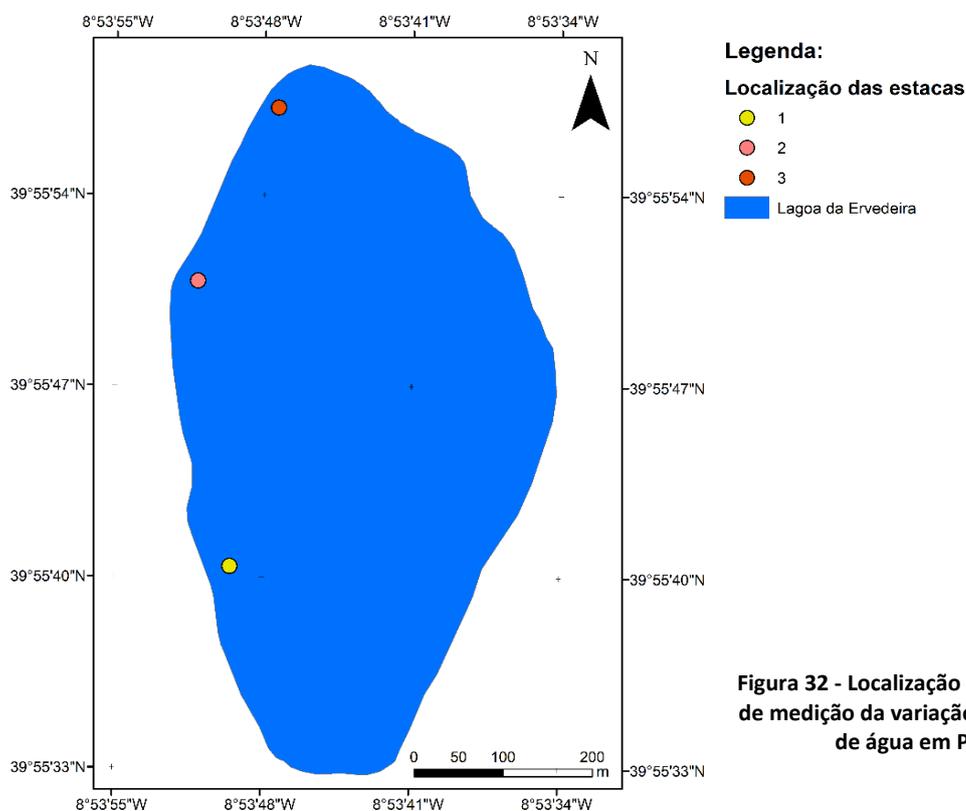
Por sua vez o elemento manganês teve como maior concentração 0,022 mg/L, pelo que também se encontra concordante com a norma de qualidade.

Assim sendo, com base nos parâmetros avaliado, as massas de água analisadas na BH do Lis são caracterizadas com BOM estado químico.

### 5.3 Monitorização da altura da coluna de água da Lagoa da Ervedeira

Avaliando as imagens de ortofotos da área, observa-se que o volume de água presente na lagoa é bastante variável quer ao longo dos anos quer entre estações secas e estações com precipitação (verão e inverno, respetivamente).

Por este motivo, iniciou-se uma campanha de monitorização da coluna de água desde o dia 29 de outubro de 2017 até ao dia 22 de junho, anotando-se o registo da variação da altura da coluna de água. À data de início da campanha de monitorização, o espelho de água da lagoa encontrava-se a uma cota de 50,85 m (WGS84). O acompanhamento da variação do espelho de água foi realizado através da colocação de 3 estacas graduadas com um espaçamento horizontal de 5 cm em três locais diferentes da lagoa e com diferentes profundidades. A estaca de menor altura, denominada de estaca 1, localiza-se na margem Sudoeste e possuía, à data de colocação, uma altura de 50 cm acima do espelho de água; a segunda estaca (estaca 2), localizada na margem oeste, é a que possui maior dimensão entre todas permitindo que acima da linha de água exista 1 metro de graduação; por fim, a estaca 3 localiza-se na margem noroeste e foi colocada com 70 cm de régua acima da linha de água (Figura 32).



**Figura 32 - Localização das Estacas de medição da variação da coluna de água em P4**

A coluna de água da Lagoa da Ervedeira tem grandes variações anuais (tabela 8). Andrade (2008) indica que a altura da coluna de água da lagoa oscila cerca de 50 cm em anos de precipitação média.

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

Neste trabalho, a monitorização foi realizada com uma frequência mínima mensal e reforçada quando foram detetados períodos de maior precipitação (ocorridos nos meses de fevereiro e março).

Tabela 8 - Alteração da coluna de água da Lagoa da Ervedeira

Data	Estaca (m)	Topografia do espelho de água (m)	Precipitação entre pontos (mm)
29.11.2017	1,00	50,85	0,00
05.12.2017	1,02	50,87	0,70
18.12.2017	1,00	50,85	40,40
31.12.2017	0,98	50,87	59,90
17.01.2018	0,95	50,89	55,70
09.02.2018	0,91	50,92	29,60
28.02.2018	0,87	50,96	34,10
13.03.2018	0,72	51,00	137,50
19.03.2018	0,65	51,15	58,90
05.04.2018	0,6	51,2	41,37
09.05.2018	0,51	51,29	78,33
12.06.2018	0,48	51,32	65,70
22.06.2018	0,47	51,33	14,80

Ao longo do período de monitorização, entre a medição realizada no dia 9 de maio e 12 de junho, a estaca 1 ficou submersa pelo que a sua leitura deixou de ser possível para a determinação da alteração da coluna de água. Ainda assim, uma vez que as restantes estacas possuíam uma régua de maiores dimensões, a monitorização continuou a ser possível.

A tabela acima indica os valores registados referentes à estaca 2 e que são concordantes com os observados na estaca 3, bem como com a estaca 1 até ao dia 9 de maio.

A monitorização da coluna da água da lagoa permitiu, em conjunto com os dados de precipitação da estação meteorológica mais próxima, 14D/03C – Monte Real, realizar

um gráfico com as duas variáveis a fim de determinar a influência dos elementos atmosféricos na massa de água (Figura 33).

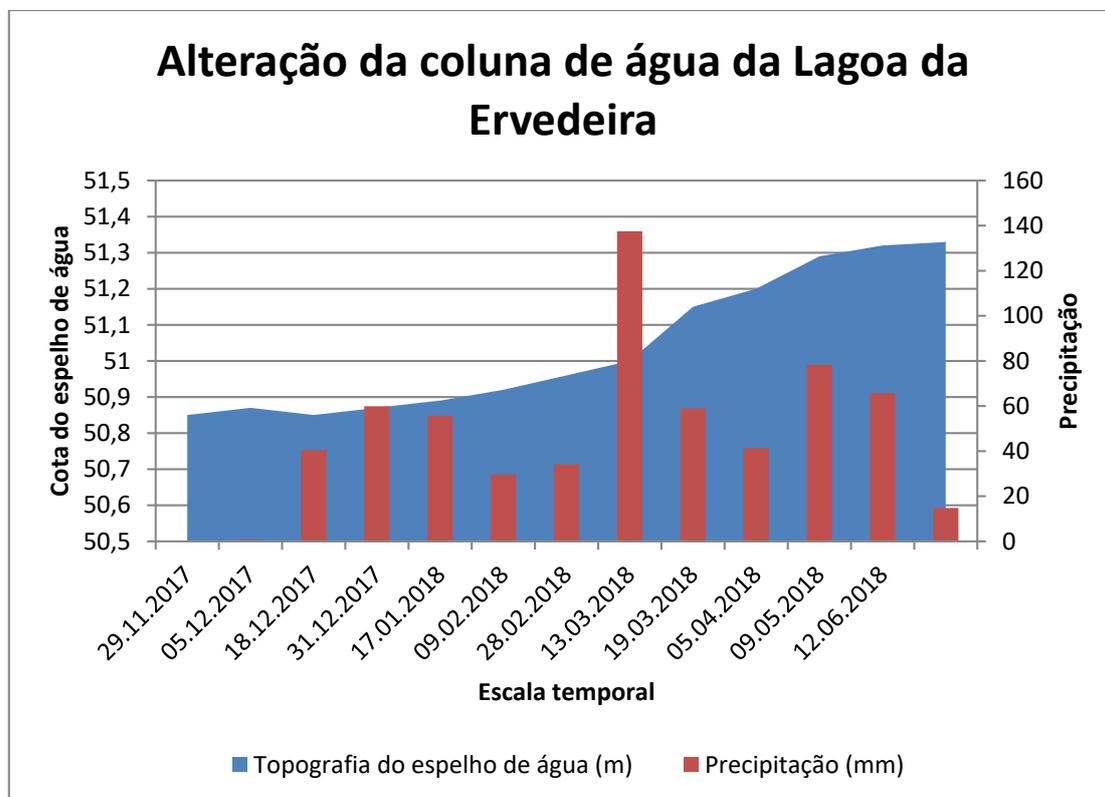


Figura 33 - Gráfico da variação da volumetria hídrica da Lagoa da Ervedeira

O gráfico mostra que ao longo do período de monitorização a coluna de água aumentou 52 cm. Os períodos de maior subida são proporcionais aos intervalos de forte precipitação dando a indicação que a recarga da lagoa é feita essencialmente por escoamento superficial e precipitação direta na lagoa. Nota-se um atraso na subida da cota da superfície em relação ao início da precipitação, o que pode indicar que a componente do escoamento superficial é mais importante do que a precipitação direta, sendo este escoamento feito essencialmente pela área a NW da lagoa.

## 6. Discussão

De acordo com a figura 15 e a tabela 5 da metodologia, a vulnerabilidade de um sistema está diretamente relacionada com um conjunto de fatores. O estudo de todos os parâmetros descritos ao longo do trabalho, quer na definição da área de estudo, quer nos resultados, permitiu determinar algumas das ações que podem ser tomadas a fim de reduzir a vulnerabilidades do sistema. Os critérios utilizados foram baseados por Fritzche, *et al.* (2014), e no quarto e quinto relatório do IPCC.

A vulnerabilidade é um elemento complexo e com múltiplas variáveis (tabela 4), para a sua determinação é necessário entrar em consideração com os seguintes fatores (Figura 34) (Fritzche, *et al.*, 2014):

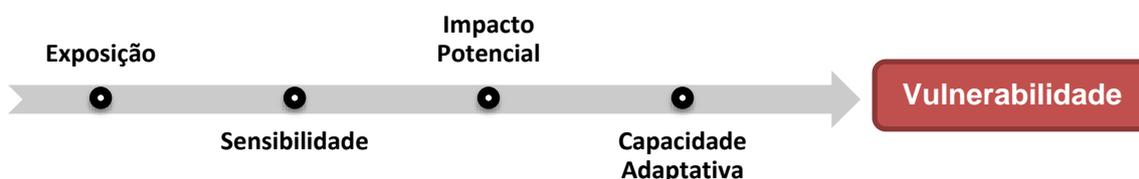


Figura 34 - Elementos para a determinação da vulnerabilidade (adaptado de Fritzche, *et al.*, 2014)

### 6.1 Exposição

A exposição, como referido na metodologia é a componente que está diretamente relacionada com o clima, foi objeto de análise na definição da área de estudo, e analisado em pormenor na secção 2.3.

Sucintamente, e de forma generalizada, a aplicação dos cenários de projeções de alterações climáticas, indicam as seguintes variabilidades e alterações para todos os pontos em estudo (tabela 1):

- Aumento da temperatura média atmosférica;
- Aumento da temperatura máxima atmosférica;
- Aumento da temperatura mínima atmosférica;
- Aumento da frequência de dias muito quentes (ondas de calor);
- Aumento de noites tropicais (noites quentes);
- Diminuição da precipitação total;
- Diminuição da precipitação nas estações de outono, verão e primavera;
- Aumento da precipitação no inverno;

- Redução do número de dias de precipitação;
- Secas mais frequentes e severas;
- Aumento do número de eventos extremos;
- Subida do nível médio da água do mar com consequente avanço da intrusão salina nas zonas onde esta possa ocorrer.

Existem três grandes variáveis neste contexto: a precipitação, a temperatura e o vento e dois deles são influenciadores diretos na qualidade e quantidade hídrica.

Nos últimos 15 anos, para o concelho de Leiria, foram registados 35 eventos climáticos extremos sendo que 14 foram de temperaturas elevadas, 13 de precipitação intensa, 7 de vento forte e 2 de agitação marítima (CEDRU, 2018). É espectável que, tendo em conta as projeções climáticas, estes números aumentem nas próximas décadas.

## 6.2 Sensibilidade

A sensibilidade é o fator que analisa as condições físicas do sistema (e para o caso estudo) em função do uso e ocupação de solo, geologia, morfologia e hidrografia e hidrogeologia.

O objetivo para a determinação da sensibilidade é compreender como a exposição pode afetar o sistema tendo em conta os elementos referidos acima. As projeções das alterações climáticas irão produzir diferentes impactos em diferentes ambientes e sistemas.

### 6.2.1 Uso e Ocupação do Solo

A carta CORINE Land Cover de 2012 (a mais recente até à data) determina que o ponto P1 e P4 estão inseridos em área de ocupação florestal, P2 insere-se em área de uso agrícola e P3 em área artificializada urbana.

Das grandes alterações sentidas nos últimos anos, já analisadas na secção 2.5 relativamente ao uso do solo (Figuras 3, 13 e 14 e tabela 4), e em concordância com Barros *et al.*, (2018) salienta-se o aumento das áreas artificializadas e a diminuição as áreas ocupadas pela agricultura. Este tipo de alteração de uso e ocupação de solo são responsáveis, em muitos casos, por impermeabilizações de grandes áreas bem como por edificações em massa, tendencialmente próximas de fontes de água como é o caso do rio Lis. No período analisado de 1958-2011 por Barros *et al.* (2018) os resultados obtidos parecem coincidir com as características típicas de uma cidade pequena e média.

### 6.2.2 Geologia

A geologia, através da litologia é um dos indicadores mais estáticos e que não tem origem humana, apesar da influência das estruturas tectónicas no modelado da hidrografia e na influência nas condições de infiltração e permeabilidade. Pode, assim, determinar aspetos importantes da qualidade e quantidade hídrica, exercendo a função de filtro e/ou de camada impermeabilizante, facilitando a infiltração e recarga de massas de água subterrâneas.

Na área envolvente ao ponto P1 existem afloramentos de rochas areníticas com intercalações de calcários margosos fossilíferos datados do Jurássico; no ponto P2 à superfície afloram arenitos, argilas e margas com concreções calcárias do Miocénico continental; enquanto que, o ponto P3 está inserido numa mancha onde afloram calcários dolomíticos datados do Jurássico e as Margas da Dagorda do Triásico.

### 6.2.3 Morfologia

A morfologia da área, tal como referenciada na secção 2.4, é bastante variável ao longo da bacia. As massas de água superficiais, e em especial os rios, moldam a topografia ao seu curso natural uma vez que são um importante agente erosivo. Por este motivo, os pontos que foram amostrados no rio Lis e na ribeira do Sirol estão localizados em vales e depressões. Apesar disso, é importante observar a área envolvente, principalmente a montante do ponto, e compreender o seu contexto.

O ponto P1 está inserido na área de maior relevo topográfico da bacia (Figura 11) influenciado pela geologia local. A elevação da cumeada da bacia reduz-se para SW, e os pontos P2 e P3 inserem-se numa topografia com elevação máxima entre 50 e 150 m. Finalmente o ponto P4 localiza-se na área mais baixa da bacia, com uma topografia que oscila entre os 0 e 50 m.

A morfologia pode influenciar o caudal da água e o seu movimento, bem como impedir ou potencializar inundações, sendo por esse motivo um dos fatores a ter em conta da avaliação da vulnerabilidade.

### 6.2.4 Hidrografia e hidrogeologia

Por sua vez a hidrografia e hidrogeologia, permitem compreender a bacia hidrográfica do Lis e a organização e hierarquização das principais linhas de água. A classificação realizada ARH Centro (2012) diz-nos que o ponto P1 está associado a água de exurgência do rio Lis e localiza-se no troço superior da bacia; o ponto P2 reflete um afluente ao curso principal localizado, à semelhança do anterior, no troço

superior desta. O ponto P3 no rio Lis, pertence à massa de água superficial mais importante do concelho, assim como o ponto P1, mas numa zona já com varias contribuições de linhas de água secundários e no troço intermédio da bacia; e por fim, P4 localiza-se no setor ocidental.

### 6.3 Impacto Potencial

O impacto potencial resulta da conjugação de todos os elementos referidos anteriormente (a exposição e sensibilidade) e é sobre este fator que é avaliada a capacidade adaptativa do sistema.

Os principais impactos nas massas de água superficiais da bacia hidrográfica do rio Lis prendem-se com qualidade e quantidade hídrica. Dado que a qualidade e a quantidade hídrica são diretamente influenciadas pelas condições climáticas, qualquer perturbação no clima pode provocar impactos negativos de efeitos imediatos e com consequências de elevada importância.

Destaca-se que os eventos climáticos extremos são os processos com impactos mais gravosos para este tipo de recursos. Períodos de precipitação intensa, em locais de sensibilidade topográfica, ou com um uso de solo que provoque a sua impermeabilização, como é o caso de áreas artificializadas, podem provocar cheias, como referido por Santos *et al.* (2013) e conseqüentemente a afetação da qualidade hídrica nos cursos mais próximos pelo arrastamento de material. Olhando para o uso agrícola do solo, este tipo de eventos pode provocar a destruição das culturas e o arrastamento dos pesticidas, herbicidas e fertilizantes para as linhas de água, degradando a qualidade do recurso hídrico.

Por outro lado, longos períodos de seca reduzem significativamente a disponibilidade hídrica superficial, provoca a sobre-exploração do ecossistema e promove o conseqüente aumento relativo das concentrações de elementos dissolvidos na água. Estas alterações podem ainda originar a propagação dos constituintes bacteriológicos, e em último caso, ser uma fonte de propagação de doenças, pondo em causa a saúde humana. As secas de longa duração podem também provocar o comprometimento do caudal ecológico e indisponibilidade de água em vários pontos da bacia hidrográfica.

A disponibilidade hídrica e a escassez de água é já um problema que afeta cerca de 40% da população mundial e, apesar dos esforços realizados por vários países no âmbito da disponibilidade de água limpa e saneamento básico (*Resolution 64/292*), as

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

projeções apontam para uma diminuição substancial da disponibilidade destas condições como resultado das alterações climáticas.

A alteração de uso de solo é um elemento dinâmico e em constante mudança. As alterações climáticas são um fator que potencializa as mudanças neste sentido. A diminuição da área de uso agrícola devido ao aumento da dificuldade da utilização dos recursos hídricos, irá provocar uma quebra na quantidade de alimento disponível provocando um aumento do preço dos alimentos quer para consumo humano quer para o consumo agropecuário.

Por sua vez, o aumento da frequência de incêndios, à semelhança do ocorrido no dia 15 de outubro de 2017, poderá ser uma das consequências das alterações climáticas e provocam a destruição do coberto vegetal e a perda da biodiversidade, potenciando a propagação de plantas infestantes, como aliás já se verifica. As espécies deste tipo com maior relevo no concelho são os canaviais (*Arundo donax L., Poacea*) e os silvados (*Rubus spp., Rosaceae*) em linhas de água, e acácias (*Fabaceae*) em terrenos desnudados. Sabendo que o combate a este tipo de flora é realizado com base em corte e aplicação de herbicidas, como é o caso do sal de Glifosato, este é um fator que pode provocar alterações na qualidade hídrica das massas de água mais próximas (ICNF, 2010).

Com a subida do nível do mar destaca-se ainda o aumento da frequência e magnitude da destruição dunar, provocando danos em estruturas e edificações na frente da primeira linha de costa e encerramento de atividades económicas. Para além de todos os impactos financeiros, é necessário referir que a destruição de determinadas infraestruturas pode conduzir a problemas ambientais com impactos importantes, como é o caso da destruição de estações de tratamento de águas residuais.

### 6.4 Capacidade Adaptativa

A capacidade adaptativa define os impactos potenciais do sistema e propõe medidas de minimização desses impactos. A elaboração de um conjunto de medidas adaptativas permite diminuir a vulnerabilidade do sistema. O conjunto de todos os fatores de exposição, sensibilidade e impacto potencial, aliados a análise de diversos parâmetros hidrológicos, físico-químicos e biológicos permitiu estabelecer um conjunto de medidas adaptativas para a bacia hidrográfica do rio Lis.

Proteger e restaurar os ambientes aquáticos e os ecossistemas que os rodeiam como é o caso de florestas, montanhas, rios, lagos e lagoas, sendo estes essenciais para mitigar os possíveis impactos potenciais. (United Nations, 2016)

Tendo em consideração que as massas de água superficiais são o elemento hidrológico mais vulnerável, a extração de água para abastecimento público deve ser feita de modo sustentável, para garantir a utilização das captações de águas subterrâneas no futuro. O município de Leiria conta com uma captação superficial para abastecimento público com uma exploração de 1,82 hm<sup>3</sup> anual e 12 captação subterrâneas que exploram um total de 2,38 hm<sup>3</sup> para o mesmo período. A possibilidade de eliminação, ou diminuição de uso da captação superficial permitiria diminuir a vulnerabilidade do sistema uma vez que os aquíferos possuem uma exposição muito menor a eventos climáticos (ARH Centro, 2012).

Por outro lado, longos períodos de seca diminuem significativamente a disponibilidade hídrica superficial e, em condições mais extremas, também o armazenamento aquífero poderá ser afetado. A utilização das características intrínsecas dos materiais geológicos que podem constituir um reservatório de excelência para o uso hídrico em períodos de fraca precipitação uma vez que conseguem armazenar um grande volume de água, sem comprometer a qualidade hídrica. Torna-se, portanto, uma medida adaptativa que beneficia da sensibilidade da região.

O uso e ocupação de solo também deve ser ordenado, e certas tipologias de uso impedidas de ocupar espaços com maior probabilidade de afetação. Um desses casos e que interfere com a qualidade hídrica é a ocupação em leito de cheia. A artificialização, com aumento da impermeabilização, não é recomendável para este tipo de locais uma vez que, em período de forte precipitação poderão inundar e provocar prejuízos para a população promovendo não só arrastamento de partículas finas para as linhas de água como também a movimentação de objetos de maior dimensão que poderão afetar a qualidade hídrica das massas de água a jusante.

A qualidade hídrica deve ser garantida com programas sistemáticos de monitorização e amostragem efetuados e em diversos pontos do município, conforme definido pelas boas práticas. Este tipo de programas possuem a capacidade de aumentar do conhecimento hídrico da bacia e de fazer uma monitorização periódica das massas de água. Assim, sempre que seja detetado um problema, este pode ser resolvido antes que torne proporções graves.

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

A recuperação florestal das áreas afetadas por incêndios deve ser também um elemento importante em consideração uma vez que, uma plantação ordenada e com flora que possua alguma resistência aos incêndios pode evitar a sua propagação descontrolada, diminuir a potencial escorrência superficial e o arrastamento intensivo de partículas presentes na superfície para as linhas de água.

A elaboração de um conjunto de bacias de retenção ao longo do rio Lis, Lena e principais afluentes também é um método de evitar inundações e cheias em caso de longos períodos de precipitação ou processos rápidos de precipitação intensa e, simultaneamente, servindo como reservatórios de água para períodos de seca.

Outra obra hidráulica a ter em conta é a criação de descarregadores de cheia em degraus no rio Lis para que seja possível realizar uma gestão controlada do caudal, permitindo a dissipação de parte da energia de escoamento. (André, Ramos & Matos, 2004)

Uma das soluções a longo prazo, para a problemática da contaminação das massas de água por efluentes de explorações pecuárias, e em especial de suiniculturas, passa pela construção de estações de Tratamento de Efluentes Suinícolas em pontos estratégicos do concelho.

Do ponto de vista da manutenção da Lagoa da Ervedeira, apesar das análises efetuadas não terem determinado impactes significativos do incêndio na lagoa, é importante a curto prazo, impedir que mais cinzas sejam arrastadas para a massa de água uma vez que estas podem alterar o pH da água numa primeira fase e servir como meio de migração de metais pesados para a massa de água (Ranalli, 2004).

Por fim, uma gestão equilibrada e sustentável das massas de água permite um equilíbrio do ecossistema e potencia a sua capacidade de adaptação.

## 7. Conclusão

---

A determinação e monitorização da qualidade das massas de água superficiais é um dos elementos mais importantes para garantir o bom estado hídrico das bacias hidrográficas e deve ser uma característica transversal a todos os elementos envolvidos nas práticas de gestão de águas superficiais.

Esta gestão deve entrar em conta com a possibilidade de ocorrência de eventos extremos ou catastróficos, precavendo-se caso aconteçam. As projeções das alterações climáticas para a área de estudo apontam, para além da diminuição da precipitação e aumento da temperatura, para o aumento do número destes eventos extremos. Assim sendo, torna-se necessário determinar a exposição e a sensibilidade do sistema, bem como a sua capacidade de reação às adversidades para que seja possível elaborar um conjunto de medidas adaptativas a novas condições climáticas.

Para compreender a forma como é que o sistema é influenciado, foram escolhidas 4 áreas de estudo com diferentes sensibilidades, analisada a constituição hídrica em cada ponto, e determinados os possíveis impactos nas massas de água.

A determinação da composição química das áreas estudadas permitiu compreender que:

- A água do rio Lis, nas Fontes pertence à fácies bicarbonatada cálcica (Ca-HCO<sub>3</sub>) e possui forte influência do corpo litológico a montante dela, o Maciço Calcário Estremenho. Esta interação ocorre com a infiltração de água da precipitação que percola através do maciço, onde vai ganhando mineralização até ser descarregada naturalmente no seu local de exurgência, nas Fontes.
- A ribeira do Sirol parece representar as condições gerais das massas de água da bacia hidrográfica, apresentando, apesar de menos mineralizada e pertencendo à mesma fácies, uma maior diversidade de constituintes dissolvidos (K, Mg, Cl, SO<sub>4</sub>, Fe, Al e Mn) quando comparado com a água do rio Lis nas Fontes. O facto da massa de água ser menos mineralizada pode estar relacionado com a geologia a montante deste ponto, nomeadamente por interações entre aquíferos porosos de origem detrítica, ou por ter uma contribuição percentualmente maior de água da chuva no volume total de água. A maior diversidade de constituintes dissolvidos pode resultar das interações entre a água e os constituintes com origem na atividade agrícola, e nomeadamente de fertilizantes, pesticidas e herbicidas.

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

- A água do rio Lis na zona urbana de Leiria parece resultar da mistura de águas dos pontos analisados anteriormente uma vez que contém a diversidade de constituintes da ribeira do Sirol e uma forte contribuição de água  $\text{Ca-HCO}_3$  proveniente da nascente do rio. A concentração de  $\text{NH}_4$  na água amostrada neste ponto é três vezes superior às registadas nas restantes áreas estudadas. Este elemento está frequentemente associado a contaminação fecal das massas de água, podendo ser um indicativo da influência da zona urbana na massa de água.
- A lagoa da Ervedeira é uma massa de água que corresponde a um lago, e que representa um afloramento do nível freático do aquífero superior não confinado. A água nesta área tem uma composição distinta das anteriores, destacando-se como constituintes maioritários Na e Cl, Ca e  $\text{SO}_4$ . A altura da coluna de água, bem como a sua volumetria alteram bastante quer ao longo dos anos quer entre estações secas e húmidas, uma vez que a recarga aquífera ocorre essencialmente por água da chuva, na forma de precipitação direta na lagoa e por escorrência superficial, notando-se aqui igualmente uma contribuição geológica dada a proximidade de estruturas diapíricas e rochas evaporíticas.

Relativamente aos elementos gerais, nota-se diferenças sazonais significativas:

- O valor de pH sofreu alterações pequenas, ainda assim, os valores medidos no Inverno foram superiores aos da campanha de Verão, por um lado devido à forte contribuição de água subterrânea na nascente do rio Lis, que é mais alcalina, e por outro, como reação à presença de cinzas, com pH próximo de 12, nas proximidades da lagoa da Ervedeira, fazendo o pH variar de forma contrária ao usual (Andrade, 2008).
- A taxa de saturação de  $\text{O}_2$  registou valores significativamente mais elevados para jusante da bacia com concentrações geralmente mais elevadas no inverno.
- A condutividade elétrica a  $25\text{ }^\circ\text{C}$  regista valores superiores no inverno e inferiores no verão para os três pontos mais a jusante analisados e valores superiores no verão para o ponto mais a montante;
- O valor mais alto de pe registou-se na ribeira do Sirol e mantém-se relativamente estável na lagoa da Ervedeira. Tendencialmente este elemento é superior no verão quando comparado com o valor de inverno.

A água nos pontos amostrados apresenta valores favoráveis em todos os parâmetros avaliados sendo considerada com Bom estado químico segundo a Diretiva

do Quadro da Água, e entrando em concordância com os resultados disponíveis pelo SNIHR (Sistema Nacional de Informação dos Recursos Hídricos) (2018).

As alterações climáticas são um fator chave que pode provocar alterações profundas na qualidade hídrica que se observa atualmente. A observação das condições geológicas, morfológicas e hidrológicas podem ser algumas das medidas com maior capacidade adaptativa em benefício da população, nomeadamente no acesso e qualidade dos recursos hídricos. É importante salientar que as massas de água superficiais são o elemento hídrico mais vulnerável quer às alterações climáticas quer à ação humana, e, por isso, possui maior risco de contaminação. Assim sendo, destaca-se algumas medidas adaptativas para o sistema:

- A utilização dominante de águas subterrâneas para o abastecimento público pode ser uma medida de prevenção da contaminação química;
- O armazenamento de grandes quantidades de água, em aquíferos porosos existentes na zona, durante os meses de precipitação, também permite a redução do risco de insuficiência hídrica, garantindo a sua qualidade;
- A criação de bacias de retenção ao longo das principais linhas de água, permite, em períodos de precipitação intensa compensar o aumento substancial de caudal, reduzindo o risco de inundação, e, consecutivamente, armazenar água para os meses mais secos;
- A construção de descarregadores de cheia em degraus ao longo do principal troço da bacia, permite, em períodos de forte precipitação, dissipar parte da energia presente na água reduzindo conseqüentemente a sua capacidade de erosão;
- A monitorização sistemática (ou mesmo em contínuo) da determinação de qualidade hídrica também é um importante processo, para que, seja possível detetar contaminantes e aplicar processos de resolução convenientes sem que se propague por áreas extensas.

O trabalho permitiu concluir que as massas de água são, e serão sempre, um elemento vulnerável a diversos fatores externos. A adoção de medidas preventivas e adaptativas permite a diminuição da vulnerabilidade de um sistema e a preservação da boa qualidade hídrica da bacia.

A poluição das massas de água superficiais representa uma das principais ameaças ao ambiente aquático, com efeitos de toxicidade aguda e crónica para os seus organismos, representando em simultâneo, uma ameaça para a saúde humana. As

## Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

causas da poluição devem ser identificadas e as emissões devem ser tratadas na fonte (Diretiva 2008/105/CE). Os elementos externos à atividade humana e que não podem ser controlados devem ser alvo de planos de monitorização e prevenção com o objetivo dos seus efeitos serem minimizados, possibilitando a concretização de medidas de adaptação em contexto de alteração climática.

## Referências Bibliográficas

---

- Agência Portuguesa do Ambiente APA (2017). Portal do Estado do Ambiente: Nitratos de origem agrícola em águas superficiais e subterrâneas. Disponível em: <https://rea.apambiente.pt/content/nitratos-de-origem-agr%C3%ADcola-em-%C3%A1guas-superficiais-e-subterr%C3%A2neas>
- Agência Portuguesa do Ambiente APA (s.d.), Políticas: Alterações Climáticas. Disponível em: <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81>
- Almeida C., Mendonça J.J.L., & Gomes A. J. (2000). Sistemas aquíferos de Portugal continental. [PDF]. Disponível em: [https://snirh.apambiente.pt/snirh/download/aquiferos\\_PortugalCont/Ficha\\_O14.pdf](https://snirh.apambiente.pt/snirh/download/aquiferos_PortugalCont/Ficha_O14.pdf)
- Andrade, R. (2008). Caracterização da Hidrodinâmica da Lagoa da Ervedeira e a sua relação com o Aquífero Superior (Tese de Mestrado) Universidade de Coimbra, Coimbra
- André, M., Ramos, P., & Matos, J. (2004). Dissipação de energia em descarregadores de cheia em degraus. Aplicação a descarregadores com largura constante e com paredes convergentes. 7º Congresso da Água, Disponível em: <http://www.aprh.pt/congressoagua2004/PDF/77.PDF>
- APA (2000). Diretiva Quadro da Água. Disponível em: <http://www.apambiente.pt/dqa/>
- ARH do Centro (2011). Planos de Gestão da Bacia Hidrográfica dos rios Vouga, Mondego e Lis Integradas na região Hidrográfica 4. Disponível em: <https://www.apambiente.pt/?ref=x116>
- Barros, J.L., Tavares, A.O., Monteiro, M. & Santos, P.P. (2018). Peri-urbanization and rurbanization in Leiria City: The importance of planning framework. *Sustainability*, 10(7), pp. 1-23 . DOI: 10.1016/j.ijdr.2018.07.009
- Bell, M. Zanobetti, A., & Dominici, F. (2013), Evidence on Vulnerability and Susceptibility to Health Risks Associated With Short-Term Exposure to Particulate Matter: A Systematic Review and Meta-Analysis. *American Journal of Epidemiology*, 178(6) 865-876 DOI: 10.1093/aje/kwt090
- Brassington, R. (2018). *Field Hydrogeology*. 4th ed. New York, United States: John Wiley & Sons Inc.

Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

- Câmara Municipal de Leiria (s.d.). Lagoa da Ervedeira. Disponível em: <https://www.cm-leiria.pt/pages/915>
- Câmara Municipal de Leiria, (2010). Revisão do Plano Diretor Municipal de Leiria, Caracterização Biofísica, Volume I. Disponível em: <https://www.cm-leiria.pt/frontoffice/pages/754>
- Carvalho, V. (2011). O abrigo do Lagar Velho e o Paleolítico Superior em Leiria, Portugal: Análise dos dados arqueológicos no atual contexto da Evolução Humana. Disponível em: [http://www.uc.pt/en/cia/grupos/app/Posters/Poster2011/Carvalho\\_2011](http://www.uc.pt/en/cia/grupos/app/Posters/Poster2011/Carvalho_2011)
- CEDRU (2018). Plano Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas - Leiria. Leiria
- Clapcott, J.E., Collier, K.J., Death, R.G., Goodwin, E.O., Harding, J.S.,..., Young, R.G. (2012). Quantifying relationships between land-use gradients and structural and functional indicators of stream ecological integrity. *Freshwater Biology*, 57(1), 74-90.
- Clesceri, L. S., A. E. Greenberg & A. D. Eaton, (1999). *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*. DOI: 10.1007/s10750-013-1784-2
- Comissão Europeia (s.d.). Consequências das Alterações Climáticas. Disponível em: [https://ec.europa.eu/clima/change/consequences\\_pt](https://ec.europa.eu/clima/change/consequences_pt)
- Copernicus Programme, (2017). Copernicus Climate Change Service. Disponível em: <http://copernicus.eu/main/climate-change>
- Costa, J., (1945), A posição estratigráfica do Grés de Silves, *Boletim da Sociedade Geológica de Portugal*, Volume IV. Pp. 215-230. Disponível em: [https://www.socgeol.org/documents/get\\_document/51](https://www.socgeol.org/documents/get_document/51)
- Crispim J. A. (2010). Aspetos relevantes do património cársico da Orla Ocidental. *Revista eletrónica da Ciências da Terra*, 18 (4). Disponível em: <http://metododirecto.pt/CNG2010/index.php/vol/article/viewFile/461/472>
- Decreto-lei nº 130/2012 de 22 de Junho (2012). *Diário da República*, nº 1/120. Lisboa: Assembleia da República. Disponível em: <http://www.ania-ambiente.org/wp-content/uploads/2012/07/0310903139.pdf>

Decreto-lei nº 236/98 de 1 de Agosto. (1998) *Diário da Republica*, nº1/176. Lisboa: Assembleia da República. Disponível em: <https://dre.pt/application/dir/pdf1sdip/1998/08/176A00/36763722.pdf>

Decreto-lei nº 306/2007 de 27 de Agosto (2007). *Diário da Republica*, nº 1/164. Lisboa: Assembleia da República. Disponível em: <https://dre.pt/application/dir/pdf1sdip/2007/08/16400/0574705765.pdf>

Decreto-lei nº 46/89 de 15 de fevereiro. (1989). *Diário da Republica*, nº1/38. Lisboa: Assembleia da República. Disponível em: <https://dre.pt/application/dir/pdf1s/1989/02/03800/05900594.pdf>

Direção Geral do Território (2017). Cartografia de Uso e Ocupação do Solo (COS, CLC e Copernicus). Disponível em: [http://www.dgterritorio.pt/cartografia\\_e\\_geodesia/cartografia/cartografia\\_tematica/cartografia\\_de\\_uso\\_e\\_ocupacao\\_do\\_solo\\_cos\\_clc\\_e\\_copernicus/](http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/cartografia/cartografia_tematica/cartografia_de_uso_e_ocupacao_do_solo_cos_clc_e_copernicus/)

Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Outubro de 2000 que estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água (2000) *Jornal oficial da União Europeia*. Pp. 327/1-327/37. Disponível em: [http://www.apambiente.pt/dqa/assets/01-2000\\_60\\_ce---directiva-quadro-da-%C3%A1gua.pdf](http://www.apambiente.pt/dqa/assets/01-2000_60_ce---directiva-quadro-da-%C3%A1gua.pdf)

Diretiva 2008/105/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2008 relativa a normas de qualidade ambiental no domínio da política da água, que altera e subsequentemente revoga as Directivas 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE e 86/280/CEE do Conselho, e que altera a Directiva 2000/60/CE (2008) *Jornal oficial da União Europeia*. Pp 348/84-348/97. Disponível em: [https://www.apambiente.pt/\\_zdata/Politicass/Agua/Legislacao/Comunitaria/DQA/Diretiva2008\\_105\\_CE\\_16Dez.pdf](https://www.apambiente.pt/_zdata/Politicass/Agua/Legislacao/Comunitaria/DQA/Diretiva2008_105_CE_16Dez.pdf)

Diretiva do Conselho de 12 de dezembro de 1991 relativa à proteção das águas contra a poluição causada por nitratos de origem agrícola (1991) *Jornal oficial da União Europeia*. Pp. 375/1-375/8. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:31991L0676&from=PT>

Dragun, J. (1988). The soil chemistry of hazardous materials. Silver Spings, MD, Hazardous Material Control Research Institute.

Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

- European Commission (2012). *Commission Staff Working Paper: Analysis of options beyond 20% GHG emission reductions: Member State results*. Brussels. Disponível em: [https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/strategies/2020/docs/swd\\_2012\\_5\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/strategies/2020/docs/swd_2012_5_en.pdf)
- Ferreira, J.G. (2010). Justiça ambiental e poluição suinícola na bacia do rio Lis. / *Congresso Internacional sobre Questões Socioeconómicas Territoriais*. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/271530498\\_Justica\\_ambiental\\_e\\_poluicao\\_suinicola\\_na\\_bacia\\_do\\_rio\\_Lis](https://www.researchgate.net/publication/271530498_Justica_ambiental_e_poluicao_suinicola_na_bacia_do_rio_Lis)
- Ferreira, J.G. (2015). Fatores sociais no insucesso da despolição da bacia hidrográfica do rio Lis. *Ambiente, Território e Sociedade*, pp 77-85. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/291126313\\_Fatores\\_sociais\\_no\\_insucesso\\_da\\_despoluicao\\_da\\_bacia\\_hidrografica\\_do\\_rio\\_Lis](https://www.researchgate.net/publication/291126313_Fatores_sociais_no_insucesso_da_despoluicao_da_bacia_hidrografica_do_rio_Lis)
- Freemeteo, (2018), *Leiria, Histórico do tempo mensal*. Disponível em: <https://freemeteo.com.pt/>
- Freitas, M. C., Andrade, C. F., Moreira, S., Cruces, A., Pires, A. N., Silva, T., & Ribeiro, C. (2013). *Estudo da Lagoa de Albufeira: Parâmetros físico-químicos medidos in situ na lagoa de Albufeira*. Disponível em: [https://sniambgeoviewer.apambiente.pt/Geodocs/geoportaldocs/Políticas/Agua/Ordenamento/SistemasMonitorizacaoLitoral/E\\_3.2.1.1a\\_Parametros\\_FQ\\_da\\_laguna.pdf](https://sniambgeoviewer.apambiente.pt/Geodocs/geoportaldocs/Políticas/Agua/Ordenamento/SistemasMonitorizacaoLitoral/E_3.2.1.1a_Parametros_FQ_da_laguna.pdf)
- Fritzsche K., Schneiderbauer S., Bubeck P., Kienberger S., Buth M., Zebisch M., & Kahlenborn W., (2017). *The Vulnerability Sourcebook – Concept and guidelines for standardised vulnerability assessments*. [PDF] Disponível em: [https://www.adaptationcommunity.net/?wpfb\\_dl=203](https://www.adaptationcommunity.net/?wpfb_dl=203)
- Hach (2013). *Digital Titrator Manual. Model 16900*. Hach Company. Disponível em: <https://www.hach.com/digital-titrator/>
- Karl, T., Melillo, J., & Peterson, T. (2009). *Global Climate Change Impacts in the United States* [PDF]. Disponível em: <https://www.globalchange.gov/browse/reports/global-climate-change-impacts-united-states>

- ICNF (2010). *Controlo de Vegetação Lenhosa Infestante, Jornadas técnicas: “Desertificação do Litoral – Casos de Estudo”*. Disponível em: <http://www2.icnf.pt/portal/pn/biodiversidade/ei/unccd-PT/pancd/resource/doc/jtdl/Vegetacao%20Lenhosa%20Infestante%20-%20Antonio%20Fabiao.pdf>
- IGRAC - International Groundwater Resources assesment Centre. (2008). *Guideline on: Groundwater monitoring for general reference purposes. Report n. GP 2008-1*. UNESCO, WMO. Utrecht, The Netherlands. Disponível em: <https://www.un-igrac.org/sites/default/files/resources/files/WG1-7-Guideline-v12-03-08.pdf>
- INE, (2012). *Censos 2011 Resultados Definitivos – Portugal*. Portal do Instituto Nacional de Estatística. pp. 18-21. Disponível em: [http://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=ine\\_censos\\_publicacao\\_det&menuBOUI=13707294&contexto=pu&PUBLICACOESpub\\_boui=73212469&PUBLICACOESmodo=2&selTab=tab1](http://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=ine_censos_publicacao_det&menuBOUI=13707294&contexto=pu&PUBLICACOESpub_boui=73212469&PUBLICACOESmodo=2&selTab=tab1)
- International Institute for Applied Systems Analysis, (2009). *RPC Database: Version 2.0.5* [Software]. Disponível em: <http://www.iiasa.ac.at/web-apps/tnt/RcpDb>
- Instituto da Água, I.P., INAG, (2009). *Crítérios para a Classificação do Estado das Massas de Água Superficiais*. Disponível em: <http://www.apambiente.pt/dga/assets/crit%C3%A9rios-classifica%C3%A7%C3%A3o-rios-e-albufeiras.pdf>
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007 Impacts, adaptation and vulnerability* [PDF]. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar4/wg2/ar4\\_wg2\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar4/wg2/ar4_wg2_full_report.pdf)
- IPCC. (2014) *Climate Change 2014 Impacts, adaptation and vulnerability* [PDF]. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/>
- IPMA (2018). *Boletim Climatológico Sazonal, Inverno 2017/2018*. Disponível em: <http://www.ipma.pt/pt/publicacoes/boletins.jsp?cmbDep=cli&cmbTema=pcl&idDep=cli&idTema=pcl&curAno=-1>
- IPMA (s.d.). *Portal do Clima: Modelos climáticos*. Disponível em: <http://portaldoclima.pt/pt/o-projeto/metodologia/modelos-climaticos/>
- IPMA (2018). *Portal do Clima: Normais climatológicas, Região de Leiria* [mapa]. Disponível em: <http://portaldoclima.pt/pt/>

Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

- IPMA (2018). *Balanço Climático Preliminar do Ano 2017 – Portugal Continental*. Disponível em: <http://www.ipma.pt/pt/publicacoes/boletins.jsp?cmbDep=cli&cmbTema=pcl&idDep=cli&idTema=pcl&curAno=-1>
- ISO 10304-1:2007(en), *Water quality — Determination of dissolved anions by liquid chromatography of ions — Part 1: Determination of bromide, chloride, fluoride, nitrate, nitrite, phosphate and sulphate*
- ISO 5667-1:2006(en), *Water quality — Sampling — Part 1: Guidance on the design of sampling programmes and sampling techniques*
- ISO 5667-3:2012(en), *Water quality — Sampling — Part 3: Preservation and handling of water samples*
- ISO 5667-6:2016(en), *Water quality — Sampling — Part 6: Guidance on sampling of rivers and streams.*
- Junior, R., Abdala, V., Guidolini, J., Siqueira, H., & Candido, H. (2013). *Diagnóstico temporal e especial da qualidade das águas superficiais do rio Uberaba – MG*, Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/viewFile/17554/12196>
- Lei nº 58/2005 de 29 de Dezembro (2005). *Diário da República*. Lisboa: Assembleia da República. Disponível em: [http://www.pgdlisboa.pt/leis/lei\\_mostra\\_articulado.php?nid=1191&tabela=leis](http://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?nid=1191&tabela=leis)
- LeiriaPolis, SA. (2001). *Estudo Hidrológico/Hidráulico do Rio Lis, na Zona de Intervenção do Programa POLIS na Cidade de Leiria: Memória descritiva*. Disponível em: <https://www.cm-leiria.pt/uploads/document/file/260/48430.pdf>
- Leite, C. (2016). *Os trabalhos de Reinaldo Oudinot em Leiria nos finais do século XVIII: Um plano global de ordenamento hidráulico, agrícola e florestal*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra, Coimbra
- LNEG (s.d.). *GeoPORTAL: Visualizador de mapas* [Mapas]. Disponível em: <http://geoportal.lneg.pt/>
- Martins, A., Raposo, J., Pimentel, M., Silveira, S., Sousa, A., Raimundo, S. (2006). *Bases para um Plano de Requalificação das Lagoas do Litoral da Região Centro*. Disponível em:

[https://www.ccdrc.pt/index.php?option=com\\_docman&view=download&id=641&Itemid=739](https://www.ccdrc.pt/index.php?option=com_docman&view=download&id=641&Itemid=739)

Néry F. (2007). *Nomenclatura CORINE Land Cover: versão portuguesa comentada*. [PDF] Disponível em:

[https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/282093452028761/Nery\\_2007\\_NomenclaturaCorineLandCoverCom](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/282093452028761/Nery_2007_NomenclaturaCorineLandCoverCom)

Pio, Simone, F., Henriques, António, G. (2000). O Estado Ecológico como Critério para a Gestão Sustentável das Águas de Superfície. *5º Congresso da Água - A Água e o Desenvolvimento Sustentável: Desafios para o Novo Século*. Culturgest, Lisboa. Disponível em:

[http://dqa.inag.pt/dqa2002/port/docs\\_apoio/nacionais.html](http://dqa.inag.pt/dqa2002/port/docs_apoio/nacionais.html)

Ranalli, A.J., (2004). A Summary of the Scientific Literature on the Effects of Fire on the Concentration of Nutrients in Surface Waters. *U.S. Geological Survey Open-File Report* 2004-1296, 23 p. Disponível em:

<https://pubs.usgs.gov/of/2004/1296/pdf/OFR2004-1296.pdf>

Resolution adopted by the General Assembly on 28 July 2010 (A/RES/64/292). (2010). United Nations, General Assembly, Sixty-fourth session, Agenda item 48. Disponível em: <https://undocs.org/A/RES/64/292>

Santos, P., Tavares, A.O., Zêzere, J.L. & Pereira, S. (2013). Cheias e inundações na bacia do rio Lis: reconstituição histórica de desastres no período 1935/36-2009/10. *Atas do IX Congresso da Geografia Portuguesa – Geografia: Espaço, Natureza, Sociedade e Ciência*. Ass. Port. de Geógrafos, Évora, pp. 797-802.

Siste, C., Girão, E., & Duncan, B., (2011). *Manual para formação e captação de grupos comunitários em metodologias participativas de monitoramento da qualidade da água* [PDF]. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/900819/1/DOC11001.pdf>

SNIRH (2018). *Meteorológica, Monte Real*. Disponível em:

[http://snirh.pt/snirh/dadosbase/site/simplex.php?FILTRA\\_COVER=920123704&FILTRA\\_SIMBOLO=14D/03C](http://snirh.pt/snirh/dadosbase/site/simplex.php?FILTRA_COVER=920123704&FILTRA_SIMBOLO=14D/03C)

Spearman, M., McGray, H. (2011). *Making Adaptation Count: Concepts and options for monitoring and evaluation of Climate Change adaptation* [PDF]. Disponível em:

[http://pdf.wri.org/making\\_adaptation\\_count.pdf](http://pdf.wri.org/making_adaptation_count.pdf)

Qualidade de Águas Superficiais no Município de Leiria no Contexto das Alterações Climáticas

- Sundaran, B., Feitz, A., Caritat, P., Plazinska, A., Brodie, R., Coram, J., Ransley, T. (2009). *Groundwater sampling and analysis: A field guide*. Geoscience Australia. Disponível em: <http://www.cffet.net/env/uploads/gsa/BOOK-Groundwater-sampling-%26-analysis-A-field-guide.pdf>
- Stumm, W.; Morgan, J. J. (1996). *Aquatic Chemistry. Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters* (3rd Ed). New York: John Wiley & Sons Inc.
- Teixeira C., Zbyszewski G., Torres de Assunção C., Manuppela G. (1968). Carta Geológica de Portugal – Notícia Explicativa da folha 23-C.
- Terrinha, P., Rocha, R., Rey, J., Cachão, M., Moura, D., Roque, C. ... Bensalah, H. (2006). *A bacia do Algarve, estratigrafia, paleontologia e tectónica*. Disponível em: [https://sapientia.ualg.pt/bitstream/10400.1/2679/4/Terrinha%20et%20al\\_2006.pdf](https://sapientia.ualg.pt/bitstream/10400.1/2679/4/Terrinha%20et%20al_2006.pdf)
- UK Technical Advisory Group on the Water Framework Directive (2013). *Technical report on Groundwater Hazardous Substances*. Disponível em: [https://www.wfduk.org/sites/default/files/Media/UKTAG\\_Technical%20report\\_GW\\_Haz-Subs\\_ForWebfinal.pdf](https://www.wfduk.org/sites/default/files/Media/UKTAG_Technical%20report_GW_Haz-Subs_ForWebfinal.pdf)
- United Nations, (1998). *Kyoto protocol to the United Nations framework convention on climate change*. Disponível em: <https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol>
- United Nations Development Programme (UNDP), (2016). *Sustainable Development goals – Goal 6: Clean Water and Sanitation*. Disponível em: <http://www.undp.org/content/undp/en/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html>
- United Nations Development Programme (UNDP), (2016). *Sustainable Development goals – Goal 11: Sustainable cities and Communities*. Disponível em: <http://www.undp.org/content/undp/en/home/sustainable-development-goals/goal-11-sustainable-cities-and-communities.html>
- United Nations Development Programme (UNDP), (2016). *Sustainable Development goals – Goal 15: Life on Earth*. Disponível em: <http://www.undp.org/content/undp/en/home/sustainable-development-goals/goal-15-life-on-land.html>

- Veiga A., Quinta-Ferreira M. (2010). Solos argilosos da Formação de Dagorda do diapiro Parceiros-Leiria. *Revista Eletrónica da Ciência Da Terra*, 9 – nº 22 disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/310166555\\_Solos\\_argilosos\\_da\\_Formacao\\_de\\_Dagorda\\_do\\_diapiro\\_Parceiros-Leiria](https://www.researchgate.net/publication/310166555_Solos_argilosos_da_Formacao_de_Dagorda_do_diapiro_Parceiros-Leiria)
- Vieira, J. (2007). Transformações biogeoquímicas na bacia hidrográfica do Rio Lis. Tese de Doutoramento, Universidade do Porto.
- Vieira, J., Fonseca, A.R., Vilar V. J. P, Boaventura R.A.R, & Botelho C.M.S., (2012), Water quality in Lis River, Portugal. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(12). DOI: 10.1007/s10661-011-2485-9
- Vurren, D., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi,K., Thomson, A., Hibbard, K. ... Rose, V. (2011). *The representative concentration pathways: an overview* Springerlink.com, DOI 10.1007/s10584-011-0148-z
- Wayne, G. (2013). *The Beginner's Guide to Representative Concentration Pathways* [pdf] Disponível em: [https://www.skepticalscience.com/docs/RCP\\_Guide.pdf](https://www.skepticalscience.com/docs/RCP_Guide.pdf)
- WHO, World Health Organization (2017). *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum* [PDF]. Disponível em: <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf?sequence=1>
- WRI, World Resources Institute,(2018). *AQUEDUCT Water Risk Atlas* [software]. Disponível em: <http://aqueduct.wri.org/>