



UNIVERSIDADE DE COIMBRA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
Departamento de Ciências da Terra

HIDROGEOLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FOJA, GÂNDARA, REGIÃO CENTRO DE PORTUGAL

João Daniel Rodrigues Figueiredo Grou

Mestrado em Geociências

Outubro, 2016





**UNIVERSIDADE DE COIMBRA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
Departamento de Ciências da Terra**

**HIDROGEOLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS
SUBTERRÂNEOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
FOJA, GÂNDARA, REGIÃO CENTRO DE PORTUGAL**

João Daniel Rodrigues Figueiredo Grou

**MESTRADO GEOCIÊNCIAS
Área de Especialização em Recursos Geológicos**

Orientação Específica

Prof. Doutor José Manuel Martins de Azevedo,
DCT, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra

Prof. Doutora Ana Maria de Aguiar Castilho Ramos Lopes,
DCT, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra

Outubro, 2016

*“O conhecimento dirige a prática; no entanto,
a prática aumenta o conhecimento”*

THOMAS FULLER

AGRADECIMENTOS

Estes anos de Universidade, onde se inclui este último da realização da presente dissertação, resultam no apoio de inúmeras pessoas a quem dirijo os meus agradecimentos e reconhecimento:

Ao Professor Doutor José Manuel Martins de Azevedo, orientador desta dissertação, pela sua forma de ser, pela amizade, por toda ajuda, sugestões, ensinamentos ao longo da dissertação e licenciatura.

À Professora Doutora Ana Maria Aguiar Castilho Ramos Lopes, orientadora desta dissertação, pela sua disponibilidade, dicas, esforço e empenho prestado ao longo da dissertação.

A todos os Professores que ao longo da Licenciatura e Mestrado permitiram a minha formação académica e formação pessoal.

À minha família, sobretudo aos meus pais e ao meu irmão que sempre me apoiaram e ajudaram constantemente. As suas sugestões e conforto permitiram-me estar sempre orientado com objetivos definidos, para eles o meu agradecimento especial.

Aos meus amigos, em especial ao Nelson Dias, os quatro anos de companheirismo em Coimbra, os momentos de divertimento, as dicas, ajuda e sugestões que reforçaram a nossa amizade. Aos meus caríssimos amigos Rui Dias, Daniel Dias, Rafael Claro, Rodrigo Loureiro e Tiago Oliveira o meu obrigado pelos grandes momentos de descontração e sobretudo pela extraordinária camaradagem.

Agradecer às meninas Beatriz Vale e Carolina Neves por toda ajuda, pela sua crítica construtiva e além de serem ótimas amigas, excelentes conselheiras.

Os meus amigos e colegas, André Cortesão, André Pacheco, António Barreto, Cristiano Pereira, Francisco Veiga Simão, Joel Carvalho, José Costa, Pedro Alves, Pedro Neves, Tiago Estêvão e Vítor Oliveira, pelos momentos passados que serão para sempre recordados com uma enorme felicidade e saudade.

E a todas as pessoas que não referi mas que contribuíram diretamente e indiretamente nos últimos anos e que tornaram este momento possível.

O Meu Muito Obrigado...

RESUMO

A presente dissertação tem como principal objetivo o estudo da hidrogeologia da bacia do Rio Foja (sub-bacia do Rio Mondego) e dos principais Sistemas Aquíferos que nela evoluem: Quaternário de Aveiro e Viso-Queridas. O domínio em estudo enquadra-se na Bacia Lusitaniana e na Unidade hidrogeológica da Orla Mesocenozóica Ocidental.

O estudo fundamentou-se na análise bibliográfica – cartas, relatórios, livros, teses etc -, no desenvolvimento de trabalhos de campo, na caracterização físico-química *in-situ* de 78 pontos de água e na posterior interpretação de dados com auxílio de *software* especializado.

A região em estudo tem uma área plana de aproximadamente 90km².

A geologia da bacia hidrográfica é monótona sendo principalmente dominada pelos depósitos arenosos do plio-quatérnio. Para além destes ocorrem Unidades argilosas e areníticas que são controladas estruturalmente por diferentes sistemas de fraturação. Na região afloram ainda formações do Cretácico inferior ao Cretácico superior. Os sistemas de fraturação apresentam direções: NW-SE, NE-SE e N-S.

O Sistema Aquífero do Quaternário de Aveiro é localmente constituído pelo: aquífero freático; trata-se de um aquífero poroso, que evolui próximo da superfície, tendo como profundidade máxima 10 a 15m. Implanta-se no manto arenoso plio-quatérnio, dominante na área em estudo. O Sistema Aquífero Viso-Queridas é constituído por dois sub-sistemas: um freático poroso, implantado em níveis superiores de natureza arenítica e outro confinado a semi-confinado, implantado em níveis mais profundos, pertencentes às Unidades do Cretácico e do Paleogénico.

A hidrodinâmica subterrânea na bacia caracteriza-se por ser controlada por uma série de fatores inerentes na região (litologia, tectónica, topografia).

A recarga aquífera está associada maioritariamente à precipitação. A descarga processa-se de forma natural (fluxo para zonas não saturadas e transferência de água para outras unidades aquíferas), artificial (captação direta de águas subterrâneas a partir de poços, furos e galerias).

Os resultados da caracterização físico-química *in-situ* das águas subterrâneas apontam para: (1) águas alcalinas; (2) águas oxidantes; (3) águas mineralizadas.

Palavras-Chave: Bacia hidrográfica do Rio Foja; Sistema aquífero; Hidrodinâmica subterrânea; Hidrogeoquímica

ABSTRACT

The main aim of this work is the study of the Foja river basin hydrogeology (sub-basin of the Mondego river) and of the main aquifer systems that evolve in it: Aveiro Quaternary and Viso-Queridas. The area under study is within the Lusitanian Basin and the hydrogeological layer of the Western Meso-cenozoic coastal area.

The study was based on bibliographic analysis - letters, reports, books, theses etc. - in the development of field work, in the physicochemical characterization in-situ 78 points of water and in the subsequent interpretation of data with the help of specialized software.

The region under study has a flat area of about 90km².

The geology of the basin is monotonous and is mainly dominated by sand deposits of plio-quaternary. Besides these, there are clay and sandstone layers that are structurally controlled by different fracturing systems. In the region, there are also inferior Cretaceous to the upper Cretaceous formations. The Fracturing systems present directions: NW-SE, NE-SE and N-S.

The Aquifer System of the Aveiro Quaternary is locally made up of: groundwater aquifer; it is a porous aquifer that develops near the surface having a maximum depth of 10 to 15m. It is implanted in the Plio-Quaternary sandy mantle, dominant in the study area. The Viso-Queridas Aquifer system consists of two sub-systems: a porous phreatic one, implanted in higher levels of sandstone layers and another, confined to semi-confined, deployed at deeper levels, belonging to the Cretaceous and Paleogene layers.

The underground hydrodynamics in the basin is characterized by being controlled by a number of factors inherent in the region (lithology, tectonic, topography).

The aquifer recharge is associated mainly to precipitation. The discharge processes itself in a natural (flow to unsaturated zones and water transfer to other aquifer layers) or artificial way (direct abstraction of groundwater from wells, boreholes and galleries).

The results of physicochemical characterization in-situ groundwater indicate: (1) alkaline water; (2) oxidizing water; (3) mineral water.

Keywords: Watershed of the Foja river; Aquifer System; Underground Hydrodynamics; Hydrogeochemistry

ÍNDICE

1. Capítulo I – Introdução.....	1
1.1 Importância e enquadramento do tema estudado.....	1
1.2. Objetivos.....	3
1.3. Metodologias.....	3
1.3.1 Pesquisa bibliográfica, documental e cartográfica.....	3
1.3.2. Atividades de campo.....	4
1.3.3. Análise e tratamento de dados (laboratorial e gabinete).....	4
1.3.4. Quadro metodológico.....	6
1.4. Área de Estudo.....	6
1.5. Estudos Anteriores.....	7
2. Capítulo II - Fundamentos Teóricos.....	8
2.1 Fundamentos gerais de Hidrografia e Hidrogeologia.....	8
2.2 A água na Terra.....	15
2.3 Sistemas Aquíferos em Portugal Continental.....	19
Importância da Água Subterrânea.....	19
2.4 Contaminação da Água subterrânea.....	20
3. Capítulo III – Enquadramento Geral.....	23
3.1 Geográfico e Administrativo.....	23
3.2. Hidrológico.....	25
3.2.1. Climatológico.....	25
3.2.2. Hidrográfico.....	33
3.3 Geológico.....	34
3.4 Hidrogeológico.....	37
3.4.1. Evolução e Transformação dos Sistemas Aquíferos Ocidentais de Portugal.....	40
4. Capítulo IV - Caracterização Física Local.....	42
4.1. Topográfico.....	42
4.2. Hidrográfico.....	44
4.3 Geológico.....	49
4.4 Tectónico-estrutural e Geomorfológico.....	59
4.5 Tipos, Uso e Ocupação de Solos.....	64

5. Capítulo V - Hidrogeologia Local	66
5.1. Reconhecimento e caracterização <i>in situ</i> de pontos, linhas e massas de água.	66
5.2. Caracterização, classificação e processos físicos.....	74
5.3. Caracterização, classificação e processos químicos Hidro(geo)química e Qualidade da água.....	82
5.4. Classificação e Modelo hidrogeológicos.....	94
6. Capítulo VI - Conclusões e Recomendações	101
6.1. Conclusões.....	101
6.2. Recomendações	103
7. Capítulo VII - Referências Bibliográficas.....	106
Anexos	i

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Definição espacial da localização das unidades hidrogeológicas de Portugal Continental. Orla Ocidental, Maciço Antigo, Bacia do Tejo e Sado e Orla Meridional. (Adaptado, Costa, 2012)	19
Figura 2.2: Poluição das águas subterrâneas e diferentes fontes contaminantes. (LNEG, Águas Subterrâneas: Conhecer para Proteger e Preservar (2001)).....	20
Figura 3.1: Enquadramento geográfico e Administrativo da área em estudo – bacia hidrográfica do Foja (adaptado de mapas da Direcção Geral do Território (CAOP 2015) e da Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro (CCDRC).	24
Figura 3.2: Enquadramento da área em estudo - Bacia Hidrográfica do Foja no Mapa das temperaturas médias anuais (adaptado do Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis).	28
Figura 3.3: Enquadramento da área em estudo - Bacia Hidrográfica do Foja no Mapa da Precipitação média anual (adaptado do Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis).	29
Figura 3.4: Enquadramento da área em estudo - Bacia Hidrográfica do Foja no Mapa da Evapotranspiração Real Média Anual (adaptado do Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis)	30
Figura 3.5: Escoamento Superficial para a Bacia Hidrográfica do Foja (mapa criado no <i>software ArcGIS 10.2.2</i> , com base em dados de SNIAmb, 2016).....	31
Figura 3.6: Mapa do Superavit Hídrico para a Bacia Hidrográfica do Foja (mapa criado no <i>software ArcGIS 10.2.2</i> , com base em dados de SNIAmb, 2016).	32
Figura 3.7: Bacia Hidrográfica do Mondego e respetivo modelo digital terreno (MDT) (Adaptado: Estudo Estratégico para Intervenções de Reabilitação na rede hidrográfica da ARH Centro, 2013).	33
Figura 3.8: Bacia Lusitânica e os seus intervalos de tempo geológicos de uma forma generalizada (Adaptado: http://www.publico.pt/ciencia/noticia/tartaruga-do-jurassico-portugueses-evoca-criaturas-aquaticas-de-lendas-japonesas-1619412).	35
Figura 3.9: Enquadramento Geológico regional à escala 1:500000, a partir da Carta Geológica de Portugal, na escala 1:500000, dos temas (Geologia) do geoPORTAL do LNEG. Criado no <i>software ArcGIS 10.2.2</i>	36
Figura 3.10: Mapa dos Sistemas Aquíferos que evoluem na região em estudo (mapa criado com <i>software ArcGIS 10.2.2</i> , de acordo com elementos do SNIRH, 2016).	38
Figura 4.1: Enquadramento topográfico geral, a partir de fragmentos de Cartas Militares 1:25000 (Folhas nº217, nº228, nº229 e nº239).	42
Figura 4.2: Modelo Digital Terreno (MDT) da bacia hidrográfica do rio Foja (criado no <i>software ArcGIS 10.2.2</i> , a partir dos dados altimétricos das Cartas militares 1:25.000, Folhas nº 217, nº228, nº229 e nº239).	43
Figura 4.3: Rede de drenagem na Bacia Hidrográfica do rio Foja (criada com o <i>software ArcGIS 10.2.2</i> , a partir dos dados do SNIRH).	44
Figura 4.4: Mapa de Declives na Bacia Hidrográfica em conjugação com a rede hidrográfica (criado com o <i>software ArcGIS 10.2.2</i> , a partir dos dados do SNIRH).	46
Figura 4.5: Carta Aster da bacia hidrográfica e perfil longitudinal da Vala da Veia e Rio Foja (mapa criado no <i>software ArcGIS 10.2.2</i> , perfil criado no <i>software Excel</i> , a partir dos dados <i>aster ASTGTM2_N39W008</i>).	47
Figura 4.6: Localização e aspeto geral das linhas de água principais na Bacia do Foja (localização em base <i>Google Earth</i>).	48
Figura 4.7: Enquadramento Geológico da região em estudo (mapa criado no <i>software ArcGIS 10.2.2</i> , a partir do ficheiro <i>Aster</i> das Cartas Geológicas de Portugal, escala 1:50000, Folhas 19-A Cantanhede e 19-C Figueira da Foz, LNEG, 2016).	49

Figura 4.8: Unidades litostratigráficas do Pliocénico e Quaternário do Baixo Mondego (Soares, 1999).	52
Figura 4.9: Unidades litostratigráficas do Cretácico da margem ocidental Portuguesa, da região centro e norte. Unidades informais entre parênteses. Triângulos: azul – fase transgressiva; verde – fase regressiva. UBS: descontinuidades bacinal de limites de sequências, após Cunha e Pena dos Reis (1995) (adaptado Dinis, 2008).	54
Figura 4.10: Areias hidro-eólicas (ahe) – Fontinhas, Ferreira-a-Nova.....	55
Figura 4.11: Areias de Cantanhede (Q_{Ca}) – Azenha Nova, Ferreira-a-Nova.	55
Figura 4.12: Unidade Argilo-Gresosa e Conglomerática da Nossa Senhora do Bom Sucesso (ϕM_Q) – Ferreira-a-Nova.....	55
Figura 4.13: Areias da Cordinhã (P_{Co}) – Gatões.	56
Figura 4.14: Arenitos e Argilas do Viso (fáceis arenítica) (C^2_{Vi}) – Azenha da Amieira, Moinhos da Gândara.....	56
Figura 4.15: Mapa Geológico da região estudo (criado no <i>software ArcGIS 10.2.2</i> , a partir do ficheiro das Cartas Geológicas de Portugal, escala 1:50000, Folhas 19-A Cantanhede e 19-C Figueira da Foz, LNEG, 2016) com a localização dos cortes geológicos A-A' e B-B'. As cores das unidades estão de acordo com a carta 19-A Cantanhede 1ª Edição 2008.....	57
Figura 4.16: Cortes transversais em algumas linhas de água da bacia em estudo. Os cortes foram feitos à mão, com adaptações com utilização de <i>software</i> . Estratificação das unidades: Arenitos e Argilas do Viso, N°300°W, Arenitos Conglomeráticos de Queridas, N°275°W, estes dados foram retirados da notícia explicativa da carta 19-A Cantanhede e de relatórios de furos. As terminologias e cores das unidades estão de acordo com a carta 19-A Cantanhede 1ª Edição 2008.....	58
Figura 4.17: Mapa Estrutural da região em estudo (criado no <i>software ArcGIS 10.2.2</i> , a partir dos dados das Cartas Geológicas 19-A Cantanhede e 19-C Figueira da Foz e de Castilho, 2008).	61
Figura 4.18: Esboço estrutural do setor Sul da região da Gândara (retirado da Notícia Explicativa da Carta Geológica 19-A (Cantanhede).	63
Figura 4.19: Carta do uso e ocupação do solo na região em estudo (mapa criado com base em dados do Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis, APA, 2012).	65
Figura 5.1: Localização dos pontos de água selecionados para as campanhas de aquisição de dados <i>in situ</i> (projecção em imagem <i>Google Earth</i> , 2016).	68
Figura 5.2: Aspeto geral dos diferentes tipos de pontos de água, nos quais se realizaram campanhas de medição de parâmetros físico-químicos. 1 – Poço (Barreiras); 2 – Exsurgência (Azenha da Amieira); 3 – Exsurgência (Ferreira-a-Nova); 4 – Poço (Porto Lamas); 5 – Ribeiro das Barreiras (Ferreira-a-Nova).....	70
Figura 5.3: A – Balões de Erlenmeyer (medição Alcalinidade e CO ₂). Balão de Alcalinidade na fase após colocação do indicador BCG, por isso cor verde. Balão de CO ₂ na fase final, ou seja, depois de atingir a cor rosa-claro. B- Balões de Erlenmeyer (medição Alcalinidade e CO ₂). Balão de Alcalinidade no ponto em que atinge a cor azul-esverdeado. Balão de CO ₂ na fase final, ou seja, depois de atingir a cor rosa-claro. C – Balões de Erlenmeyer (medição Alcalinidade). Balão de Alcalinidade, depois de atingir o último ponto desejado, sendo por isso a cor de água analisada, a cor rosa.....	71
Figura 5.4: Carta de fluxo hídrico subterrâneo da bacia do Rio Foja (carta criada com <i>software ArcGIS 10.2.2</i>).	75
Figura 5.5: Mapa com valores médios de condutividade elétrica (CE), medidos nas campanhas de medição <i>in situ</i> , criado a partir do <i>software ArcGIS 10.2.2</i>	84
Figura 5.6: Mapa com valores médios de pH, determinados nas campanhas de medição <i>in situ</i> , criado a partir do <i>software ArcGIS 10.2.2</i>	85
Figura 5.7: Mapa com valores médios de Eh (mv), calculados a partir de fórmulas empíricas com base nos dados de ORP determinados nas campanhas de medição <i>in situ</i> , criado a partir do <i>software ArcGIS 10.2.2</i>	86

Figura 5.8: Mapa de Grupos, construído a partir da análise e interpretação de um conjunto de dendrogramas (Anexo 2), idealizados com base nos parâmetros físico-químicos, criados no <i>software SPSS</i> , este mapa foi elaborado no <i>software ArcGIS 10.2.2</i>	91
Figura 5.9: Mapa dos Grupos 6 e 7, construído a partir da análise e interpretação de um conjunto de dendrogramas (Anexo 2), idealizados com base nos parâmetros físico-químicos, criados no <i>software SPSS</i> , este mapa foi elaborado no <i>software ArcGIS 10.2.2</i>	92
Figura 5.10: Mapa com a localização do perfil usado para o modelo hidrogeológico conceptual na Bacia Hidrográfica do rio Foja, criado com o <i>software ArcGIS 10.2.2</i> , com imagem ERSI de base.....	95
Figura 5.11: Perfil hidrogeológico conceptual da hidrodinâmica hídrica subterrânea na área estudada (criado à mão com adaptações com utilização de <i>software</i>).	96

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1: Número de análises efetuadas em cada campanha de recolha de parâmetros físico-químicos nos diferentes pontos de água.	5
Tabela 1.2: Quadro-síntese com as etapas e os processos que se seguiram ao longo da realização da dissertação.	6
Tabela 2.1: Classificação hidrogeológica dos meios rochosos de acordo com as características genéricas dos vários tipos hidrogeológicos.	13
Tabela 2.2: Distribuição Global da Água.	16
Tabela 3.1: Coordenadas geográficas, cotas e períodos de funcionamento dos postos udométricos localizados na envolvente e na bacia hidrográfica do rio Foja (SNIRH, 2016).	26
Tabela 3.2: Valores de precipitação atmosférica média mensal (mm) nos PU durante o seu período de funcionamento (SNIRH, 2016).	26
Tabela 4.1: Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica do rio Foja.	45
Tabela 5.1: Coordenadas geográficas e altitude (retiradas do <i>Google Earth</i>) dos pontos de água utilizados nas campanhas de aquisição de dados.	67
Tabela 5.2: Valores médios dos parâmetros físico-químicos determinados nas campanhas de aquisição de dados <i>in situ</i> e outros cálculos através de fórmulas empíricas.	72
Tabela 5.3: Resultados das medições de profundidade de água em poços.	74
Tabela 5.4: Resultados das medições de profundidade de água em linhas de água.	74
Tabela 5.5: Apresentação dos valores de caudal medidos nas exurgências ao longo do tempo (meses).	76
Tabela 5.6: Valores da precipitação da estação meteorológica de Coimbra.	78
Tabela 5.7: Classificação hidrogeológica das formações rochosas e depósitos siliciclástico que ocorrem na zona em estudo.	94

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1: Variação mensal da precipitação, a partir dos valores de precipitação atmosférica média mensal (mm) dos postos udométricos da Tabela (3.1).	26
Gráfico 5.1: Série de gráficos onde são apresentados os caudais referentes aos valores mencionados em cima. Relação caudal <i>versus</i> série temporal (meses).	77
Gráfico 5.2: Relação caudal <i>versus</i> Precipitação (mm).	79
Gráfico 5.3: Regressão linear das nascentes estáveis, relação do caudal das exurgências com a série temporal (meses).	81
Gráfico 5.4: Regressão linear das nascentes sazonais, relação do caudal das exurgências com a série temporal (meses).	82
Gráfico 5.5: Conjunto de gráficos que representam a relação entre as campanhas dos diversos parâmetros a nível individual, determinados nas campanhas de janeiro e junho.	87
Gráfico 5.6: Conjuntos de gráficos, do lado esquerdo, estes demonstram a relação entre os parâmetros físico-químicos nas campanhas de janeiro e junho. Do lado direito é a dedução dos parâmetros (Campanha de junho – Campanha de janeiro), na condutividade é a relação.	89

1. Capítulo I – Introdução

1.1 Importância e enquadramento do tema estudado

A água é um recurso natural com elevado valor económico, estratégico e social, elemento essencial à vida, ao bem-estar do Homem e à sobrevivência dos ecossistemas do planeta. Assim, a água é um recurso indispensável à vida do planeta Terra.

Cerca de 70 a 75% da superfície terrestre está coberta por água. A água no planeta Terra pode ocorrer em três diferentes estados - sólido, líquido e gasoso -, sendo que apenas cerca 2,6% do volume total de água doce. Desta fração cerca de 0,76% (30% do total de água doce) corresponde a água doce subterrânea, sendo assim, uma das importantes frações de água que está disponível para consumo humano.

A água tem sido considerada um recurso natural renovável, uma vez que aparentemente existe na Natureza em grande abundância. Contudo, devido à sua má gestão, má utilização, excesso de procura e à variabilidade climática, transformaram as massas de água num recurso escasso.

De acordo com o *World Water Development Report* (Relatório efetuado por 23 Agências das Nações Unidas), o planeta encontra-se neste século, a viver uma “séria crise de água”, que tende a agravar-se, caso não sejam adotadas medidas rápidas.

Dados divulgados na Conferência Mundial sobre a Água (*World Water Week*), realizada em agosto de 2007, em Estocolmo, revelaram que em 2025 a falta de água atingirá 1,8 mil milhões de pessoas no mundo e que dois terços da população serão afetados pela escassez do recurso.

As massas de água do planeta estão em constante movimento, havendo trocas contínuas entre a hidrosfera, a atmosfera, as águas superficiais e subterrâneas e a água na biosfera. Este permanente processo de transformação da água na natureza, modificando-se em diferentes estados e percorrendo diferentes espaços, designa-se por Ciclo Hidrogeológico.

As águas superficiais são aquelas que, ao se acumularem na superfície, são escoadas formando rios, riachos, lagos, lagoas, pântanos, etc. Ao não penetrarem no solo e assim estarem mais acessíveis, as águas superficiais acabam por se

tornarem nas principais fontes de abastecimento para diversas atividades humanas. Exemplo disso é a utilização na agricultura tradicional. Além das superficiais, existem também as águas subterrâneas. Correspondem à componente do ciclo hidrogeológico que evolui na zona saturada, podendo atingir grandes profundidades. Estas águas podem permanecer no sub-solo em apenas algumas horas, dias, meses, anos ou até milhares de anos. Este período depende das características do escoamento e da tipologia dos aquíferos.

As águas superficiais representam apenas 0,14% de toda a água existente na Terra, sendo que as águas subterrâneas representam 1,7% daquele volume. Contudo, apenas 0,76% corresponde a água doce subterrânea.

De toda a água doce disponível para consumo humano em Portugal Continental, 53% é proveniente de água subterrânea. São as massas de água subterrâneas as principais responsáveis pela garantia da sobrevivência de parte significativa da população mundial. A Hidrogeologia é um ramo da Geologia e da Hidrologia que estuda o armazenamento, circulação e distribuição da água na zona saturada, tendo em conta as propriedades físicas e químicas do meio e da água, a interação com o meio físico e biológico e os impactes decorrentes da ação antrópica.

A zona onde se desenvolve o presente estudo - Beira Litoral de Portugal Continental - possui uma série de aquíferos, com características e idades muito diferenciadas. Assim, as massas de água aquíferas apresentam uma elevada importância a nível global. Neste trabalho vão ser abordados e estudados os Sistemas aquíferos Quaternário de Aveiro (O1) e Viso-Queridas (O30).

A presente dissertação, que se insere no Mestrado de Geociências – ramo de Recursos Geológicos, está focada no estudo dos recursos hídricos e das massas de água subterrâneas que evoluem na Bacia Hidrográfica do Rio Foja e investiga, desenvolve e procura relacionar os diversos domínios da geologia local.

1.2. Objetivos

A presente dissertação tem como objetivo geral o estudo hidrogeológico da bacia hidrográfica do Rio Foja, procurando identificar os tipos de aquíferos existentes na região, e caracterizar a hidrodinâmica e a hidroquímica subterrâneas no domínio em estudo.

Os objetivos desta dissertação dividem-se em dois tipos – estratégicos ou principais e tácitos ou secundários:

Principais:

- Caracterização hidrogeológica da Bacia Hidrográfica do rio Foja;
- Caracterização hidrogeoquímica geral das massas de água subterrâneas;
- Caracterização da hidrodinâmica local do Sistema Aquífero Viso-Queridas (O30) e do Sistema Aquífero do Quaternário de Aveiro (O1);

Secundários:

- Caracterização geomorfológica, litológica e estrutural, local e regional;
- Levantamento e reconhecimento de pontos de água locais;
- Caracterização físico-química *in situ* de pontos de água selecionados (poços, exurgências, linhas de água e charcos);
- Interpretação e modelação conceptuais da dinâmica e da química da água subterrânea;

1.3. Metodologias

Neste ponto são definidos as etapas e os procedimentos utilizados para se atingir os objetivos da dissertação. Utilizaram-se as seguintes metodologias: (1) pesquisa bibliográfica, (2) reconhecimentos e levantamentos cartográficos, (3) seleção de pontos de água, (4) amostragem e medições *in-situ*, processamento e análise de dados, construção de elementos gráficos e cartográficos e modelação hidrodinâmica e hidroquímica. No tratamento de dados utilizou-se *software* computacional e procedimentos manuais.

1.3.1 Pesquisa bibliográfica, documental e cartográfica

Esta etapa incidiu na pesquisa de: (1) artigos científicos e dissertações, realizados na região em estudo ou em áreas com características semelhantes, (2) de livros com caráter mais geral ou mais pormenorizado de Geologia e Hidrogeologia e (3) de

sítios e páginas *Web* que permitissem complementar ideias já recolhidas noutras pesquisas. Nesta etapa, recolheu-se matérias de vários enquadramentos, geológico, morfo-estrutural, hidrogeológico, climatológico entre outros. A averiguação cartográfica foi feita na sua maioria pela consulta das Cartas militares 1:25.000 – folhas nº 217 – Tocha, nº 228 – Quiaios e nº 239 – Figueira da Foz, de Cartas geológicas 1:50.000, folha 19 – A Cantanhede e folha 19 – C Figueira da Foz e da Carta Neotectónica de Portugal Continental (Cabral, 1988).

1.3.2. Atividades de campo

As atividades de campo iniciaram-se em outubro e prolongaram-se até final da dissertação. Durante este intervalo de tempo foram realizadas diversas tarefas, entre as quais:

- Reconhecimento geológico (litológico, estrutural e hidrogeológico): em primeiro lugar, a identificação de algumas litologias e algumas fáceis presentes em diversas unidades com a descrição litológicas destas e posterior registo fotográfico dos afloramentos; a análise estrutural do domínio em estudo incluiu a identificação de possíveis fraturas, identificação da estratificação, nomeadamente da Formação Argilo-Gresosa e Conglomerática de Nossa Senhora do Bom Sucesso; efetuou-se ainda o registo fotográfico das diversas litologias e estruturas. A nível hidrogeológico procedeu-se a um levantamento *in situ* dos pontos de água e posteriormente à medição dos parâmetros físico-químicos e dos níveis piezométricos da água.

1.3.3. Análise e tratamento de dados (laboratorial e gabinete)

Foram identificados 78 pontos de água (36 exurgências, 26 locais em linhas de água, 14 poços e 2 charcos). Nos pontos foram feitas medições dos parâmetros físico-químicos, no âmbito da realização de três campanhas *in situ*, considerar que nem em todos os pontos foram recolhidos dados nas três campanhas. Além disso, em alguns pontos foi retirada mais informação:

- em 6 pontos de linha água, foram feitas medições do nível da água em março e julho;
- em 10 poços foi determinado o nível hidrostático de dois em dois meses, com início em dezembro e término em junho;
- em 16 exurgências foi determinado o caudal de mês a mês, com início das medições em novembro;

Tabela 1.1: Número de análises efetuadas em cada campanha de recolha de parâmetros físico-químicos nos diferentes pontos de água.

Ponto de Água	Campanha 1 (Dezembro)	Campanha 2 (Janeiro)	Campanha 3 (Junho)	Total Análises
Poço	11	12	11	34
Nascente	28	34	30	92
Charco	2	2	2	6
Linha de Água	20	21	20	61
Nº de Análises	61	69	63	193

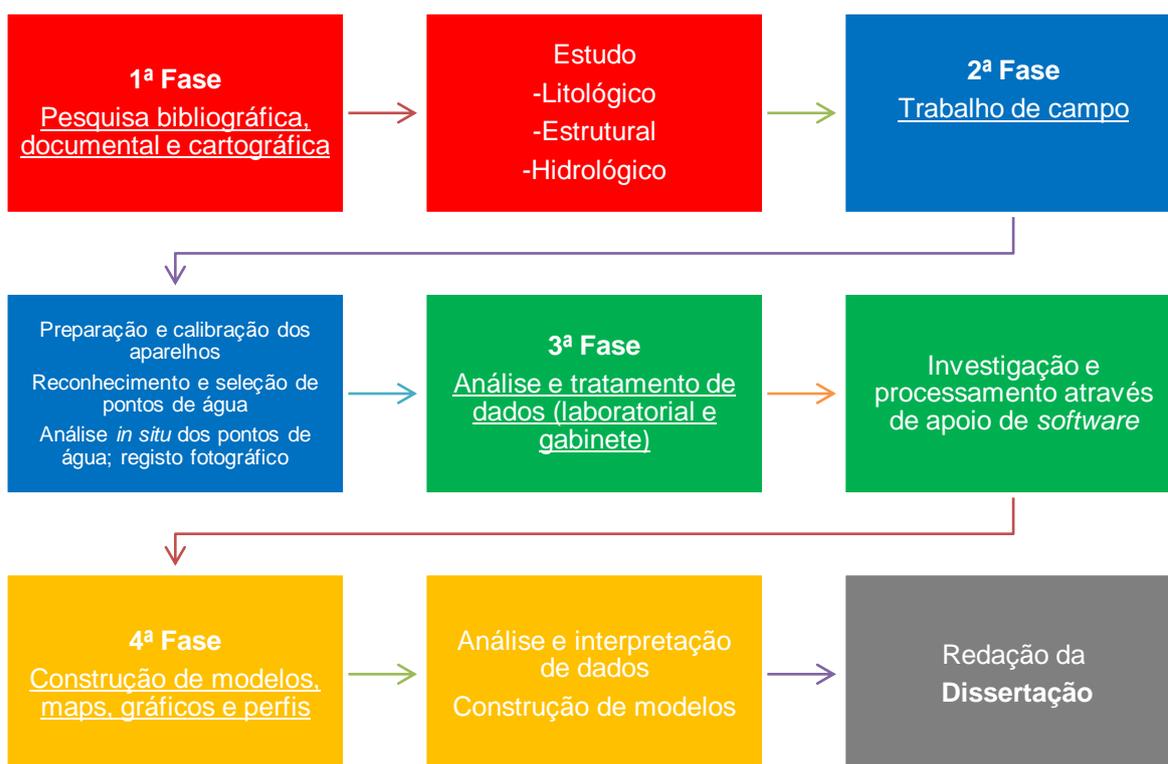
Após a realização das duas primeiras campanhas de medições foi feita uma análise e interpretação de dados para identificar e selecionar os pontos de água associados aos Sistemas aquíferos em análise. Posteriormente, em junho-2016, foi realizada mais uma campanha de medição dos parâmetros físico-químicos. Seguidamente foi feita a análise e interpretação de todos os dados. A partir das conclusões retiradas construíram-se gráficos, *cluster's* e mapas, com *software* computacional adequado. No desenvolvimento desta dissertação utilizaram-se diversos *softwares* computacionais:

- ArcGis 10.2.2 - para a elaboração de mapas;
- SPSS Statistics;
- Microsoft Excel, Word e PowerPoint 2007 para a realização de textos, tabelas, gráficos e apresentação;

1.3.4. Quadro metodológico

Na Tabela 1.2, apresenta-se o quadro síntese das fases metodológicas que se realizaram ao longo da dissertação.

Tabela 1.2: Quadro-síntese com as etapas e os processos que se seguiram ao longo da realização da dissertação.



1.4. Área de Estudo

O domínio em estudo localiza-se na Região Centro-Portuguesa, nomeadamente na Beira Litoral, mais concretamente na Região da Gândara. Localiza-se num setor da faixa litoral situada a norte da Serra da Boa Viagem. Fica a poucos quilómetros a N-NE da cidade da Figueira da Foz.

Esta região implanta-se na Bacia hidrográfica do rio Mondego e evoluem uma série de sub-bacias hidrográficas, tendo sido a bacia do rio Foja a escolhida para análise e estudo. Nesta sub-bacia ocorrem setores do Sistema Aquífero Viso-Queridas e do Sistema Aquífero do Quaternário de Aveiro. Estes Sistemas enquadram-se na Unidade hidrogeológica da Orla Ocidental.

Os critérios que estiveram na base da seleção desta região foram: (1) inserir-se na Região Centro e, estando nas proximidades da Universidade de Coimbra e na zona de residência do autor; (2) a natureza específica da região em termos de enquadramento geológico, geomorfológico e hidrológico; (3) a ocorrência de um considerável número de exurgências e poços permitindo obter abundantes e novos dados hidrogeológicos; (4) a existência de estudos de base e regionais aos níveis geomorfológico, geológico, estrutural e hidrogeológico; (5) a região apresentar uma hidrogeologia moderadamente complexa, o que torna mais interessante a interpretação dos resultados e a definição dos modelos hidrogeológicos conceptuais.

1.5. Estudos Anteriores

Os trabalhos geológicos e hidrogeológicos específicos para o domínio em estudo são escassos.

Os primeiros estudos realizados na zona são de Soares de Carvalho (1964) e reportam-se ao manto arenoso plio-quadernário, no âmbito das Areias da Gândara na década de 60. Na área da cartografia geológica, realça-se a Carta 19-A, realizada por Manuppela, G. Mouterde, R., Rocha, R. B., Ruget, C. Zbyszewski, G., entre as décadas de 80 e 90. Ainda na década 90 e 2000, Almeida, A.C., Callapez, P., Cunha, L., Marques, J.F., Soares, A.F., Soares, P., J publicaram artigos científicos e livros relativamente as unidades geológicas presentes no Baixo Mondego.

A nível hidrogeológico, mais precisamente estudos sobre os Sistemas aquíferos da região, foram elaborados trabalhos científicos e teses na década de 90 e 2000, nomeadamente: (1) por Peixinho de Cristo, F., Almeida C., Mendonça, J. J. L., Jesus, M. R. e Gomes, A. J, (2) a Tese de doutoramento de Fernandes, M. (1999), e mais recentemente (3) a Tese de doutoramento de Lopes, A.C. (2008).

Em termos de geomorfologia, destacam-se os estudos e trabalhos efetuados na sua maioria na década de 2000, por Dinis, P., Ramos, A., Cunha, P.P., Gomes, A.

2. Capítulo II - Fundamentos Teóricos

Neste capítulo e considerando o domínio científico abordado – Hidrogeologia -, bem como, o enquadramento global da região em estudo, são apresentadas as principais definições, conceitos e terminologias do tema em estudo.

2.1 Fundamentos gerais de Hidrografia e Hidrogeologia

As características geológicas dos terrenos que preenchem uma bacia hidrográfica constituem o principal fator condicionante da circulação e armazenamento hídricos subterrâneos naquele espaço físico, ou seja, a Geologia é o fator mais importante na definição de unidades hidrogeológicas e na classificação de formações aquíferas, aquíferas ou aquíferas (Almeida *et al.*, 2000a, citado em Correia, 2014).

Massas de água: superficiais e subterrâneas

As **águas superficiais** são representadas pelas águas que se acumulam na superfície, na sua maioria são originadas pela precipitação, estas não se infiltram nem evaporam, sendo escoadas, originando ou contribuindo para a evolução, de ribeiras, rios, lagos, lagoas, pântanos e etc. As águas das chuvas também são conhecidas como águas freáticas. Ao não penetrarem no solo, as águas superficiais acabam por formar as principais fontes de abastecimento para as actividades agrícolas e industriais.

“As águas que sofrem o processo de escoamento superficial (*“run off”*) representam as reservas hídricas superficiais disponíveis. Dependendo das características físicas dos solos e rochas do substrato que compõe a bacia hidrográfica, temos a interação entre as águas superficiais e os lençóis freáticos ou subterrâneos adjacentes. Considerando principalmente a variável permeabilidade, que é a capacidade das águas migrarem num determinado meio físico, temos o estabelecimento dos regimes fluviais” (Naime, 2011).

Designa-se por **água subterrânea**, a água presente no subsolo e que evolui na zona saturada. É equivalente, na maioria dos casos, à água da precipitação que se infiltrou no solo e atingiu o nível/superfície freática (superfície que separa a zona saturada da zona não saturada, também apelidada de zona vadosa). Quando a água atinge uma barreira impermeável, preenche os poros ou fissuras das rochas, formando um domínio saturado. O armazenamento hídrico e a hidrodinâmica na

zona saturada dependem das características hidrogeológicas e morfo-estruturais do meio rochoso. As massas de água subterrânea resultam da acumulação no meio subterrâneo – aquíferos – ao longo de períodos de tempo variáveis (de meses a milhares de anos). No geral, a água subterrânea move-se muito lentamente, podendo emergir em exurgências (concentradas ou difusas), rios, lagos, oceanos ou ser captada em furos, poços e galerias (Paiva, 2015).

Bacias Hidrográficas e suas propriedades

Bacia Hidrográfica (BH)

É uma área topograficamente definida, drenada por um curso de água perene ou temporário e seus eventuais afluentes, de tal modo que todos os caudais efluentes sejam descarregados através de uma única saída. O contorno de uma bacia hidrográfica coincide com a linha de separação de águas ou linha de cumeada, que divide as precipitações que caem na bacia das que caem nas bacias contíguas.

Balanço Hídrico

Equação que estabelece uma igualdade, a menos de um erro de fecho, entre as entradas e as saídas de água de um espaço concreto e num dado período de tempo, compensada ou não pela correspondente variação de reserva.

A equação geral do Balanço Hídrico, Falkland e Custódio (1991):

$$\text{Precipitação} - (\text{ET}_{\text{real}} + \text{Esc}_{\text{superficial}} + \Delta V_{\text{superfície}} + \Delta V_{\text{substracto}} + \text{Infiltração} + \text{Erro}) = 0$$

(1)

Escoamento superficial e Coeficiente de Reynolds

Coeficiente de Reynolds (Re) é um número adimensional que determina o tipo de escoamento (podendo ser: Laminar ou Turbulento) de um determinado fluido, esse fluxo poderá ocorrer sobre uma superfície ou tubagem, é o resultado de uma conjugação de parâmetros. Num fluxo laminar, as moléculas de água seguem direcções mais ou menos direitas e paralelas – linhas de fluxo. À medida que a velocidade de escoamento aumenta, o fluido ganha energia cinética, fazendo com que as moléculas de água sigam direcções erráticas. Como resultado, o fluxo passa a designar-se turbulento (Fetter, 1994).

Índices Morfométricos da BH:

Área da BH (A) – dada em km² numa projeção plana.

Perímetro da BH (P) - comprimento da linha imaginária ao longo do divisor das águas que delimita área da bacia hidrográfica (km).

Comprimento total dos cursos fluviais (Lt) - refere-se à soma de todos os comprimentos dos afluentes da BH (km).

Densidade de drenagem (Dd) - relação existente entre o comprimento total de todos os cursos fluviais da BH (Lt) e a área contribuinte (A), sendo obtida pela equação:

$$Dd = Lt / A, \text{ em (km/km}^2\text{)} \quad (2)$$

Número total de segmentos (Nr) – número de segmentos fluviais em cada ordem, de acordo com a hierarquização de Strahler (1957).

Comprimento do canal fluvial principal (Rp) - comprimento do curso fluvial que possui a maior distância iniciando pela foz e que se encontra dentro da BH (km).

Curva hipsométrica - gráfico que representa a distribuição do relevo de acordo com sua altitude, indicando a percentagem de área de drenagem que existe acima ou abaixo das várias altitudes.

Amplitude topográfica (Hm) – diferença entre o ponto mais elevado da BH e a exutória do canal fluvial principal.

Perfil longitudinal do curso fluvial principal - modelo que relaciona a altitude em metros do canal fluvial com as suas distâncias representando o perfil longitudinal do rio principal da sua nascente até a exutória.

Declividade do canal principal (SRp) – relação (m/m) entre a Amplitude altimétrica do canal principal (ΔH) e o seu comprimento total (Rp), sendo obtida pela equação:

$$SRp = \Delta H / Rp \quad (3)$$

Classificação Hidrogeológica das formações rochosas

Os meios e estruturas geológicas podem ser classificados em aquífero, aquífero, aquífero, aquífero e aquífero. Esta classificação depende das propriedades físicas do meio rochoso, nomeadamente:

Porosidade (n): razão entre o volume de vazios, ocupados por ar ou água, de um material e o seu volume total, expressa em %.

$$n = \frac{V_v}{V_T} (4)$$

A porosidade pode ser ainda subdividida, em porosidade primária e secundária.

Porosidade Primária: Porosidade que uma rocha apresenta antes de sofrer qualquer alteração ou, no caso de rochas sedimentares, depois de sofrer litificação ou diagénese.

Porosidade Secundária: Porosidade originada posteriormente à formação da rocha como consequência de fenómenos tectónicos, diaclasamento, ação dissolvente das águas, etc.

Condutividade Hidráulica (K): Parâmetro que expressa a permeabilidade de um meio (entendendo-se esta num sentido qualitativo). Estabelece a relação entre o escoamento específico (=velocidade de Darcy) e o gradiente hidráulico na lei de Darcy. A condutividade hidráulica é função das propriedades do meio e do fluido, dependendo, portanto da temperatura. A Lei de Darcy é a lei que descreve o movimento da água subterrânea à escala macroscópica, estabelecendo uma relação entre o escoamento (caudal), a condutividade hidráulica e o gradiente hidráulico (Mendonça *et al.*, 2000).

É determinada em unidades de comprimento/tempo (L/T), de acordo com a equação (Darcy, 1856; citado em Fetter, 2001):

$$K = \frac{-Q}{A (dh/dl)} (5)$$

Q representa o caudal de descarga, em unidades de volume/tempo (L³/T), como por exemplo m³/d; A é a área da secção transversal ao fluxo, com unidades de área (L²), dm² ou m²; dh/dl, ou gradiente hidráulico, é a variação na altura piezométrica (ou na carga hidráulica), por comprimento percorrido segundo a direção do fluxo, em

unidades comprimento/comprimento (L/L) ou adimensional, que, como é sempre negativo no sentido do fluxo, é compensado pelo sinal negativo da equação.

Transmissividade (T): corresponde ao produto da condutividade hidráulica horizontal pela espessura do aquífero. Se a condutividade varia ao longo do perfil do aquífero de espessura b , a Transmissividade será dada por:

$$T = \int_a^b K dz \quad (6)$$

Sendo K a condutividade horizontal, a a cota da base e b a cota do teto do aquífero. O conceito de Transmissividade pode ser generalizada aos aquíferos não-confinados considerando-se neste caso a espessura igual à espessura saturada. As dimensões da transmissividade são $[L^2T^{-1}]$.

Coefficiente de Armazenamento (S): Razão entre o volume de água cedido por uma coluna de aquífero de secção unitária, sob a ação de uma descida do nível piezométrico e o valor dessa descida.

$$S = b \cdot S_s \quad (7)$$

Sendo b a espessura saturada, em metros; S_s é o armazenamento específico do aquífero (1/m); onde S_s se define pela expressão.

$$S_s = \frac{p_w \cdot g}{\rho} (\alpha + \eta\beta) \quad (8)$$

Sendo p_w a massa volúmica do fluido, em kg/m^3 ; g é a aceleração da gravidade, em m^2/s ; α é a compressibilidade do meio poroso; η é a porosidade (volume de poros sobre volume total); β é a compressibilidade do fluido (variação do volume por unidade de pressão) em m^2/N ou $m \cdot s^2/kg$.

Na Tabela seguinte (Tabela 2.1) apresenta-se as características genéricas dos diversos tipos hidrogeológicos.

Tabela 2.1: Classificação hidrogeológica dos meios rochosos de acordo com as características genéricas dos vários tipos hidrogeológicos.

Capacidade de armazenamento hídrico Porosidade efetiva – ne Retenção específica- S_r Cedência específica - S_y Coefic. De armazen. - S	Capacidade de transmissão hídrica Condutiv. Hidráulica – K Transmissividade -T	Tipologia e Classificação hidrogeológicas	Exemplo
Elevada	Elevada	AQUÍFERO	Depósito aluvionar Granito/quartzito muito diaclasado Calcário carsificado
Média a elevada	Moderada a baixa	AQUITARDO	Areno-siltito
Variável	Muito baixa a nula	AQUICLUSO (Aquicludo)	Argilito Filito ou micaxisto Granitos são
Nula (S_y muito elevada)	Muito elevada	AQUIFUGO	Depósito conglomerático sem matriz/cimento Nível piroclástico grosseiro
Fonte: <i>Cadernos teórico-práticos de apoio à disciplina de Recursos Hídricos, dos Mestrados em Geociência e Eng^a de Minas.</i> Departamento de Ciências da Terra, (2015/2016) – [DCT] da Universidade de Coimbra, (Azevedo, 2016).			

Sendo os aquíferos o tipo hidrogeológico mais representativo na BH em estudo e na região envolvente, contudo ocorrem outros tipos hidrogeológicos, com isso os Sistemas Aquíferos da região muitas vezes contêm um comportamento multicamada.

Aquíferos

Correspondem a uma formação ou estrutura geológica que permite bons armazenamento e circulação da água subterrânea e cujo aproveitamento é economicamente viável. Para que exista um aquífero é necessário haver: (1) barreiras ou níveis impermeáveis adjacentes (ex. aquíclusos, fraturas, filões, planos estratificação, estruturas em sinclinais, etc.); (2) ocorrência de recarga hídrica; (3)

presença de água com qualidade desejada (Azevedo, 2014, citado em Paiva, 2015). Podem ser classificados de acordo com a localização geográfica, pressão hidrostática, transmissividade e litologia.

Do ponto de vista de armazenamento das águas subterrâneas, e de acordo com as natureza geológica, textural e estrutural no meio subterrâneo, e dependendo do tipo de porosidade os aquíferos podem ser classificados, como porosos, fraturados, carsificados e mistos.

E de acordo com as informações já referidas a cima o sistema Aquífero Viso-Queridas, e mais propriamente na região em estudo apresenta características de um aquífero poroso.

Os aquíferos porosos ocorrem em litologias características de rochas sedimentares não consolidadas, (tipicamente areias) ou em rochas sedimentares da mesma natureza mas com algum grau de consolidação que não lhe retire o seu carácter poroso (Moura *et al.*, 2012).

Como referido a cima o sistema Aquífero Viso-Queridas apresenta duas componentes, ou seja, os aquíferos porosos ainda podem ser classificados como aquíferos livres (não-confinados) ou aquíferos confinados, dependendo do seu posicionamento, em função da recarga e da exposição à atmosfera.

Os aquíferos livres apresentam contacto direto com a atmosfera através do ar contido nos poros ou nas fraturas da rocha ou solo. Têm recarga direta através da precipitação ou através de rios ou lagos que estejam em contacto com os mesmos. Nos aquíferos livres, a água encontra-se, na sua parte superior, à pressão atmosférica, ou seja, a pressão hidrostática é igual ou ligeiramente superior à pressão atmosférica, este tipo de aquífero são designados por aquíferos não confinados, aquando da situação de um aquífero não confinado se realiza uma captação, o nível de água dentro da captação vai correspondendo ao nível de água no aquífero. O escoamento subterrâneo é maioritariamente sub-horizontal, dá-se no interior dos aquíferos, dependendo dos gradientes do mais elevado para o mais baixo.

Recarga Aquífera

Engloba processos hidrodinâmicos de entrada de água num aquífero; a área superficial onde se iniciam os processos de entrada de água para a unidade aquífera apelida-se de zona de recarga. A recarga inclui processos naturais - (1) recarga por

infiltração direta de água superficial (rios e lagos); (2) recarga por influxo subterrâneo; (3) recarga por infiltração direta e profunda da água pluviométrica (Ferreira *et al.*,1995, citado em Paiva, 2015) e processos não-naturais (ou induzidos). Nos aquíferos não confinados, a recarga aquífera resulta em larga medida da infiltração associada à precipitação. Nos aquíferos localizados em níveis mais profundos, para além da infiltração profunda, a recarga resulta da circulação hídrica entre unidades hidrogeológicas distintas através de condutas hidráulicas ou aquíferos (aquífero-aquífero-aquífero) – drenância. Fatores naturais, como a pedologia e o coberto vegetal (taxas de evapotranspiração) e não-naturais, como a impermeabilização da superfície, influenciam a recarga aquífera (Paiva, 2015).

Descarga Aquífera

Engloba os mecanismos de saída de água de um aquífero através das exurgências subáreas, subfluviais ou submarina e, também, por evapotranspiração (processos naturais), se a zona saturada fica próxima da superfície, numa grande área. Esta pode ser ainda realizada através de processos não naturais (induzidos), captação de poços, furos, galerias, etc. Geralmente é expressa sob a forma de caudal anual ou outro.

2.2 A água na Terra

Recursos Hídricos Subterrâneos

Nem todas as massas de água subterrânea são consideradas ou constituem um recurso hídrico.

Segundo o Hidrolex (2010) muitas massas de água subterrânea viabilizam as mais diversas atividades económicas, assumindo um papel primordial no desenvolvimento socioeconómico. Constituem, por vezes, a única fonte de água para o abastecimento urbano, industrial e agrícola; para além da importância quantitativa, muitas águas subterrâneas apresentam composições físico-químicas compatíveis com as previstas no Decreto-Lei n.º 208/2008, podendo ser utilizadas para consumo humano, na maioria dos casos, sem qualquer tratamento. (Paiva, 2015).

O Homem ao longo da sua evolução e construção da civilização, tem-se desenvolvido em torno do elemento “água”, seja nas suas estruturas sócio-

económicas e culturais, nos seus processos expansivos e representando um enorme valor ambiental. A água é um fator-chave para as indústrias extrativas, como a pesca e a agricultura, assim como para o comércio, transporte, sistemas de defesa e para o abastecimento das populações.

A água é um recurso natural com valor económico, estratégico e social, essencial à vida, ao bem-estar do Homem e à sobrevivência dos ecossistemas do planeta, a água é um recurso indispensável à vida do planeta Terra.

Segundo, McFadden (2002) a Terra encontra-se numa posição do Sistema Solar que lhe permite que a água ocorra naturalmente em três estados físicos (gasoso, líquido e sólido). A superfície do planeta é coberta em mais de três quartos por um grande oceano, mas também por grandes massas de gelo (calotes polares), o vapor presente na atmosfera e a água que circula sobre os continentes em rios e lagos. Entretanto, toda a massa de água representa somente 0,02% da massa total do planeta. Todos os recursos hídricos globais formam a hidrosfera terrestre. Uma quantidade considerável pode existir ainda misturada no magma no manto terrestre.

Tabela 2.2: Distribuição Global da Água.

Distribuição Global da Água			
Origem	Volume de Água (km³)	% Água Total	% Água Doce
Oceanos, Mares e Golfos	1,338×10 ⁹	96,5	--
Glaciares, massas de gelo e neves permanentes	24,064×10 ⁶	1,74	68,6
Água Subterrânea	23,4×10 ⁶	1,7	--
Água Doce	10,53×10 ⁶	0,6	30,1
Água Salina	12,87×10 ⁶	0,93	--
Água no Solo	16,5×10 ³	0,001	0,05
Gelo no solo & Permafrost	3,0×10 ⁵	0,022	0,86
Lagos	176,4×10 ³	0,013	--
Água Doce	91×10 ³	0,013	0,26
Água Salina	85,4×10 ³	0,007	--
Atmosfera	12,9×10 ³	0,001	0,04
Pântanos	11,47×10 ³	0,0008	0,03
Rios	2,12×10 ³	0,0002	0,006
Biosfera	1,12×10 ³	0,0001	0,003
Total	1,386×10 ⁹	100	2,6
Fonte: Igor Shiklomanov (1993). World fresh water resource. In Peter H. Gleick (ed.), Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources. New York: Oxford University Press. (Citado em Castilho, 2013)			

A água é de fundamental importância para todos os seres vivos na natureza. Este facto reside na sua capacidade de mediar reações bioquímicas. “Muitas das características não usuais da água são essenciais para a evolução da vida na Terra,

a começar pela sua capacidade de atuar como solvente para inúmeras substâncias. De facto a sua abundância e as temperaturas elevadas de fusão e ebulição permitiram a formação oceanos nos primeiros passos do planeta Terra e de onde surgiu a vida” (Le Bihan, 2011). Segundo Roberts, (1986), a elevada capacidade térmica da água e sua densidade em relação ao gelo contribuíram para que as primeiras formas de vida conseguissem evoluir apesar das constantes mudanças climáticas e cataclísmicas pelas quais o planeta tem passado na sua história evolutiva.

A água do planeta está em constante movimento, havendo trocas contínuas entre hidrosfera, a atmosfera, a água do solo, águas superficiais, subterrâneas e na biosfera, este permanente processo de transformação da água na natureza, modificando-se em diferentes estados e percorrendo diferentes espaços, designa-se por Ciclo Hidrogeológico.

“Considerada até há pouco tempo uma substância “inesgotável”, sabe-se agora que se trata de um recurso cuja disponibilidade é fortemente condicionada pela variabilidade climática e pela forma como se utiliza, consome e rejeita” (Hipólito & Vaz, 2011).

Água Subterrânea Como Recurso Hídrico

Toda a água existente abaixo da superfície terrestre é denominada por água subterrânea. Esta ocorre em duas zonas diferentes, uma em que ocorre imediatamente abaixo da superfície (nível superficial), esta zona contém tanto água como ar e é referida como zona não saturada. A outra zona é designada como zona saturada e é quase invariavelmente sustentada por rocha que contém uma determinada porosidade e os poros estão preenchidos por água.

De toda a água doce disponível para consumo, 96% é proveniente de água subterrânea. São elas as responsáveis pela garantia da sobrevivência de parte significativa da população mundial.

A água subterrânea, enquanto recurso, nem sempre foi considerada valiosa, sobretudo por integrar a parte não visível do ciclo hidrológico. Paradoxalmente, as reservas de água subterrânea são 300 vezes superiores às reservas de água superficial (Hipólito & Vaz, 2011). As águas superficiais são corpos d’água limitados em dimensões, se comparados aos corpos d’água subterrânea, os quais preenchem espaços vazios do subsolo, constituídos de camadas geológicas que podem atingir

dezenas a centenas de metros de espessura e áreas de ocorrência que, por sua vez, podem alcançar de centenas a milhões de quilômetros quadrados. Ao mesmo tempo, esses volumes de água subterrânea, que naturalmente tendem a se apresentar em boa qualidade, também apresentam melhores condições de proteção a possíveis efeitos das mais diferentes intervenções antrópicas ou dos distintos tipos de uso e ocupação do solo, que possam alterar a qualidade e/ ou a quantidade da água (Filho *et al.*, 2011), conferindo um estatuto importantíssimo no campo dos recursos hídricos.

Desta forma, os sistemas aquíferos têm assumido cada vez mais o papel de fonte estratégica de recurso hídrico, seja para as gerações atuais, mas, sobretudo, para as futuras gerações; ainda mais, nos cenários que se desenham no horizonte, com crescimento demográfico significativo, aglomerações urbanas cada vez maiores, pressões ambientais e um incremento de produção de alimentos, entre outros, aliados às significativas mudanças climáticas globais em curso. (Filho *et al.*, 2011).

O valor econômico, social e político dos recursos hídricos subterrâneos é inegável, sendo premente a discussão da sua exploração a um ritmo sustentável. Por essa via, todas as atividades ligadas às águas subterrâneas requerem a conceptualização, monitorização e proteção da formação ou estrutura geológica que as contêm - o aquífero, a unidade fundamental da Hidrogeologia. Muitos aquíferos cuja hidrodinâmica é, infelizmente, pouco conhecida são geridos de maneira inconsequente e irresponsável (Quevauviller, 2008).

Hidrogeologia é um ramo da Hidrologia em que se estuda o armazenamento, circulação e distribuição da água na zona saturada das formações geológicas, tendo em conta as suas propriedades físicas e químicas, interação com o meio físico e biológico e suas reações à ação antrópica. A prospeção hidrogeológica utiliza maioritariamente métodos indiretos: análise e recolha de informação geológica e geomorfológica (através de trabalhos anteriores ou análise de campo); fotogeologia, métodos geofísicos, métodos hidroquímicos, cartografia estrutural.

2.3 Sistemas Aquíferos em Portugal Continental

Importância da Água Subterrânea

Portugal não é um país pobre em recursos hídricos como provam vários estudos comparativos que o colocam numa posição confortável no que respeita a valores médios da disponibilidade de água. Quando comparado com outros países da bacia mediterrânica, Portugal apresenta valores de escoamento médio anual, global ou *per capita*, superiores aos valores, por exemplo, da França, Itália, Espanha e Grécia (Cunha, 2003, citado em Moura *et al.*, 2012).

Em Portugal estão definidos 58 sistemas aquíferos. Estes inserem-se em quatro grandes Unidades Hidrogeológicas (Fig. 2.1): Maciço Antigo (rochas fundamentalmente ígneas e metamórficas, com aquíferos essencialmente fraturados e cársicos), Orla Meso-Cenozóica Ocidental (rochas sedimentares carbonatadas e porosas, apresenta aquíferos fraturados/cársicos e porosos), Orla Meso-Cenozóica Meridional (rochas sedimentares carbonatadas e porosas, aquíferos fraturados/cársicos e porosos) e a Bacia do Tejo (rochas sedimentares carbonatadas e porosas, caracterizada pela presença de aquíferos fraturados/cársicos e na maioria porosos). Estas Unidades distinguem-se pela natureza geológica e estrutural e pela sua idade.

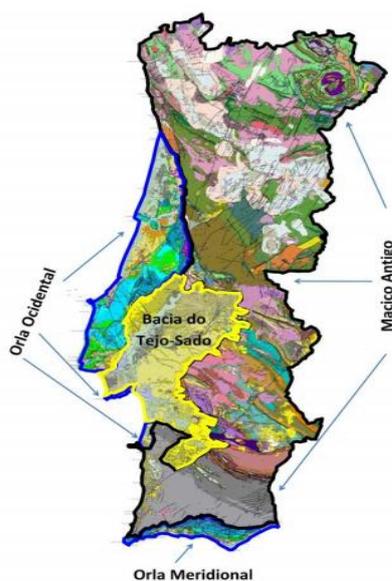


Figura 2.1: Definição espacial da localização das unidades hidrogeológicas de Portugal Continental. Orla Ocidental, Maciço Antigo, Bacia do Tejo e Sado e Orla Meridional. (Adaptado, Costa, 2012)

Como se referiu acima, os recursos hídricos subterrâneos são muito importantes para a sociedade. Assim sendo, a presente dissertação, pretende dar ênfase aos recursos hídricos subterrâneos num domínio onde a sua ocorrência é significativa, integrando no seu estudo as várias áreas da Geologia: naturalmente a hidrogeologia, mas também a tectónica, a geologia estrutural, a geomorfologia e a sedimentologia.

2.4 Contaminação da Água subterrânea

A Organização Mundial da Saúde (OMS) apresentou a seguinte definição de poluição das águas: “Água poluída é quando a sua composição ou seu estado estão de tal modo alterados que já não reúnem as condições necessárias (propriedades físicas, químicas e biológicas) para as utilizações para as quais estava destinada no seu estado natural”.

Em termos gerais, as fontes contaminantes são a agropecuária, a indústria, poluição doméstica, estruturas de recolha de efluentes líquidos e águas pluviais e estruturas de recolha de depósitos de lixos/resíduos (Fig. 2.2).

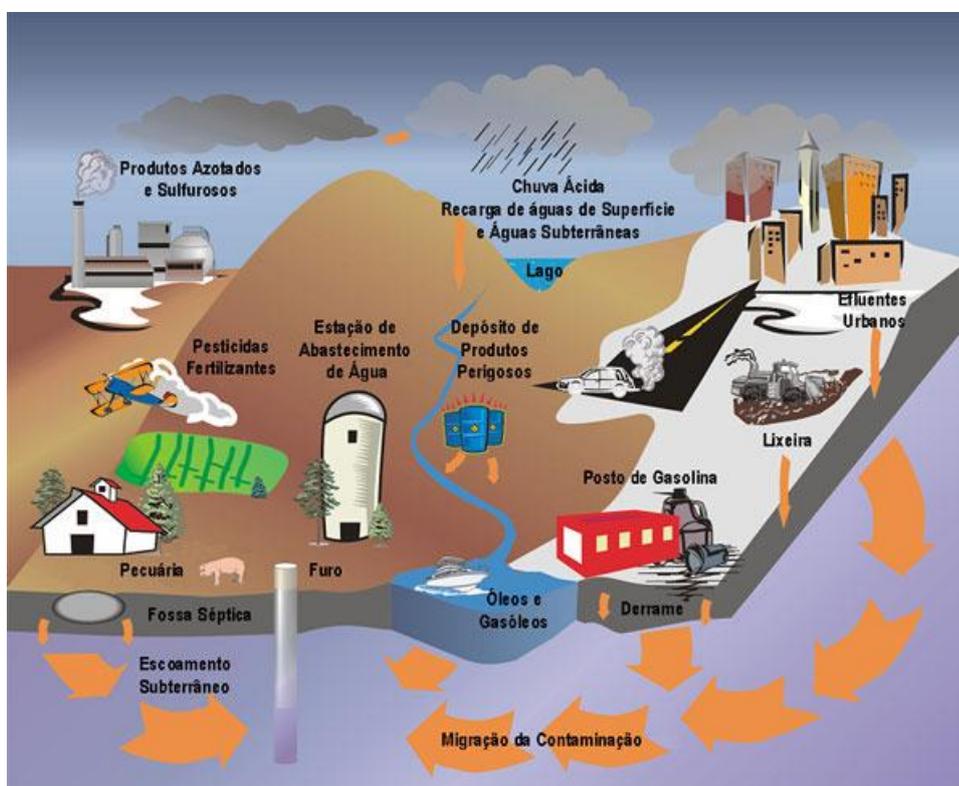


Figura 2.2: Poluição das águas subterrâneas e diferentes fontes contaminantes. (LNEG, Águas Subterrâneas: Conhecer para Proteger e Preservar (2001)).

No domínio em estudo, devido à larga ocorrência de litologias arenosas plio-quadernárias com altas, porosidade e permeabilidade, por isso, possibilitando uma fácil infiltração de substâncias e compostos químicos, o potencial de poluição das águas subterrâneas é elevado. Como principais fontes contaminantes identificam-se as seguintes atividades: agropecuária, industrial, atividade doméstica, estruturas de recolha de efluentes líquidos e águas pluviais, estruturas de recolha e depósito de lixos/resíduos.

Agropecuária: a constante e exagerada utilização de fertilizantes químicos (pesticidas, herbicidas), não só degrada as águas superficiais e subterrâneas como a degradação dos solos. A pecuária moderna é outra alta fonte contaminante dos recursos hídricos, desde logo os dejetos animais, como as hormonas presentes nas rações, sangue, pedaços de vísceras derivados de matadouros e os detergentes utilizados nas lavagens das pocilgas, estábulos e aviários, são lançados para os efluentes sem qualquer tratamento.

Industrial: um dos sectores de actividade mais prejudicial à poluição das águas, devido à utilização de dissolventes e reagentes químicos nos circuitos de produção. O sector industrial é caracterizado pelas suas cargas orgânicas, químicas e substâncias tóxicas e por extremamente poluidores para o meio ambiente, criação de desequilíbrios ecológicos.

Doméstica: este tipo de actividade, representado pela sua elevada concentração de matéria orgânica, sais minerais, nutrientes e microrganismos, derivado das águas residuais e das fossas sépticas, na região grande parte da população ainda não têm acesso ao sistema de saneamento básico, constituindo uma ameaça para a saúde pública, associado as descargas de bactérias patogénicas e vírus. As águas fluviais são constantemente poluídas pelo derrame e despejo destas águas.

Estruturas de recolha de efluentes líquidos e águas pluviais: a este nível pode-se considerar, o comportamento deficiente das redes de drenagem pluvial, devido ao subdimensionamento ou entupimentos e obstruções das secções de escoamento, levando à poluição nos pontos mais baixos da bacia. Sub-dimensionamento dos dispositivos interceptores de águas pluviais (sarjetas dos passeios e dos sumidouros de grades) e a descarga de escorrências pluviais em meios receptores sensíveis.

Estruturas de recolha e depósitos de lixos/resíduos: os lixiviados das lixeiras, resultantes da circulação de águas através da lixeira, são altamente redutores e

enriquecidos em amônio, ferro ferroso, manganês e zinco para além de apresentarem valores elevados de dureza, do total de sólidos dissolvidos e da concentração de cloreto, sulfato, bicarbonato, sódio, potássio, cálcio e magnésio. A decomposição da matéria orgânica na lixeira origina a produção de gases como o dióxido carbono e metano.

3. Capítulo III – Enquadramento Geral

Neste capítulo é apresentado o enquadramento físico geral da região em estudo, nos domínios geográfico e administrativo, hidrológico (climatológico e hidrográfico), geológico e hidrogeológico.

3.1 Geográfico e Administrativo

A área de estudo - Bacia Hidrográfica do rio Foja - localiza-se na Região Centro de Portugal, (NUTS II – PT16), inserindo-se no litoral da Região de Coimbra (NUTS III – PT16E), mais concretamente na sub-região do Baixo Mondego (NUTS III-PT162), nos municípios de Cantanhede, Figueira da Foz e Montemor-o-Velho.

A região em estudo, abrange domínios das freguesias (de norte para sul): Sanguinheira, Arazede, Tocha, Seixo de Gatões, Ferreira-a-Nova, Bom Sucesso, Moinhos da Gândara, Liceia, Quiaios, União de Freguesias Montemor-o-Velho e Gatões, Alhadas e Maiorca. As dez freguesias englobadas contêm uma área de aproximadamente 421,15km², têm uma população de 33.335 habitantes, segundo os censos de 2011.

A gestão das massas de água regionais é da responsabilidade da APA – DPI-ARH Centro.

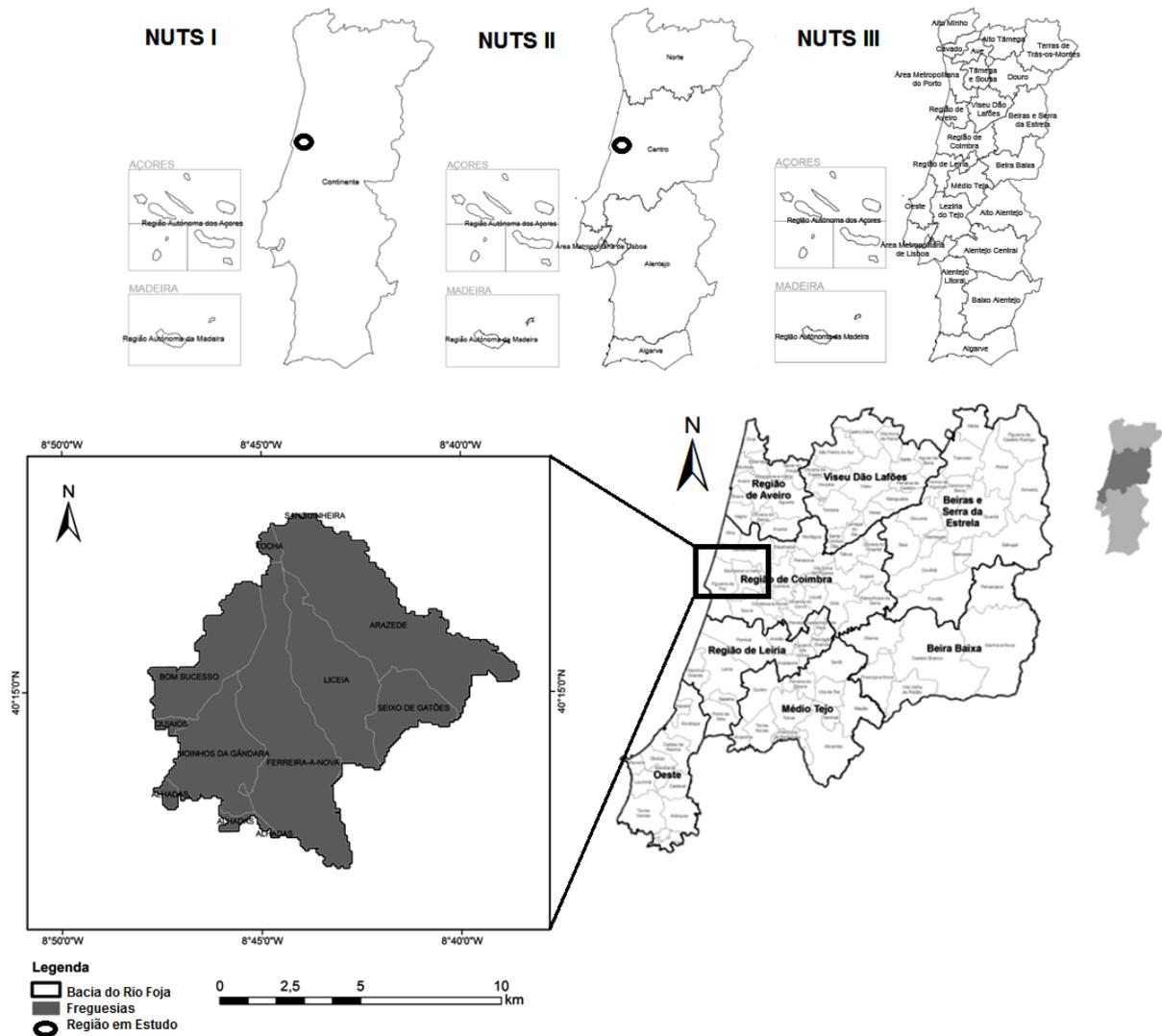


Figura 3.1: Enquadramento geográfico e Administrativo da área em estudo – bacia hidrográfica Foja (adaptado de mapas da Direcção Geral do Território (CAOP 2015) e da Comissão Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro (CCDR).

3.2. Hidrológico

3.2.1. Climatológico

A região da Gândara, tal como a totalidade de Portugal Continental encontra-se inserida no regime de clima mediterrânico, mais especificamente clima temperado Mediterrâneo com influência marítima. Segundo Rebelo *et al.* (1990), a faixa litoral apresenta um clima temperado de características mediterrâneas - verões quentes e secos, invernos suaves e chuvosos - mais ou menos influenciado pelo Atlântico onde domina o subtipo Fachada Atlântica.

Segundo Almeida (1997), uma estreita faixa com largura de 10 a 15km e desenvolvida para N (ou norte), a partir da Serra da Boa Viagem, está integrada nas áreas do subtipo Litoral Oeste, caracterizadas por terem uma amplitude térmica muito atenuada, frequentes nevoeiros de advecção durante as manhãs de verão, sendo só muito raramente atingidas pelas vagas de calor continental estival e são localmente flageladas por ventos marítimos.

A temperatura média anual é de cerca de 17 °C, com médias de verão e de inverno da ordem dos 15-25 °C e 7-14 °C, respetivamente. A sucessão anual dos valores mensais da radiação solar que atinge a superfície, apresenta valores médios anuais da ordem dos 300 cal/cm².dia, o fluxo de radiação é progressivamente mais elevado até ao pico do verão (aproximadamente 600 cal/cm².dia) e vai baixando depois até aos mínimos de inverno (cerca de 100 a 200 cal/cm².dia).

Na tabela (Tabela 3.2) são apresentados os valores de precipitação média registada entre 1953 e 2009 (SNIRH, 1995-2016) na região envolvente à bacia do rio Foja, nos postos udométricos (PU) de Cantanhede, Estrada, Ferreira-a-Nova e Tentúgal, onde são definidas as coordenadas geográficas e os períodos de funcionamento dos postos udométricos (Tabela 3.1).

Tabela 3.1: Coordenadas geográficas, cotas e períodos de funcionamento dos postos udométricos localizados na envolvente e na bacia hidrográfica do rio Foja (SNIRH, 2016).

	Lat.	Long.	Altitude (m)	Período de Funcionamento
Estrada	40.465	-8.642	45	09-07-1980 – 01-12-1998
Cantanhede	40.356	-8.593	58	09-07-1980 – 01-12-1998
Ferreira-a-Nova	40.235	-8.748	18	14-06-1979 – 01-02-2002
Boleta	40.203	-8.646	25	01-12-1981 – 01-12-1998
Tentúgal	40.241	-8.593	72	01-12-1953 – 01-12-1998

Tabela 3.2: Valores de precipitação atmosférica média mensal (mm) nos PU durante o seu período de funcionamento (SNIRH, 2016)

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ag.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média Anual
Tentúgal	158,77	149,82	102,95	91,03	88,98	43,17	8,23	19,96	52,24	114,68	144,03	158,71	1132,55
Cantanhede	130,22	110,78	51,85	94,72	87,32	30,38	8,94	18,84	49,64	105,19	135,47	134,53	957,88
Ferreira	113,30	93,12	58,09	87,66	83,61	25,29	7,30	12,33	46,36	124,27	131,31	139,99	922,64
Estrada	134,74	110,98	54,81	94,30	83,75	36,31	7,42	12,42	39,06	108,47	143,82	126,44	952,50
Bolota	134,44	119,29	49,32	96,57	73,84	27,70	11,34	11,43	40,66	97,75	149,71	139,63	951,67

De acordo com valores referidos na tabela anterior (valores de precipitação atmosférica média mensal) foi construído um gráfico com a variação mensal da precipitação (Gráfico 3.1).

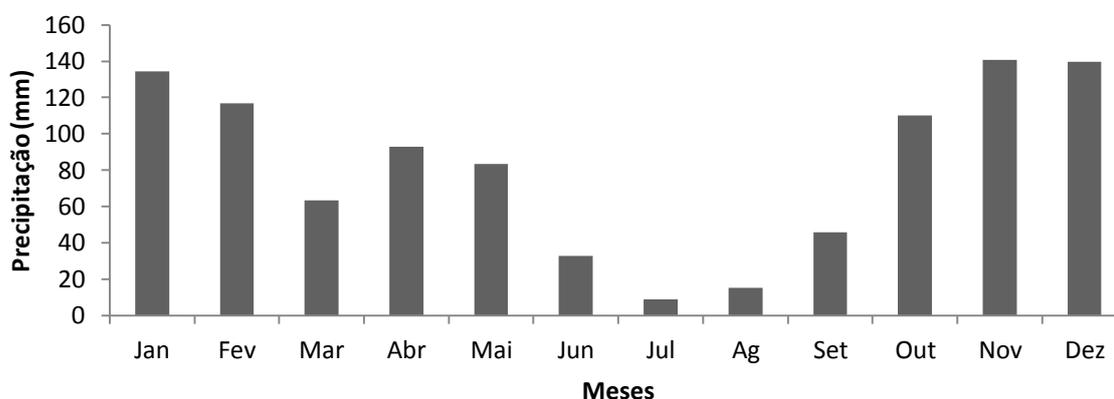


Gráfico 3.1: Variação mensal da precipitação, a partir dos valores de precipitação atmosférica média mensal (mm) dos postos udométricos da Tabela (3.1).

A pluviosidade média anual nesta zona é da ordem dos 950 mm. Predominam as chuvas de outono-inverno (outubro a março), com máximos mensais que podem ser superiores a 100 mm. O verão é o período mais seco do ano, com precipitações mensais, em média, inferiores a 10 mm.

As taxas de evaporação diária podem oscilar consideravelmente de dia para dia, em todas as estações do ano, mas a quantidade de água evaporada é máxima no início do verão, baixando progressivamente até ao inverno, à semelhança da temperatura e da radiação solar. A evaporação apresenta, pois, um comportamento cíclico, do tipo sinusoidal, semelhante aos da radiação solar e da temperatura do ar e inverso ao da precipitação.

Segundo Marques (2012), os ventos de N e NW apresentam-se como os rumos predominantes, correspondendo a 21.1% e 17.6% das observações climatológicas, respetivamente. Nos meses de inverno (dezembro a fevereiro) dominam os ventos de E. Na primavera, os ventos predominantes deixam de ser os do quadrante E, passando para os de N e NW. Por sua vez, no verão, é notório o reforço da importância dos ventos de N e NW. Nos meses de outono, principalmente a partir de outubro, os ventos de E tornam-se novamente relevantes, momento a partir do qual os rumos de N e NW começam a ser menos frequentes.

Segundo Fernandes (1999), pode-se concluir, que a Gândara é definida por dois diferentes períodos climáticos, ou seja, apresenta variações sazonais dependendo das estações do ano: um período húmido e frio que se estende desde outubro, onde se iniciam as primeiras chuvas moderadas que vão aumentando progressivamente de mês a mês e as temperaturas começam a baixar, esta época fria e húmida termina sensivelmente em finais de fevereiro, e um período seco e quente que inicia-se em março com o aumento gradual das temperaturas, a primavera é caracterizada por um equilíbrio entre a precipitação e a evapotranspiração, ou seja, equilíbrio entre as principais componentes do balanço hídrico. No verão, a Gândara é caracterizada pelas temperaturas mais quentes e valores menores de precipitação, sendo que o período seco e quente termina nos finais de setembro.

Temperatura

Segundo o mapa apresentado na Figura 3.2, a temperatura média anual na bacia é constante, na sua maioria as temperaturas situam-se entre os 13,0 e os 15,0 °C, no setor sul as temperaturas são ligeiramente mais quentes, mas sem grandes diferenças para a restante bacia, tendo temperaturas no intervalo 14,0 e 15,0 °C.

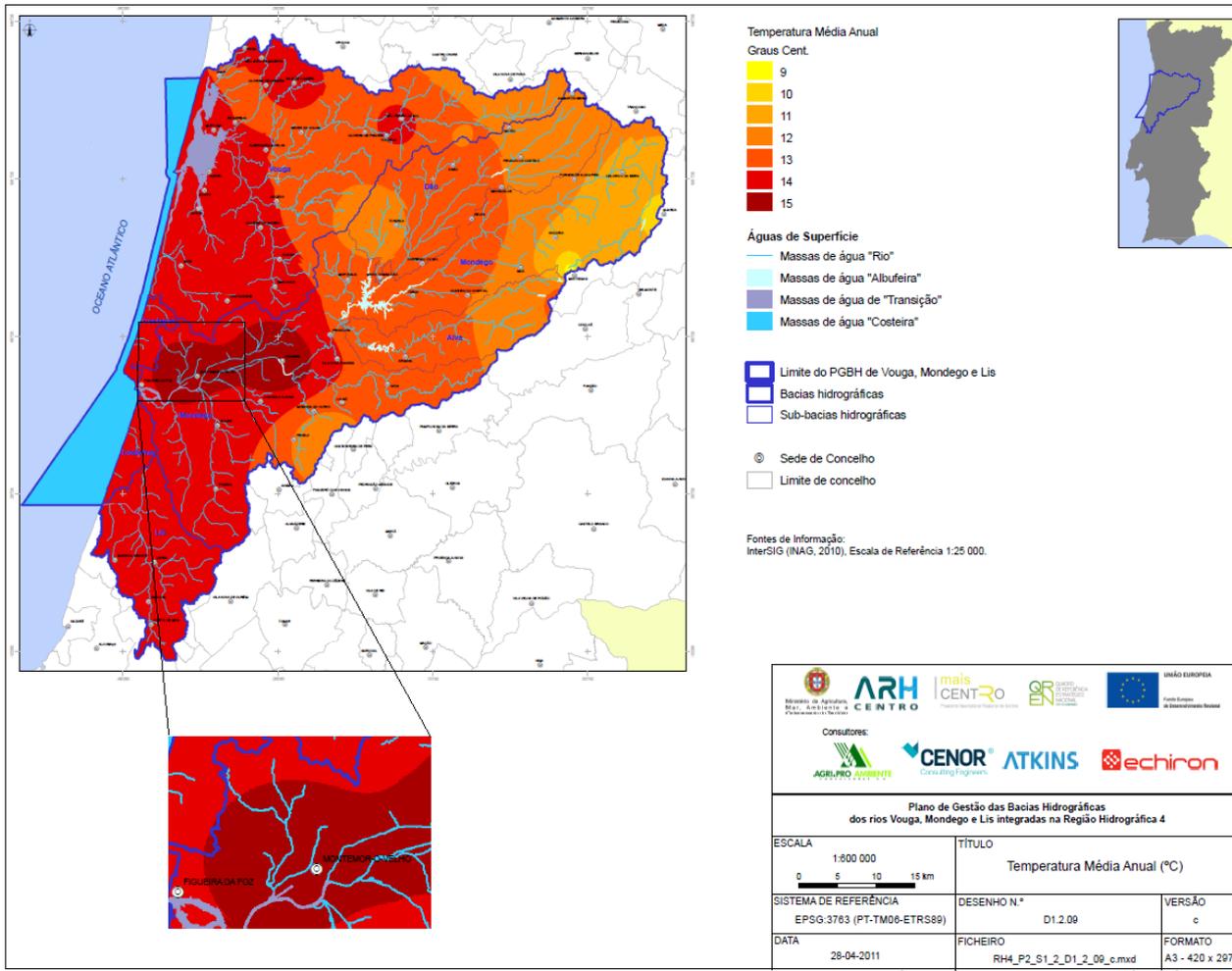


Figura 3.2: Enquadramento da área em estudo - Bacia Hidrográfica do Foja no Mapa das temperaturas médias anuais (adaptado do Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis).

Precipitação Atmosférica

Na Bacia Hidrográfica do rio Foja - domínio em estudo e com dimensão reduzida – pode considerar-se a precipitação média anual constante em toda a sua extensão. Os valores de precipitação média anual situam-se entre 900 e 1100mm/ano de acordo com a Figura 3.3.

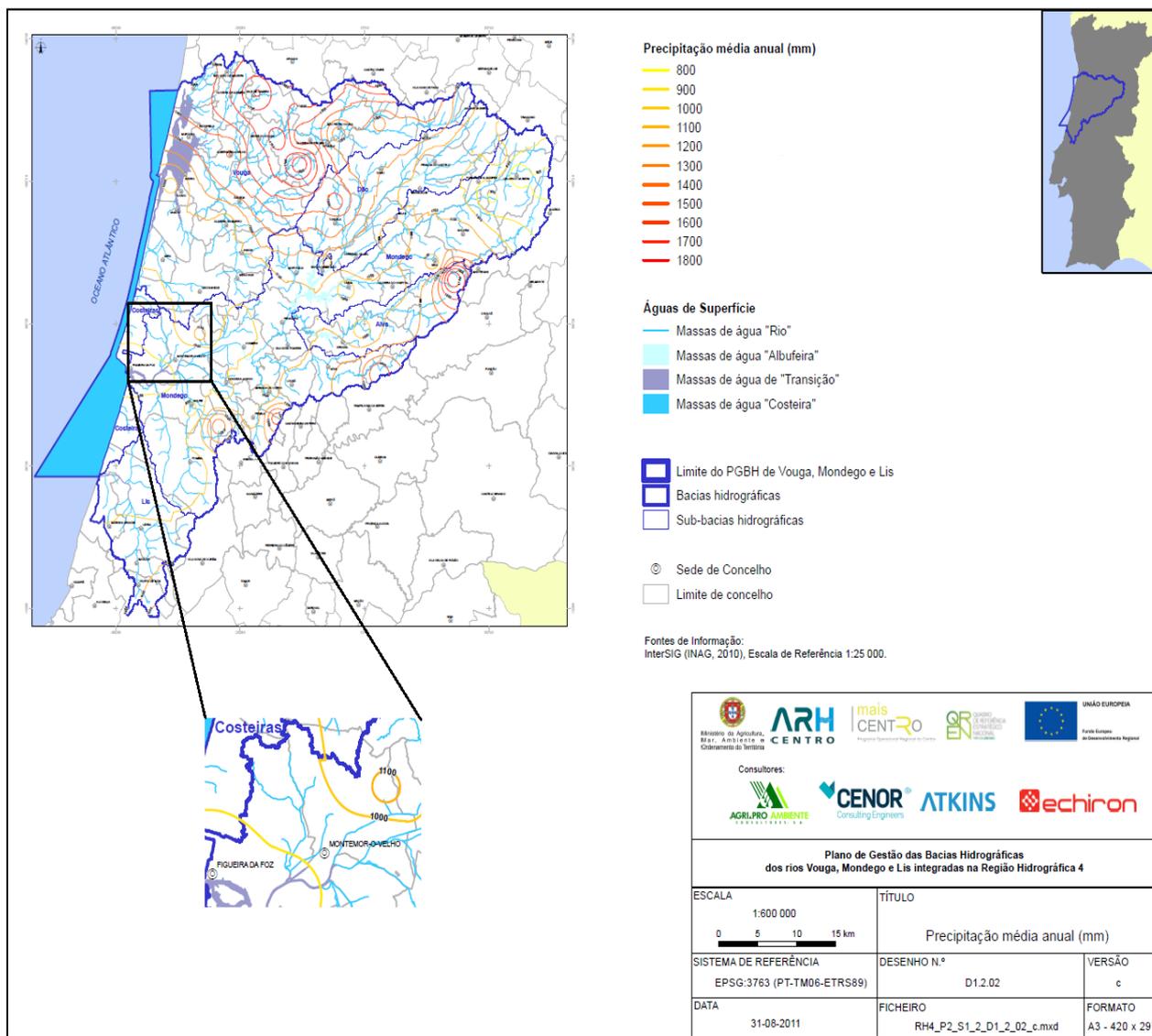


Figura 3.3: Enquadramento da área em estudo - Bacia Hidrográfica do Foja no Mapa da Precipitação média anual (adaptado do Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis).

Evapotranspiração

De acordo com os valores expressos na carta da Figura 3.4, a evapotranspiração real média anual na bacia em estudo varia entre 725 e 800 mm/ano. Sendo que na zona norte e centro da bacia os valores situam-se entre os 725 e 750mm/ano e na zona sul o intervalo situa-se entre 750 e 800mm/ano.

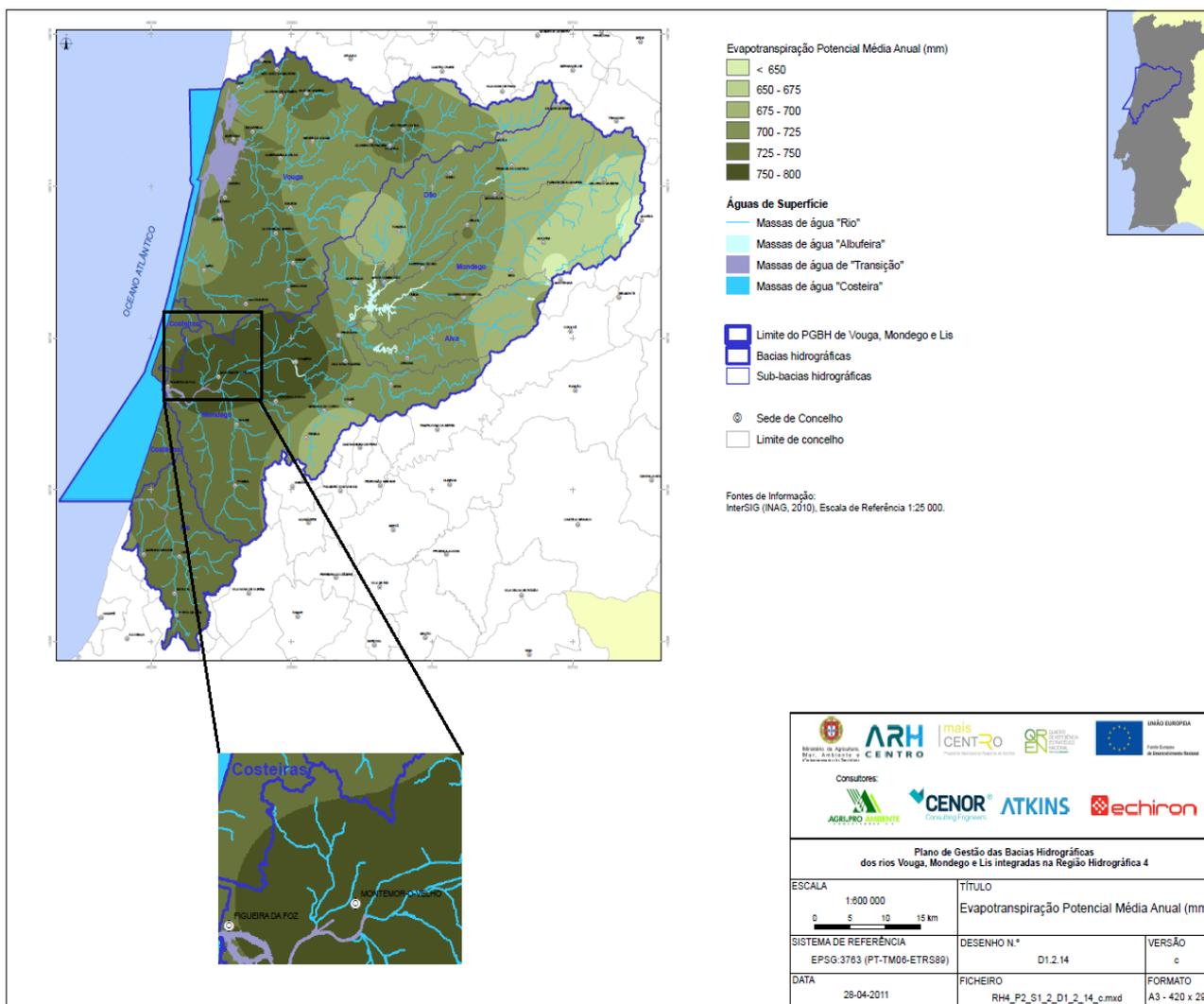


Figura 3.4: Enquadramento da área em estudo - Bacia Hidrográfica do Foja no Mapa da Evapotranspiração Real Média Anual (adaptado do Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis)

Escoamento Superficial

Segundo os valores expressos na carta da Figura 3.5, o escoamento superficial na extensão da bacia, apresenta valores na ordem dos 150 e 300mm/ano; na zona sul da bacia os valores da bacia são mais baixos do que a parte norte da bacia.

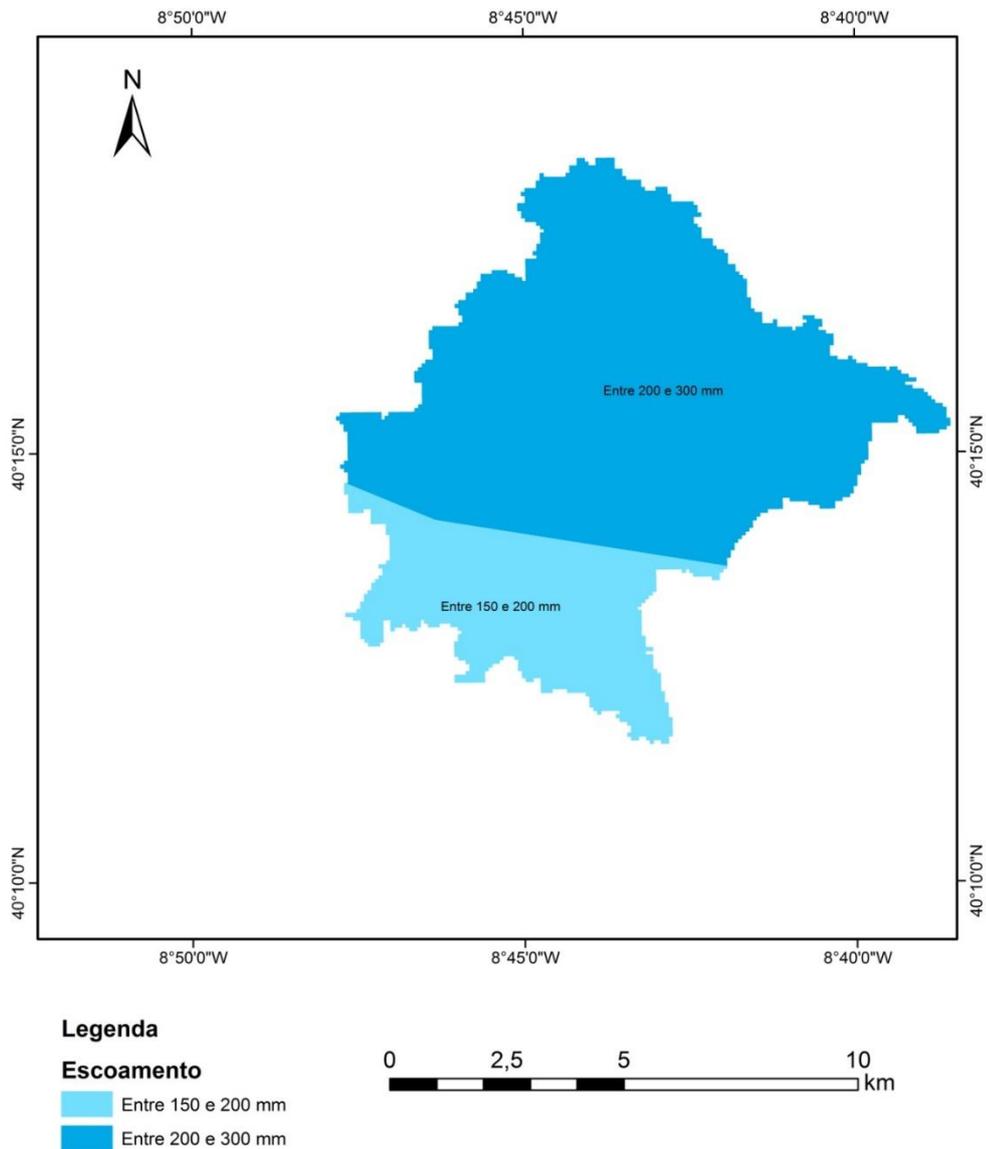


Figura 3.5: Escoamento Superficial para a Bacia Hidrográfica do Foja (mapa criado no software ArcGIS 10.2.2, com base em dados de SNIAmb, 2016).

Superavit Hídrico

O superavit (ou excedente) hídrico anual estimado para o domínio em estudo (Figura 3.6) foi obtido a partir da subtração dos valores apresentados nos mapas da precipitação atmosférica e da evapotranspiração (superavit hídrico = precipitação anual (mm/ano) – evapotranspiração, em mm/ano). Os valores obtidos expressam que em toda a região há um excedente de precipitação em relação à evapotranspiração, em conjugação com as massas subterrâneas esse excedente ainda será maior. Os valores para a bacia do rio Foja neste cálculo tem máximos de 400mm/ano e mínimo de 200mm/ano.

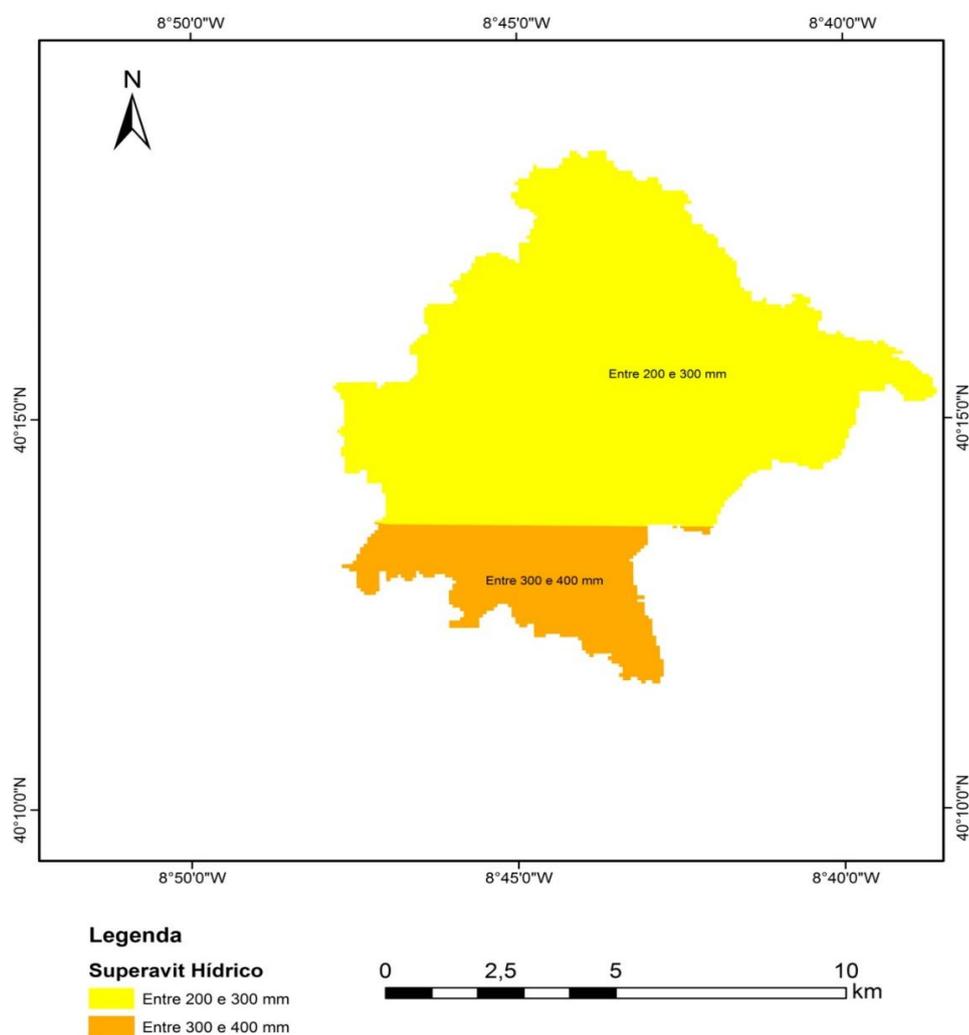


Figura 3.6: Mapa do Superavit Hídrico para a Bacia Hidrográfica do Foja (mapa criado no software *ArcGIS 10.2.2*, com base em dados de SNIAmb, 2016).

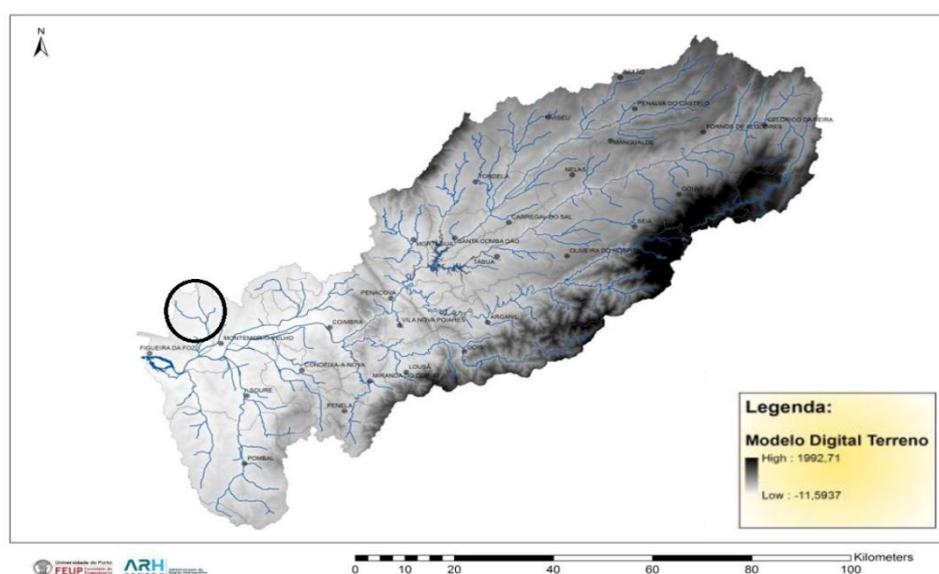
3.2.2. Hidrográfico

A região em estudo é uma sub-bacia do Rio Mondego. Segundo o Plano de Gestão da Região Hidrográfico do Centro (PGRH Centro) (APA, 2012) e de acordo com o Decreto-Lei Nº347/2007, este domínio pertence à bacia cuja designação é 04MONO677 e a sua denominação resulta da junção da bacia do rio Foja com a bacia da Vala Real.

A área em estudo abrange a totalidade da bacia hidrográfica do rio Foja, tendo esta uma área plana de aproximadamente 80km².

Bacia Hidrográfica do Rio Mondego

Localiza-se na Região Centro de Portugal, mais especificamente entre os paralelos 39°46' e 40°48' de latitude e meridianos 7°14' e 8°52' de longitude W (Ramos, 2008). Sendo delimitada a norte pelas bacias do Douro e Vouga e a sul pelas bacias do Tejo e do Lis. Com uma área de aproximadamente 6645km² apresenta uma forma retangular, tendo uma orientação dominante Nordeste-Sudoeste e uma altitude média na ordem dos 375m. Os afluentes principais do rio Mondego são: na margem direita, os rios Dão, Alva, Ceira e o Ega e, na margem esquerda, o rio Arunca e o rio Pranto.



Legenda

○ Região em estudo

Figura 3.7: Bacia Hidrográfica do Mondego e respetivo modelo digital terreno (MDT) (Adaptado: Estudo Estratégico para Intervenções de Reabilitação na rede hidrográfica da ARH Centro, 2013).

Sub-bacia Hidrográfica do Rio Foja

Segundo Almeida (1997), no domínio em estudo o padrão de drenagem é do tipo dendrítico. O padrão de drenagem resulta da interação de vários fatores, inerentes à litologia, devido às unidades gresosas do Cretácico, pois contêm uma fraca resistência e baixa permeabilidade e à sua estrutura, entre os quais a disposição das camadas, a resistência à erosão e a permeabilidade dos materiais, e também muito importante a geomorfologia da bacia.

Contudo, os cursos de água são de ordem mais baixa, muito curtos, e deixam vastos espaços interfluviais não drenados, correspondentes à superfície arenosa. É, portanto, uma rede ainda em expansão. Daí a relativamente fraca densidade da drenagem; No Triângulo da Bouça (sub-domínio localizado no Baixo Mondego), a rede é mais irregular, pois é condicionada pelo rio Foja. Aqui a rede de drenagem depende das formas do terreno envolvente: valas laterais, meandros, valas artificiais.

3.3 Geológico

Ao nível geológico, a área em estudo situa-se na Orla Mesocenozóica Ocidental, uma região geotectónica de grande diversidade litológica e estrutural, correspondente à antiga Bacia Lusitânica (BL). Está maioritariamente preenchida por materiais sedimentares. As unidades e formações aflorantes apresentam idades compreendidas entre o Cretácico inferior e o Holocénico.

Em termos geológicos a bacia do Mondego é sub dividida em duas unidades morfoestruturais de Portugal Continental: o Maciço Hespérico ou Soco Hercínico e a Orla Ocidental Meso-Cenozóica.

Segundo Guilherme (2011), a oeste do alinhamento estrutural Porto-Tomar, as formações geológicas ocorrentes são na sua maioria sedimentares. No seu conjunto, constituem a Orla Meso-Cenozóica Ocidental, por sua vez esta é constituída, essencialmente, por sedimentos depositados na Bacia Lusitânica, posteriormente remobilizados por atividade tectónica compressiva.

Segundo Reis (1992), as unidades geológicas da Orla Meso-Cenozóica são o resultado de uma sedimentação em depressões individualizadas por barreiras controladas pela subsidência e basculamento de blocos ao longo de falhas” (Reis et al., 1992; citado em Ramos, 2008).

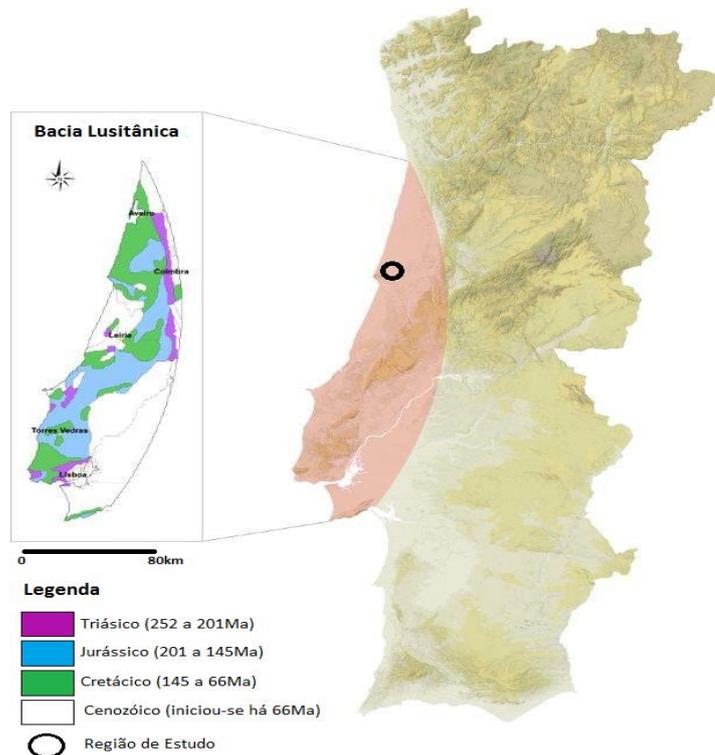


Figura 3.8: Bacia Lusitânica e os seus intervalos de tempo geológicos de uma forma generalizada (Adaptado: <http://www.publico.pt/ciencia/noticia/tartaruga-do-jurassico-portugueses-evoca-criaturas-aquaticas-de-lendas-japonesas-1619412>).

A Bacia Lusitânica (BL) situa-se na faixa ocidental da Europa, é “uma bacia sedimentar, correspondendo a uma unidade morfoestrutural alongada NNE-SSW que se desenvolveu na Margem Ocidental Ibérica (MOI2) durante parte do Mesozóico, prolonga se entre os 275km de comprimento, 150km de largura e aproximadamente uma espessura de cerca de 5km. A sua dinâmica enquadra-se no contexto da fragmentação da Pangeia, mais especificamente da abertura do Atlântico Norte (início do Triássico)” (Kullberg, *et al.*, 2006), correspondendo por isso, “a uma bacia peri-atlântica, originada num domínio tétsiano” (Pena dos Reis, *et al.*, 2010). Caracteriza-se como uma bacia distensiva, pertencente a uma margem continental do tipo atlântico de rift não vulcânica, como se situa em frente ao Oceano Atlântico e próxima do Mar Mediterrâneo, partilha com estes alguns dos controlos e características tectono-sedimentares.

A Orla Meso-Cenozóica Ocidental é um domínio com grande espessura de sedimentos, de geomorfologia suave, com colinas calcárias e vales amplos, pouco profundos e com aluvionamento significativo. É também um domínio de grande

3.4 Hidrogeológico

“O rio Mondego ao longo do seu trajeto vão surgindo e ocorrendo diferentes tipos de vales, podendo conseqüentemente ser definido em diferentes setores: Alto Mondego, sector que se insere no maciço da Serra da Estrela; Médio Mondego, sector que se inicia na Serra da Estrela e vai até à cidade de Coimbra e o Baixo Mondego, setor a jusante de Coimbra terminando na foz do Mondego na Figueira da Foz” (Ramos, 2008).

No âmbito do Plano de Bacia do Mondego, foram considerados na unidade Maciço Hespérico, os granitos, os xistos e grauvaques, os quartzitos, aluviões ligados a rios e depósitos arcósicos. Na Orla Ocidental individualizaram-se 14 Sistemas e Subsistemas Aquíferos e quatro setores com formações de produtividade baixa a muito baixa.

Na Orla Mesocenozóica Ocidental, ocorre um domínio de grande variabilidade litológica, textural e estrutural. Preponderam os materiais sedimentares de origem carbonatada, arenítica e argílica, estes em algumas regiões são recobertos pela cobertura quaternária e plio-quaternária. Segundo Ribeiro *et al* (2009), os materiais arenosos desagregados propiciam fácil infiltração da água das chuvas. A organização sequencial dos sedimentos individualiza verticalmente as formações com comportamento hidrogeológico diverso, criando alternâncias, mais ou menos cíclicas, de aquíferos, aquíferos e aquíferos. Formam-se, assim, sistemas aquíferos multicamada, com escoamentos por drenância intercamadas do sistema, de acordo com o potencial hidráulico local: genericamente descendentes nas zonas de recarga e ascendentes nas de descarga.

Como referido anteriormente, o domínio em análise - Bacia Hidrográfica do Foja - está localizado na Unidade hidrogeológica da Orla Ocidental. Neste domínio evoluem vários sistemas aquíferos (Figura 3.10): Sistema Aquífero Aluviões do Mondego, Sistema Aquífero Quaternário de Aveiro, Sistema Aquífero Viso-Queridas, Sistema Aquífero de Tentúgal e Sistema Aquífero Cárstico da Bairrada.

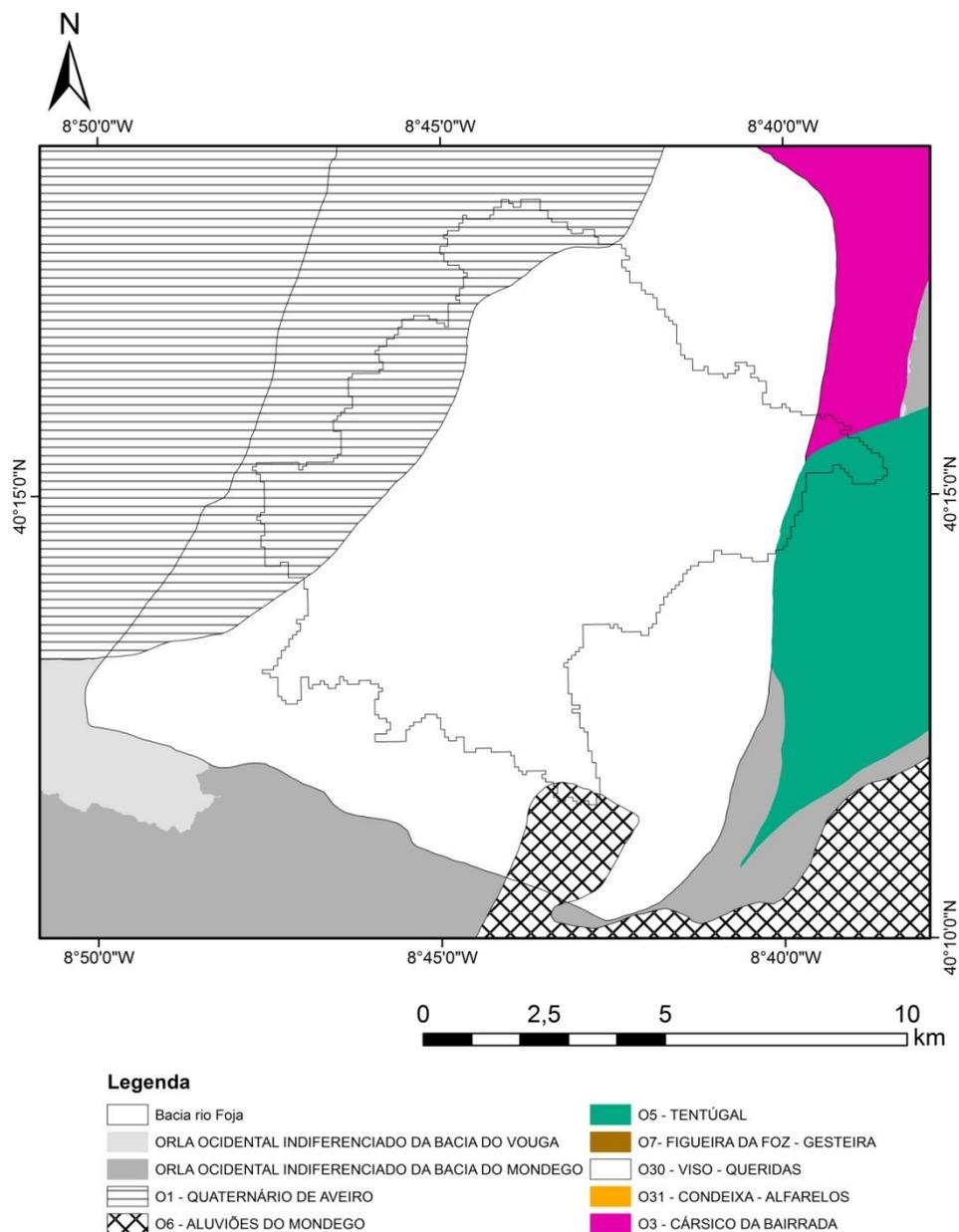


Figura 3.10: Mapa dos Sistemas Aquíferos que evoluem na região em estudo (mapa criado com software ArcGIS 10.2.2, de acordo com elementos do SNIRH, 2016).

Os Sistemas mais representados na área estudada são, o Sistema Aquífero Quaternário de Aveiro e o Sistema Aquífero Viso-Queridas.

Sistema Aquífero Quaternário de Aveiro

Este Sistema aquífero é do tipo multi-camada e evolui em formações de natureza detrítica. Apresenta uma área total de 931 km² (Almeida *et al.*, 2000).

O fluxo natural é suave, geralmente decorre para ocidente em direção ao mar, apresentando gradientes hidráulicos que variam entre 0,0012 e 0,0036, tendo cerca de 0,0014 a sul da Gafanha da Nazaré (Melo, 2002; Melo *et al.*, 2002).

O Sistema aquífero Quaternário de Aveiro é constituído por três unidades principais: um aquífero hidráulicamente livre, instalado em depósitos pliocénicos; um aquífero freático superior, instalado em dunas e aluviões modernos; e um aquífero em grande parte confinado ou semi-confinado, instalado na formação base do Quaternário (Almeida *et al.*, 2000).

A recarga aquífera é feita principalmente pela precipitação direta (Fernandes, 1999; Melo, 2002; Melo, Cabano & Silva, 2002; Castilho, 2008) e pela infiltração da água excedente de rega. Em média, a recarga anual das três unidades situa-se entre os 200 e 250hm³.

A descarga é feita para o mar, para a rede de drenagem e para os aquíferos subjacentes. A evaporação direta nas lagoas e a exploração das unidades aquíferas são os principais fatores de perda de água do sistema nas áreas meridionais (Fernandes, 1999; Castilho, 2008). A descarga aquífera destinada para o abastecimento público e para a indústria ronda os 180hm³/ano (Castilho, 2008).

O aquífero freático superior tem menor importância enquanto recurso devido à sua fraca permeabilidade, sendo, no entanto, muito explorado para fins agrícolas já que a maioria dos poços tradicionais de grande diâmetro capta neste nível.

Sistema Aquífero Viso-Queridas

O Sistema aquífero Viso-Queridas possui uma área cartografada de 186km² (Almeida *et al.*, 2000). Encontra-se implantado nas bacias do Mondego, Vouga e Ribeiras da Costa.

O Sistema aquífero é essencialmente poroso e com uma produtividade média. Globalmente é um sistema multicamada devido à interposição frequente de níveis mais ricos em argila. Em níveis profundos, apresenta condições de semi-confinamento ou confinamento.

Implanta-se sobre unidades cretácicas, paleogénicas e miocénicas, estando estas unidades cobertas por materiais mais recentes, nomeadamente por um vasto manto arenoso (areias eólicas e dunas).

Da base para o topo, apresenta a seguinte sucessão litostratigráfica:

- Arenitos do Carrascal (Formação da Figueira da Foz);

- Calcários de Tentúgal (Formação dos Calcários Apinhoados da Costa D'Arnes);
- Grés do Furadouro; Grés de Oiã;
- Arenitos e Argilas do Viso e Arenitos Conglomeráticos de Queridas (Formação Argilo Gresosa e Conglomerática de Bom Sucesso);

As unidades litostratigráficas que apresentam fácies areníticas contêm produtividade aquífera, com exceção das unidades dos Calcários de Tentúgal (Formação de Costa D'Arnes) de fácies carbonatada e as fácies argilosas da formação Arenitos e Argilas do Viso, são consideradas improdutivas.

Segundo Almeida, *et al.* (2000) a recarga aquífera faz-se a partir da precipitação, estimando-se que esta seja cerca 28hm³/ano (valor mínimo). A maior parte desta recarga faz-se com a infiltração diferida através das areias quaternárias. O valor total da descarga é idêntico ao da recarga e efetua-se para a rede drenagem, para o mar e para os aquíferos subjacentes. O reduzido número de dados sobre os parâmetros hidráulicos destas unidades aquíferas apenas permite uma estimativa do valor da transmissividade, que ronda os 90m²/d.

3.4.1. Evolução e Transformação dos Sistemas Aquíferos Ocidentais de Portugal

A costa portuguesa nos últimos 20ka anos tem sido marcada pela existência de eventos de transgressão e regressão do mar.

Segundo Zazo *et al.* (1996), a norte do paralelo 40º as condições climáticas presentes há aproximadamente 15ka era de um clima frio e húmido, a sul do paralelo 40º observa-se um clima seco e frio, atualmente ocorre um clima árido e seco.

Na época interglaciar as bacias dos rios eram maiores e alguns deles tinham orientações diferentes das atuais.

Ao longo dos últimos 20 mil anos tem havido uma evolução do nível do mar, este maioritariamente sem ter subido, só durante o período denominado Younger Dryas que decorreu entre os 12900 e 11700 anos, deu-se uma subida do mar, é de notar que durante este período de tempo o Oceano Atlântico era mais quente que o Mar Mediterrânico em cerca de 5°C.

A diferença de cota registada do nível do mar dos últimos 20ka é de aproximadamente -140m, isto deve-se sobretudo ao recuo da frente polar, consequentemente causando impacto sobre os rios, aquíferos ao longo da costa

ibérica. O nível do mar à cerca 18ka encontrava-se entre os -120 e -140m, aos 16ka registava-se o nível do mar a -100m que se estabilizou até aos 14ka, depois surgiu o período frio Younger Dryas que levou à descida do nível do mar até aos -60m, nos últimos 10 mil anos tem ocorrido um aumento gradual do nível do mar, a posição atual do nível do mar foi atingida por volta dos 4ka.

Com a ocorrente transgressão pós-glacial as unidades aquíferas foram invadidas pela água marinha, mas devido à tectónica e à consequente subsidência sedimentar, as areias do sistema aquífero mantiveram-se acima do nível do mar, isto a ocidente. Ocorreu uma modificação do gradiente de fluxo das águas subterrâneas, posterior modificação da descarga aquífera.

4. Capítulo IV - Caracterização Física Local

Neste capítulo é apresentado o enquadramento físico do domínio em estudo, nomeadamente aos níveis topográfico, hidrográfico, geológico, tectónico-estrutural, geomorfológico e do uso e ocupação de solos.

4.1. Topográfico

A área em estudo encontra-se representada nas Cartas Topográficas 1:25000 do Instituto Geográfico Português, Folhas nº217-Tocha, nº228-Quiaios, nº229-Ança e nº239-Figueira da Foz. O domínio em estudo corresponde grosso-modo à bacia hidrográfica do rio Foja, apresentando uma área plana de aproximadamente 80km².

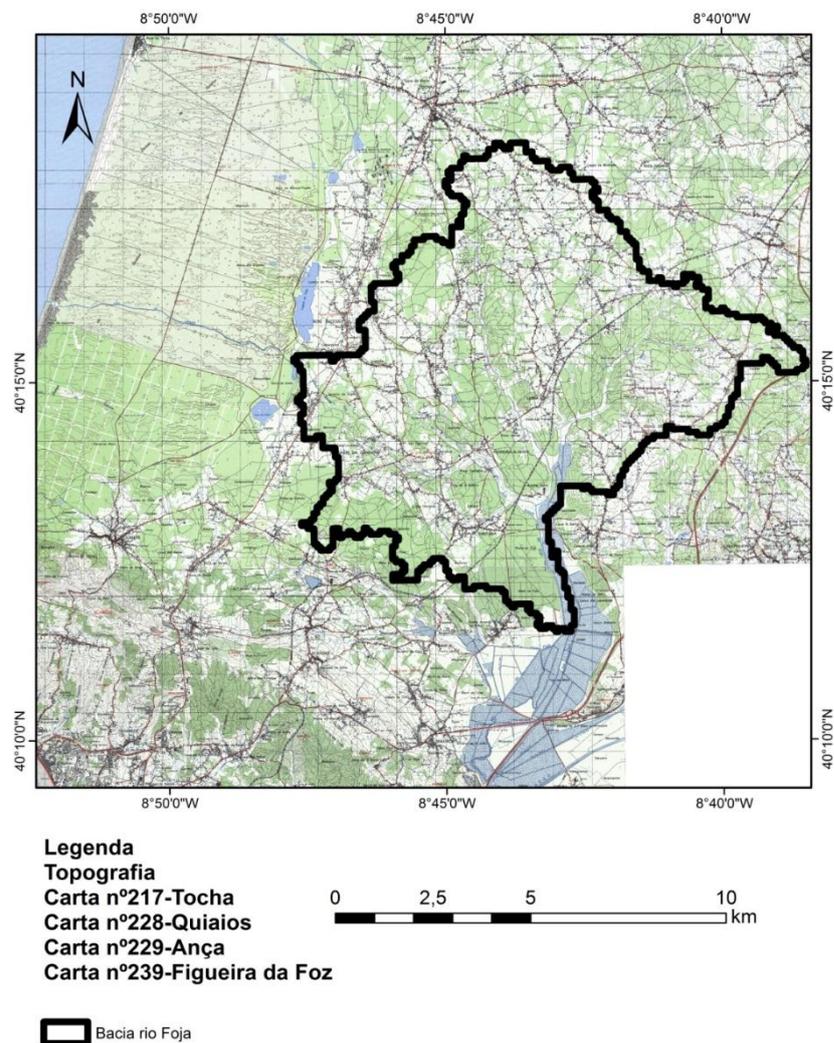


Figura 4.1: Enquadramento topográfico geral, a partir de fragmentos de Cartas Militares 1:25000 (Folhas nº217, nº228, nº229 e nº239).

A área definida para análise encontra-se definida, a norte, pela vila de Tocha, Sanguinheira e Pedras Ásperas, a sul, pela vila de Montemor-o-Velho e Maiorca, a NNE pela vila de Arazede e SWW pela vila de Quiaios. No seu interior tem como principais localidades (de N para S): Bunhosa, Bizarros, Pelicanos, Catarruchos, Tojeiro, Pedros, Resgatados, Bebedouro, Marianas, Bom Sucesso, Regateiros, Martinhas, Castanheiro, Amieiro, Arroia, Viso, Gestinha, Netos, Lafrana, Queridas, Liceia, Camarção, Vale Saramago, Seixo, Quinta dos Vigários, Casal Novo, Ferreira-a-Nova, Ribas, Cunhas, Azenha Nova, Santana, Gatões e Pincho.

A área em estudo apresenta um relevo pouco acidentado (Fig. 4.2). Apenas as zonas marginais dos ribeiros ocorrem vertentes bastante abruptas ou zonas com declive mais acentuado. As zonas mais planas são a N; NE; NW; W e S. Isto deve-se, à aproximação às Matas de Quiaios a noroeste e a oeste, enquanto, que a bacia a sul é representada pelos Campos do Mondego.

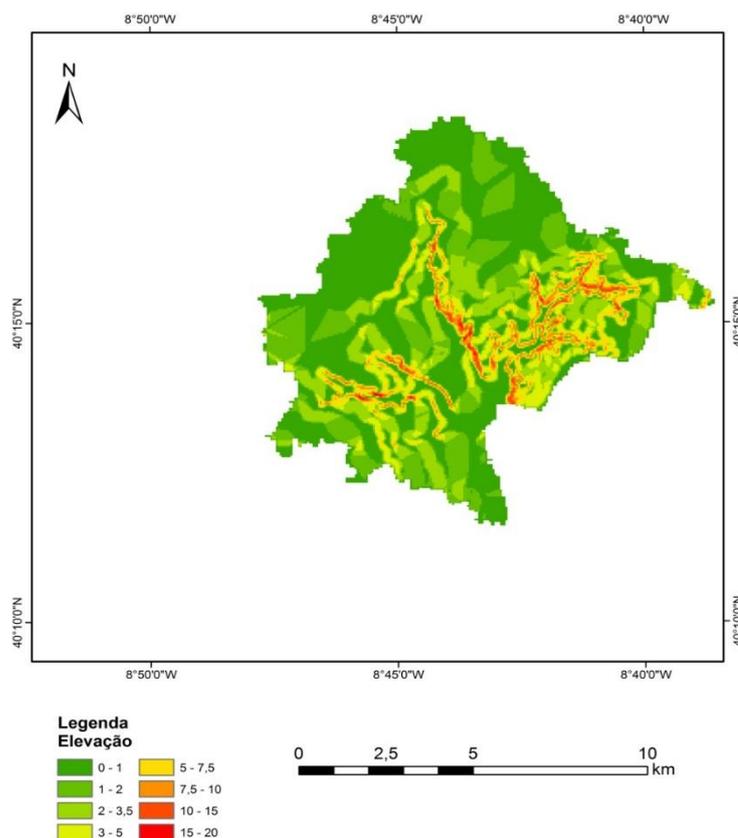


Figura 4.2: Modelo Digital Terreno (MDT) da bacia hidrográfica do rio Foja (criado no software ArcGIS 10.2.2, a partir dos dados altimétricos das Cartas militares 1:25.000, Folhas nº 217, nº228, nº229 e nº239).

4.2. Hidrográfico

Como referido, o domínio em estudo corresponde à bacia hidrográfica do Rio Foja. Esta constitui uma sub-bacia da BH do rio Mondego.

O padrão de drenagem da região é fortemente condicionado por vários fatores inerentes à litologia e à sua estrutura, entre os quais a disposição das camadas, às diferentes resistências à erosão e permeabilidade dos materiais. Assim, na bacia hidrográfica o padrão de drenagem na zona dos seus afluentes é do tipo dendrítico (Fig. 4.3). Os cursos de água são recentes, de ordem baixa, muitos curtos e característicos de implantação numa superfície arenosa plio-pleistocénica. No Triângulo da Bouça (setor sul), a rede é mais irregular, pois é condicionada pelo rio Foja. Aqui, a rede de drenagem depende das formas do terreno envolvente: valas laterais, meandros e valas artificiais.

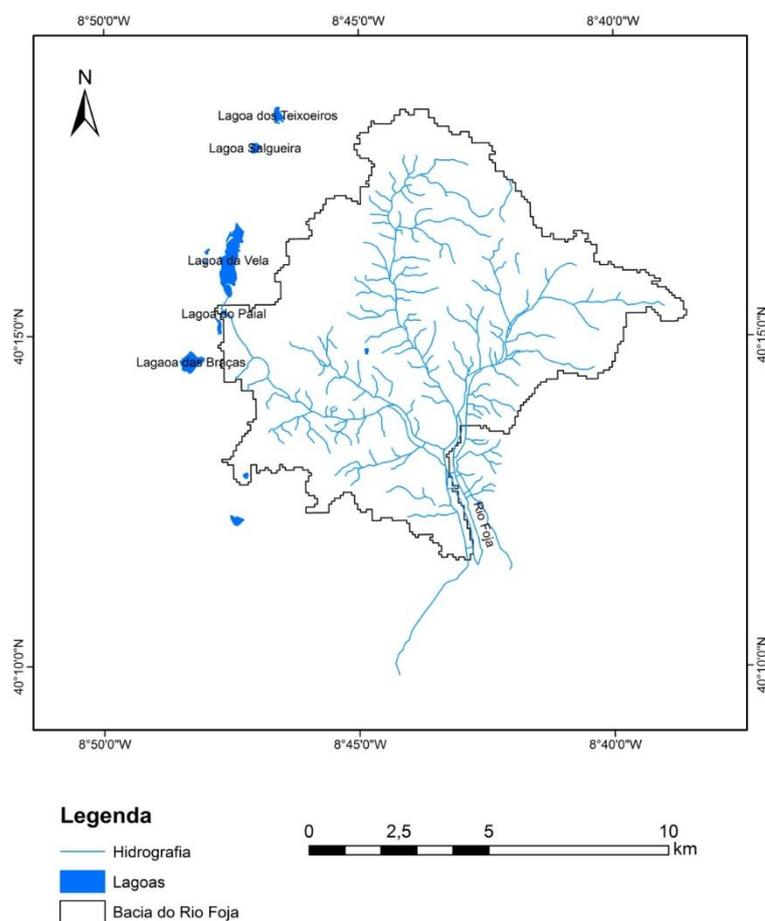


Figura 4.3: Rede de drenagem na Bacia Hidrográfica do rio Foja (criada com o software ArcGIS 10.2.2, a partir dos dados do SNIRH).

Na Tabela 4.1 apresentam-se os valores de alguns dos parâmetros morfométricos da bacia em estudo.

Tabela 4.1: Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica do rio Foja.

Bacia Hidrográfica do rio Foja – Código 12E/02H		
Caracterização Morfométrica		
Parâmetro		Valor
P	Perímetro (m)	69280
L _t	Comprimento das Linhas de Água (m)	173325
L	Comprimento da maior Linha de Água (m)	16926,4
H _{máx}	Cota Máxima	129
H _{min}	Cota Mínima	2
A	Área Plana Total (m ²)	8034000
K _c	Coefficiente de Capacidade (kc)	6,892726935
K _f	Factor de Forma (kf)	0,02804159
K _l	Índice de Alongamento (kl)	147,3496486
H _{méd}	Altitude Média (m)	53
K _{ma}	Coefficiente de Massividade (k _{ma})	0,0006597
K _o	Coefficiente orográfico (k _o)	0,0349639
D _d	Densidade de drenagem (km ⁻¹)	2,15739358
p _{med}	Percurso Médio de Escoamento (p _{med})	0,23176114
	Percurso médio sobre terreno até um curso de água	0,11588057

Dos valores obtidos pode se afirmar que:

- a bacia hidrográfica do Foja demonstra um sistema de drenagem razoavelmente desenvolvido, com uma densidade de drenagem de 2,16 km/km², este índice pode variar entre 0,5 km/km² e 3,5 km/km²; este aponta para uma boa infiltração relativamente ao escoamento superficial; este facto dever-se-á a diversos factores, nomeadamente a: (1) elevada precipitação anual, (2) à topografia aplanada, ou (3) à ocorrência de uma cobertura arenosa;

- a densidade de drenagem e o percurso médio de escoamento (0,23km) apontam para a ocorrência de uma bacia com média drenagem e boa infiltração.

Os afluentes do rio Foja, assim como a forma da própria bacia hidrográfica demonstram um importante controlo estrutural, os sistemas de fraturação locais tem um papel importante na rede de drenagem atual, em conjugação com outros factores condicionantes já referidos anteriormente. Na zona NW da bacia hidrográfica, onde

se localizam o Ribeiro das Barreiras, Ribeiro do Zurrão e a Vala da Veia, os corredores de fraturação NW-SE cortam a Formação Argilo-Gresosa e Conglomerática de Senhora do Bom Sucesso, condicionando o trajeto dos diversos cursos de água. Enquanto no Ribeiro do Parisol, o sistema de fraturação NE-SW, corta a Formação Arenitos e Argilas do Viso, condicionando assim o sistema de drenagem da bacia.

Os rios acima referidos têm inicialmente um carácter tipo subsequente. Contudo, nas valas (Vala do Arco Grande e Vala Real) passam a um tipo consequente. O Rio Foja é do tipo consequente, mas o seu controlo e o seu traçado obedece também a controlo antrópico, devido às atividades dos Campos do Mondego (cultivo de arroz e de outras espécies agrícolas).

Os cursos de água principais apresentam regime perene.

Para rematar este subcapítulo elaborou-se um mapa de declives em conjugação com a rede hidrográfica da bacia hidrográfica, Figura (4.4).

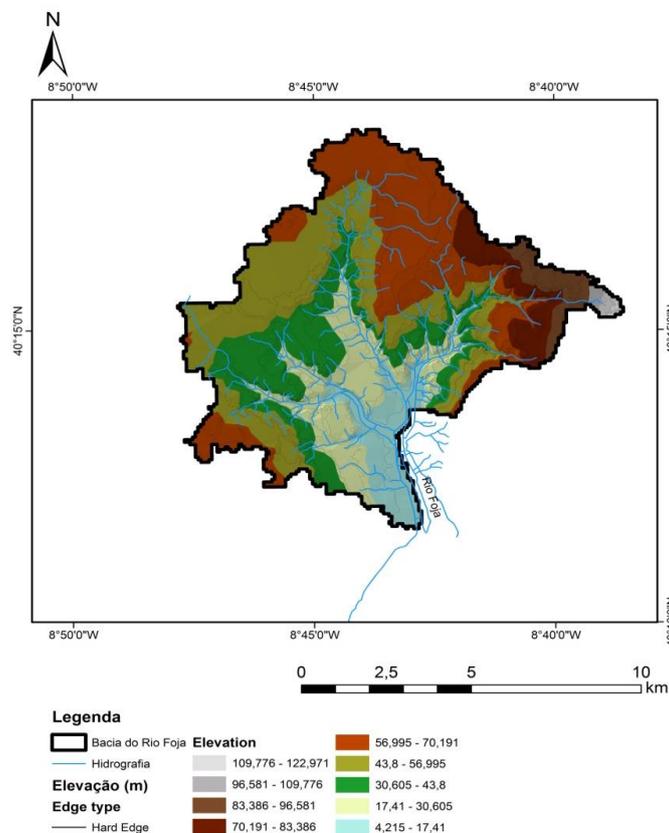


Figura 4.4: Mapa de Declives na Bacia Hidrográfica em conjugação com a rede hidrográfica (criado com o software ArcGIS 10.2.2, a partir dos dados do SNIRH).

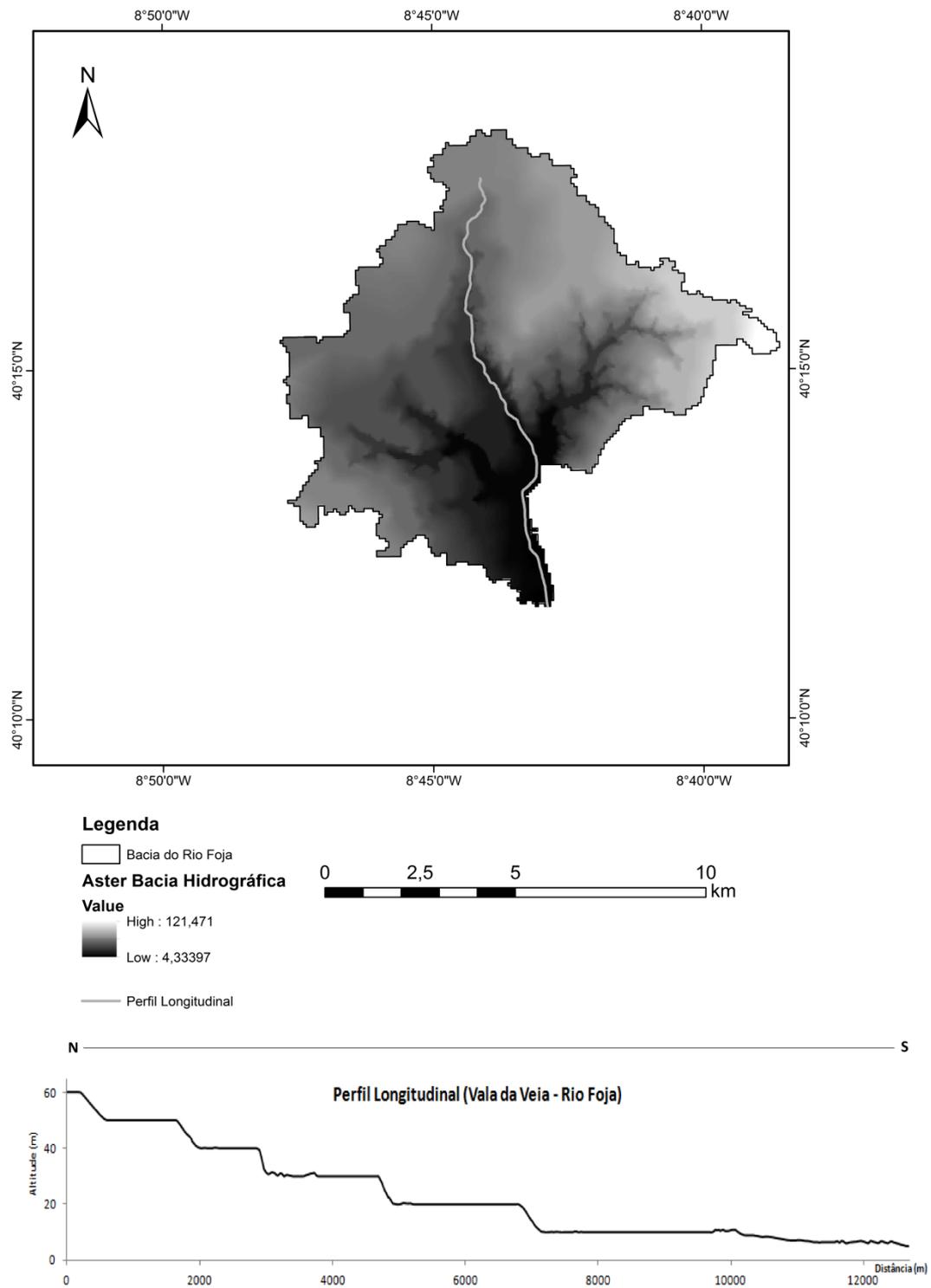


Figura 4.5: Carta Aster da bacia hidrográfica e perfil longitudinal da Vala da Veia e Rio Foja (mapa criado no software ArcGIS 10.2.2, perfil criado no software Excel, a partir dos dados aster ASTGTM2_N39W008).



Enquadramento das Fotos de Linhas Água (Google Earth)



Figura: Ribeiro das Barreiras em Barreiras (Esquerda) e Vale da Veia em Zangas (Direita).



Figura: Ribeiro do Parisol em Raseira (Esquerda) e Vale do Zurrão em Azenha da Amieira (Direita).

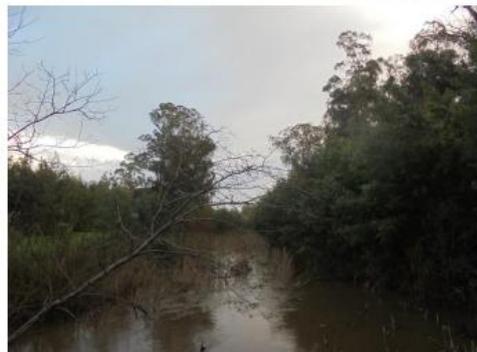


Figura: Rio Foja em Santana.

Figura 4.6: Localização e aspeto geral das linhas de água principais na Bacia do Foja (localização em base Google Earth).

4.3 Geológico

Neste subcapítulo é feita uma descrição detalhada da geologia local. Apresenta-se a descrição das unidades litostratigráficas das mais recentes para as mais antigas. As terminologias das unidades são apresentadas de acordo com as Cartas Geológicas 19-A Cantanhede e 19-C Figueira da Foz.

O domínio em estudo encontra-se, na sua maioria, coberto por materiais arenosos recentes, com idades compreendidas entre o Plistocénico e o Holocénico. Para além destes materiais, afloram unidades do Cretácico Superior, Miocénico e Pliocénico (Fig. 4.7).

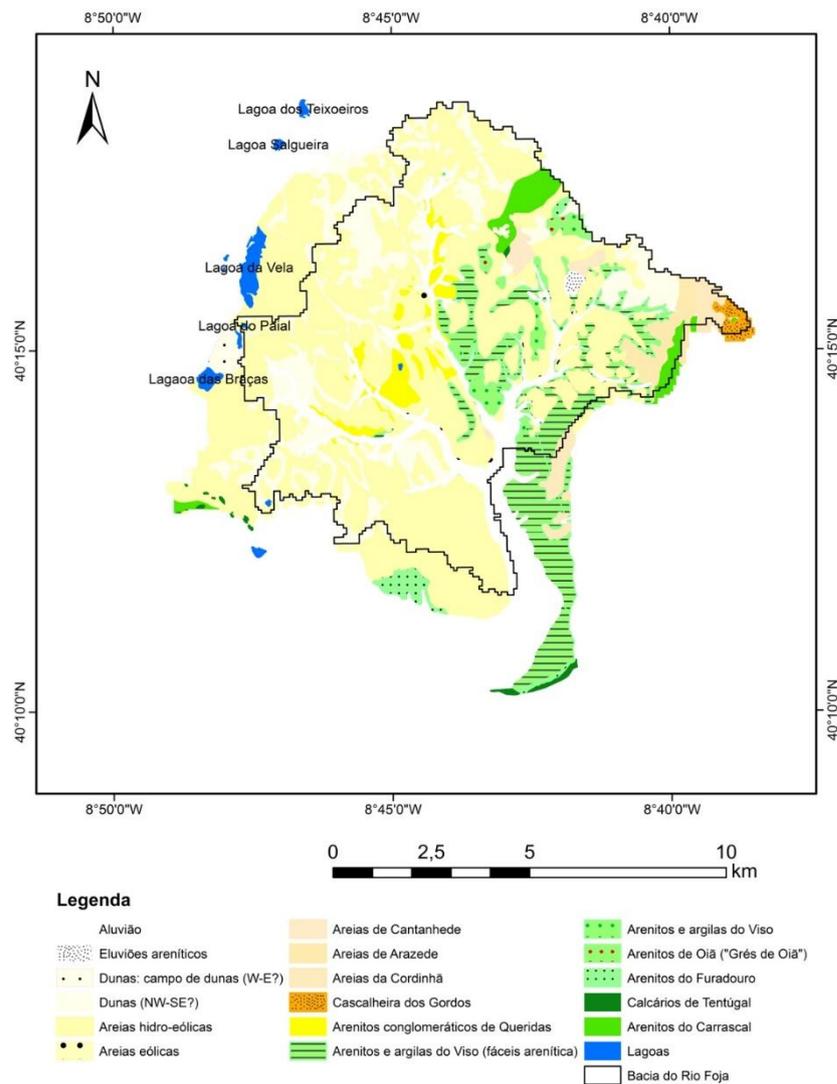


Figura 4.7: Enquadramento Geológico da região em estudo (mapa criado no *software* ArcGIS 10.2.2, a partir do ficheiro Aster das Cartas Geológicas de Portugal, escala 1:50000, Folhas 19-A Cantanhede e 19-C Figueira da Foz, LNEG, 2016).

Na área em estudo ocorre a seguinte sequência litostratigráfica:

Plio-Quaternário

“O Plio-Quaternário manifesta-se nesta região por extensos depósitos de origem praias, fluvial e eólica” (Almeida, 1995).

Holocénico

Aluvião (a) – (20 ± 40m): os Aluviões do Mondego, junto à margem norte, mostraram, em sondagens, espessuras de ordem dos 20m até ao máximo de 40m, essencialmente lodosas. Tanto no Mondego, como na Vala Real e seus subsidiários, existe igualmente espesso enchimento correspondente a assoreamento progressivo a partir do Flandriano.

Eluviões Areníticos (ea) – (espessura indefinida): as eluviões constituem solos residuais provenientes de substratos arenítico-argiloso, ocorrem na região de Resgatados.

Campo de dunas (db) – (espessura indefinida): cordões dunares extensos, monótonos e um compacto corredor, segundo N-S, com largura entre 3 e 5km, com orientação aparente WNW-ESE quase perpendicular à linha de costa, visivelmente vincados pela rede de drenagem.

Dunas (dd) – (espessura indefinida): as dunas definem edifícios dunares mal conservados, uns protegidos pela vegetação e outros destruídos pela ação antrópica. Formam com as Areias-hidro eólicas as Areias da Gândara.

Areias eólicas (s.l) (ae) – (espessura indefinida): areias finas, no geral bem calibradas, com fração silto-argilosa inferior a 10%, apresentam por vezes certa imaturidade e heterogeneidade, com seixo pequeno, subanguloso a anguloso, disperso. Tem origem secundária, quer por origem eólica ou transporte aquático.

Areias hidro-eólicas (ahe) - (1 ± 3m): são areias finas, no geral bem calibradas que se consideram terem sido depositadas em meio subaquático, embora com transporte eólico. Na Gândara, constituem os solos ferros-húmicos ou podzólicos das áreas

interdunares, Segundo Almeida (1997), são solos bastante consolidados, a partir dos 40 ou 50cm de profundidade acumulam se óxidos de ferro que lhes conferem uma tonalidade acastanhada, que apresenta por vezes uma dureza assinável dando a designação a este horizonte de "surraipa" ou "saibro negro".

Areias da Gândara – (espessura indefinida): areias médias a finas, com abundância de grãos de dimensão superior a 0,5mm, com pequenas percentagens de limo e de argila, areias bem calibradas, o vento foi o agente responsável pela sua acumulação, facto confirmado pela abundância de seixos eolizados espalhados pela região.

Plistocénico e Pliocénico

Areias de Cantanhede (Q_{Ca}) – Plistocénico (10 ± 5 m): integram, com as Areias de Arazede, a “Plataforma de Cantanhede-Mira” (Carvalho, 1952, 1964). A nível de Quiaios esta unidade é formada por areias e areões amarelos, mediantemente calibrados com lenticulas de seixo rolado e, também, de cascalheiras calcárias com lenticulas de areias eólicas ou areno pelíticas.

Areias de Arazede (Q_{Az}) – Pliocénico sup. e Plistocénico (15 ± 5 m): são definidas como sedimentos das “praias levantadas” e num sentido global correspondem a quartzarenitos a arcosenitos médios a grosseiros, de cor no geral amarela-acastanhado, submaturos, entrecruzados com lenticulas e/ou feixes de seixos pequenos, bem rolados. Situam-se entre os 75m e os 95m de cota em Poço Saibro, Vale Saramago e Carapeto, e são constituídos por grés grosseiro rico de seixo fino, muito fino bem rolado de quartzo e quartzito e em Poço Saibro associam-se na base com raros calhaus de grés macroscopicamente semelhante ao “Grés do Buçaco”.

Areias da Cordinhã e Cascalheiras dos Gordos (P_{Co}/P_{Go}) – Neogénico: Pliocénico Superior-Plistocénico (15 ± 5 m): as Areias da Cordinhã integram-se na denominada “Plataforma de Murte-de-Cordinhã” são quartzarenitos finos a muito finos e bem calibrados, de cor amarelo-torrado, por vezes com alguma mica e, no geral, com seixo pequeno (amêndoa) em finas lenticulas ou cordões. Sucedem-lhe, arcosenitos a quartzarenitos grosseiros conglomeráticos, com cascalheiras e seixos da “Plataforma de Gordos-Meco”, são considerados de origem fluvial. As

areias apresentam 70% a 90% de fração silto-arenosa fina, a cascalheira apresenta uma composição mineralógica predominante em caulinite.

Paleogénico e Miocénico Indiferenciados

Sob as unidades arenosas do plio-quadernário ocorre uma unidade do Paleogénico e Miocénico Indiferenciados.

Unidade Argilo Gresosa e Conglomerática do Bom Sucesso (ϕM_Q) – Paleogénico e Miocénico Indiferenciados ($30 \pm 10m$): apresentam-se com litofácies arenítica, com seixos e cascalheiras, subangulosas e sub roladas, mal calibradas. As estruturas sedimentares são entrecruzadas e a cor, é no geral, esbranquiçadas. Fração argilosa, inferior a 10%, é predominantemente caulínica. “A Norte do Mondego, esta unidade encontra-se dispersa em regra por manchas descontínuas, em torno de Queridas” (Almeida., 1995, p. 63).

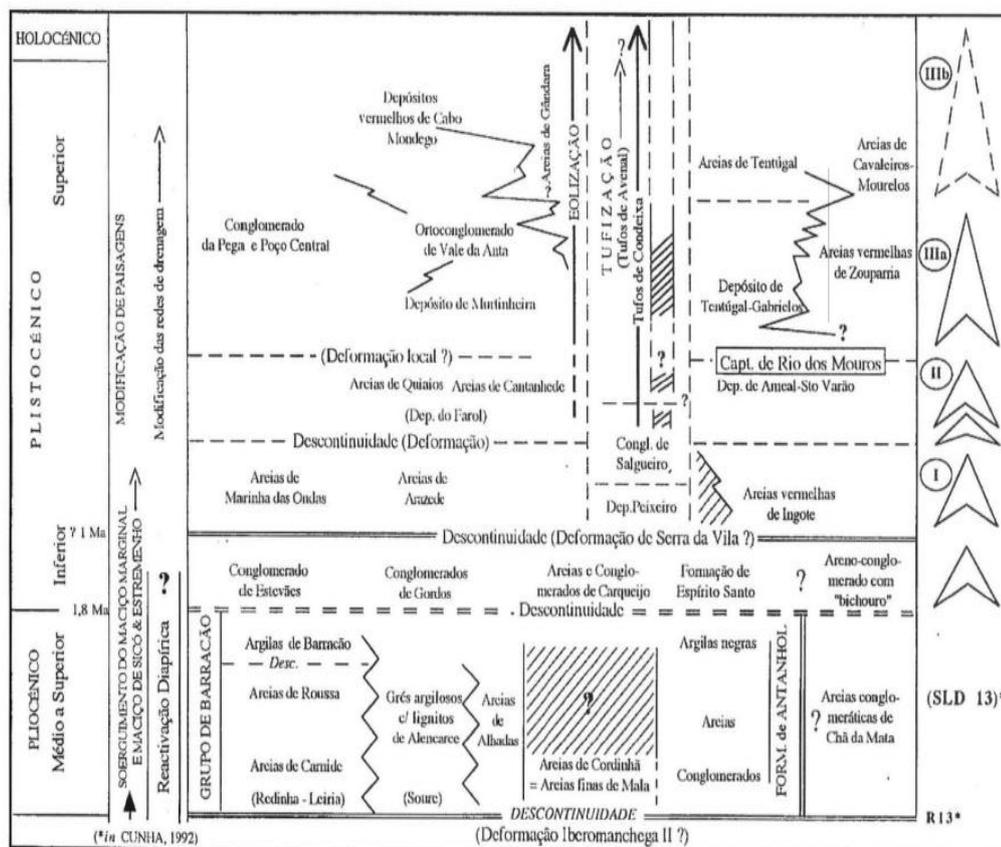


Figura 4.8: Unidades litostratigráficas do Pliocénico e Quaternário do Baixo Mondego (Soares, 1999).

Cretácico

O Cretácico, que decorre aproximadamente entre os 100,5M.A. e os 66M.A., isto é, do Aptiniano ao Maastrichtiano, na região em estudo está representado maioritariamente por arenitos e argilas e por uma pequena percentagem de grés argilosos e/ou quartzosos e carbonatos. O final do Cretácico é representado por uma lacuna estratigráfica.

Arenitos e Argilas de Viso (C^2_{Vi}) – Campaniano e Maastrichtiano (130 ± 20m): são constituídos predominantemente por fácies pelíticas de tom avermelhado, estrutura maciça, por vezes, argilo-margosa, com algumas camadas carbonatadas e por fácies arenítica, no geral contêm uma componente fina e bem calibrada (B.P. Barbosa *et al.*, 1988). É o equivalente dos Arenitos e Argilas de Taveiro e Arenitos e Argilas de Aveiro.

Grés de Oiã (C^2_{Oi}) – Turoniano (20 ± 10m): são quartzarenitos e arcosarenitos, médios a finos, com matriz silto-argilosa e no geral bem consolidados. São frequentemente caracterizados pelas suas manchas com uma tonalidade vermelha ferruginosa, violeta e amarelada. Contêm estruturas sedimentares entrecruzadas, no geral, curvilíneas, com seixo subanguloso na base de sulcos ou com enchimentos pelíticos lenticulares.

Grés de Furadouro (C^2_{Fu}) – Cenomaniano sup e Turoniano (10 – 20m): corresponde a uma unidade detrítica, pouco espessa, em que a abundância em minerais micáceos é uma das principais características macroscópicas. Articula-se em duas subunidades: (1) a inferior é dominada por termos gresosos finos a muito finos, essencialmente quartzareníticos e micáceos; (2) na superior abundam termos grosseiros a muito grosseiros, com tendência subarcosarenítica a arcossarenítica.

Calcários Apinhoados de Costa d'Arnes (C^2_{Te}) – Cenomaniano médio a Turoniano inferior (10 – 65m): consiste numa sucessão de níveis carbonatados, da base para o topo, grés margosos, margas gresosas e calcários margo-gresosos com fósseis abundantes, calcários apinhoados com amonóides e uma fauna bentónica muito diversificada. Os calcários apinhoados estendem-se até aos níveis superiores da formação, intercalando-se com calcário compacto de cor creme. A espessura varia

lateralmente, contendo valores máximos a Ocidente. Com é uma formação mais dura que as encaixantes normalmente surge saliente na paisagem (Almeida., 1995).

Figueira da Foz (C¹⁻²_{Cr}) – Aptinano superior e Cenomaniano médio (50 – 230m): unidade sedimentar de natureza detrítica, constituída por quartzarenitos a arcossarenitos grosseiros a muito grosseiros, composto por cascalheiras e seixos quartzosos/pelíticos, mal calibrados, com presença de níveis argilosos avermelhados. Define-se por apresentar estruturas internas (estruturas entrecruzadas e curvilíneas) (Barbosa *et al.*, 1998). As tonalidades predominantes são a esbranquiçada e o acinzentado. Na base, assenta em discordância sobre as unidades do Jurássico superior. Segundo Dinis (2001), esta formação contém intercalações carbonatadas, indicando uma influência marinha, especialmente na área distal (oeste) e na sua porção superior.

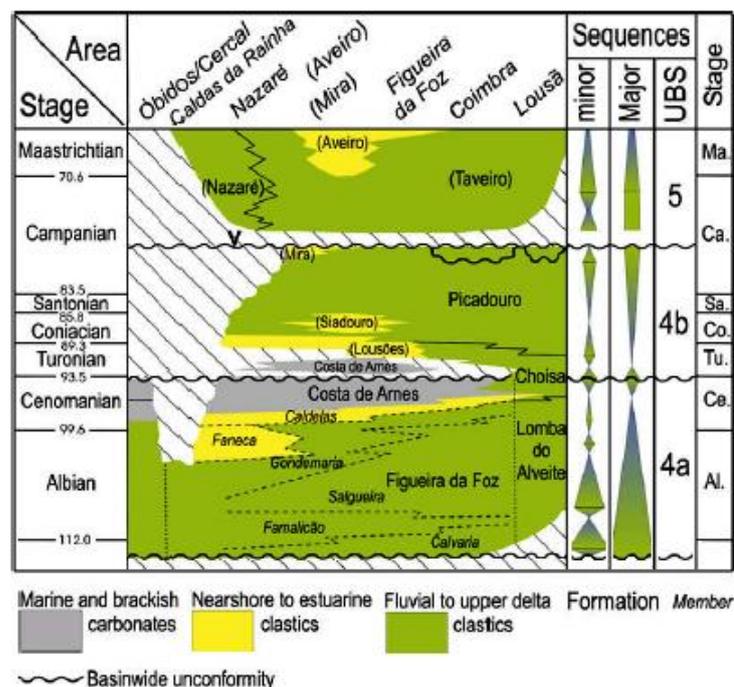


Figura 4.9: Unidades litostratigráficas do Cretácico da margem ocidental Portuguesa, da região centro e norte. Unidades informais entre parênteses. Triângulos: azul – fase transgressiva; verde – fase regressiva. UBS: descontinuidades bacinal de limites de seqüências, após Cunha e Pena dos Reis (1995) (adaptado Dinis, 2008).

Em seguida, apresentam-se fotografias de afloramentos de algumas das Formações e Unidades acima descritas.



Figura 4.10: Areias hidro-eólicas (ahe) – Fontinhas, Ferreira-a-Nova.



Figura 4.11: Areias de Cantanhede (Q_{Ca}) – Azenha Nova, Ferreira-a-Nova.



Figura 4.12: Unidade Argilo-Gresosa e Conglomerática da Nossa Senhora do Bom Sucesso (ϕM_Q) – Ferreira-a-Nova.



Figura 4.13: Areias da Cordinhã (P_{Co}) – Gatões.



Figura 4.14: Arenitos e Argilas do Viso (fáceis arenítica) (C^2_{vi}) – Azenha da Amieira, Moinhos da Gândara.

Para complementar este sub-capítulo, construiu-se dois cortes geológicos, a partir dos dados recolhidos no campo e na pesquisa bibliográfica. A elaboração destes cortes, permite uma visualização da disposição das camadas da relação entre as diferentes unidades até a uma certa profundidade. A Figura (4.15) indica a localização espacial dos cortes, e na Figura (4.16) estão representados os cortes geológicos.

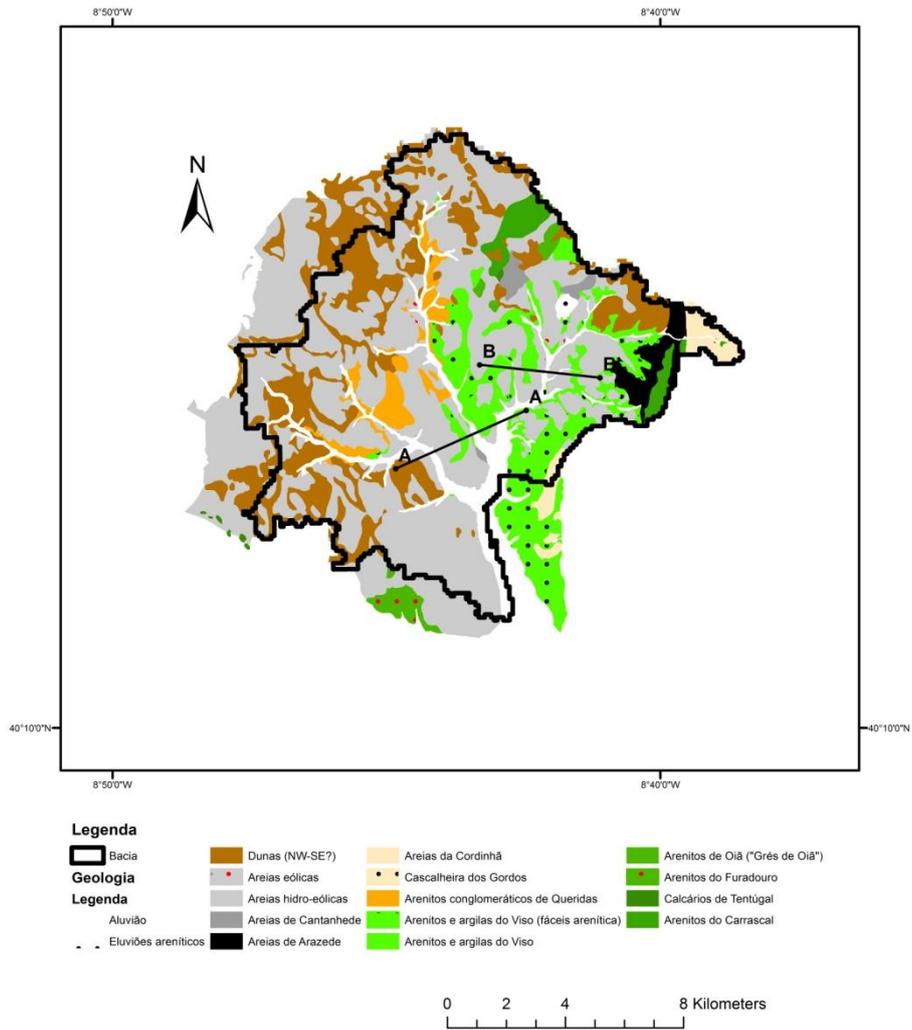
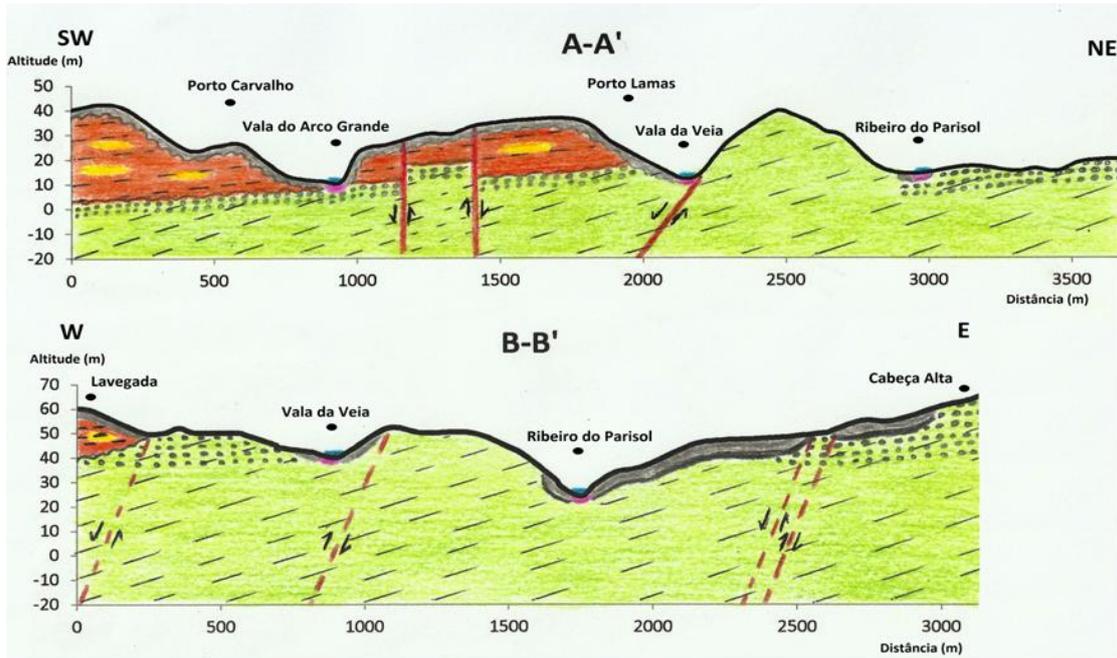


Figura 4.15: Mapa Geológico da região estudo (criado no *software* ArcGIS 10.2.2, a partir do ficheiro das Cartas Geológicas de Portugal, escala 1:50000, Folhas 19-A Cantanhede e 19-C Figueira da Foz, LNEG, 2016) com a localização dos cortes geológicos A-A' e B-B'. As cores das unidades estão de acordo com a carta 19-A Cantanhede 1ª Edição 2008.



LEGENDA Cortes Geológicos

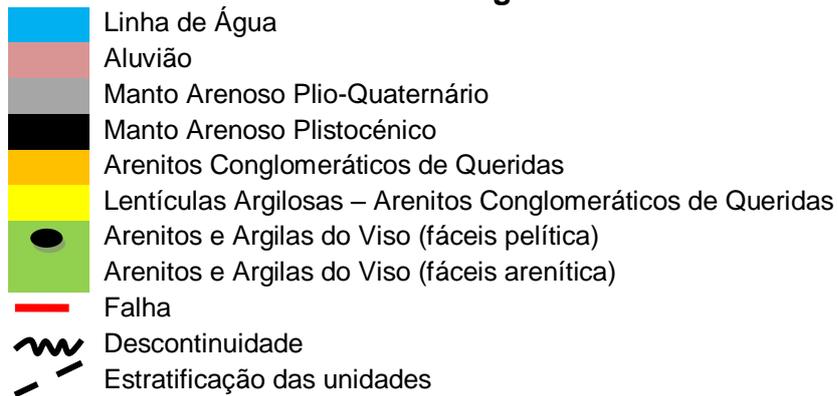


Figura 4.16: Cortes transversais em algumas linhas de água da bacia em estudo. Os cortes foram feitos à mão, com adaptações com utilização de *software*. Estratificação das unidades: Arenitos e Argilas do Viso, N°300°W, Arenitos Conglomeráticos de Queridas, N°275°W, estes dados foram retirados da notícia explicativa da carta 19-A Cantanhede e de relatórios de furos. As terminologias e cores das unidades estão de acordo com a carta 19-A Cantanhede 1ª Edição 2008.

4.4 Tectónico-estrutural e Geomorfológico

O domínio em análise insere-se na região da Gândara. Esta região da faixa litoral da Orla Mesoceno-zóica Ocidental, situa-se a norte da Serra da Boa Viagem, a ocidente do meridiano de Murte de e a sul do Vale do Vouga. Fazendo parte da Fachada Litoral Espinho-Quiaios, foi definida por Dinis (2004) como um dos três setores da Plataforma Litoral. É um setor abatido, cujos principais limites estruturais na região em estudo são o eixo do anticlinal Tocha-Mogofores a norte, o eixo estrutural Arunca-Montemor-Palhaça a oriente, a falha de Quiaios (cavalgamento da Serra da Boa Viagem) a sul (Fig. 4.17).

A morfologia da região é desenvolvida e controlada a partir de três fatores principais: as transgressões marinhas plio-quaternárias, a tectónica e a litologia (Almeida., 1997).

O primeiro aspeto morfológico relevante é a monotonia plana. Esta aparência é bem evidente quando se observa a partir dos pontos de vigia que se situam ao longo da Serra da Boa Viagem, Serra das Alhadas e Serra de Castro.

Curiosamente, “Choffat sugeriu que o termo Gândara fosse utilizado para designar as regiões planas com solo arenoso fino, cuja morfologia lembrasse a morfologia das Landes da Gasconha (França)” (Soares., 1964).

A Gândara é constituída essencialmente por solos arenosos eólicos, a que não faltam dunas, “levando a que nesta superfície plana por vezes se observe ligeiras ondulações, as dunas que ainda são possíveis de observar deduzem que os ventos dominantes da sua formação seriam dos quadrantes W ou oeste e Noroeste” (Almeida., 1997). Este manto de areias desaparece para leste do meridiano de Cantanhede.

A Gândara é delimitada a sul e sudoeste pela Serra da Boa Viagem e Serra das Alhadas, e prolonga-se para norte até próximo da região de Aveiro e para oriente descrevendo um arco na direção nordeste que passa por Santana, Arazede, Lemedo, Cadima” (Carvalho., 1964) sendo controlada pelo eixo estrutural Arunca-Montemor-Palhaça. Contém uma largura máxima de aproximadamente 17km. Segundo Almeida (1997) a planície é perturbada para oriente quando surgem pequenos vales de subafluentes do Mondego; são vales de vertentes bastante abruptas e de fundo plano, por onde percorrem diversos ribeiros, afluentes do Rio

Foja; quando estes vales contactam com os arenitos mais grosseiros (materiais mais resistentes) do Cretácico e Terciário, adquirem a normal feição convexa-côncava.

De acordo com Ramos (2008) nos terrenos sobre os arenitos, o padrão morfológico dos vales revela uniformidade. A maior parte apresenta um perfil longitudinal caracterizado por três porções morfológicamente distintas. Uma porção superior côncava e transversal larga e em berço; uma porção intermédia de vale encaixado, em V, por vezes convexo longitudinalmente; uma porção inferior com fundo plano.

Os terrenos da Gândara na região em estudo são delimitados a ocidente pelas Lagoas de Quiaios, Lagoa da Salgueira, Lagoa do Teixoeiro, Lagoa da Vela, Lagoa do Paial, Lagoa das Braças e Lagoa das Toiças. Estas encontram-se em posições mais elevadas (10 a 40 de cota) relativamente à faixa litoral. Estas massas de água implantam-se em sectores deprimidos com substrato impermeável do Quaternário e/ou do Cretácico (Dinis., 2004).

Principais direções elementos ou alinhamentos

A área em estudo é afetada particularmente por três alinhamentos estruturais: NW-SE; NE-SW e N-S, ocorrendo ainda o alinhamento WSW-ENE (Fig. 4.17).

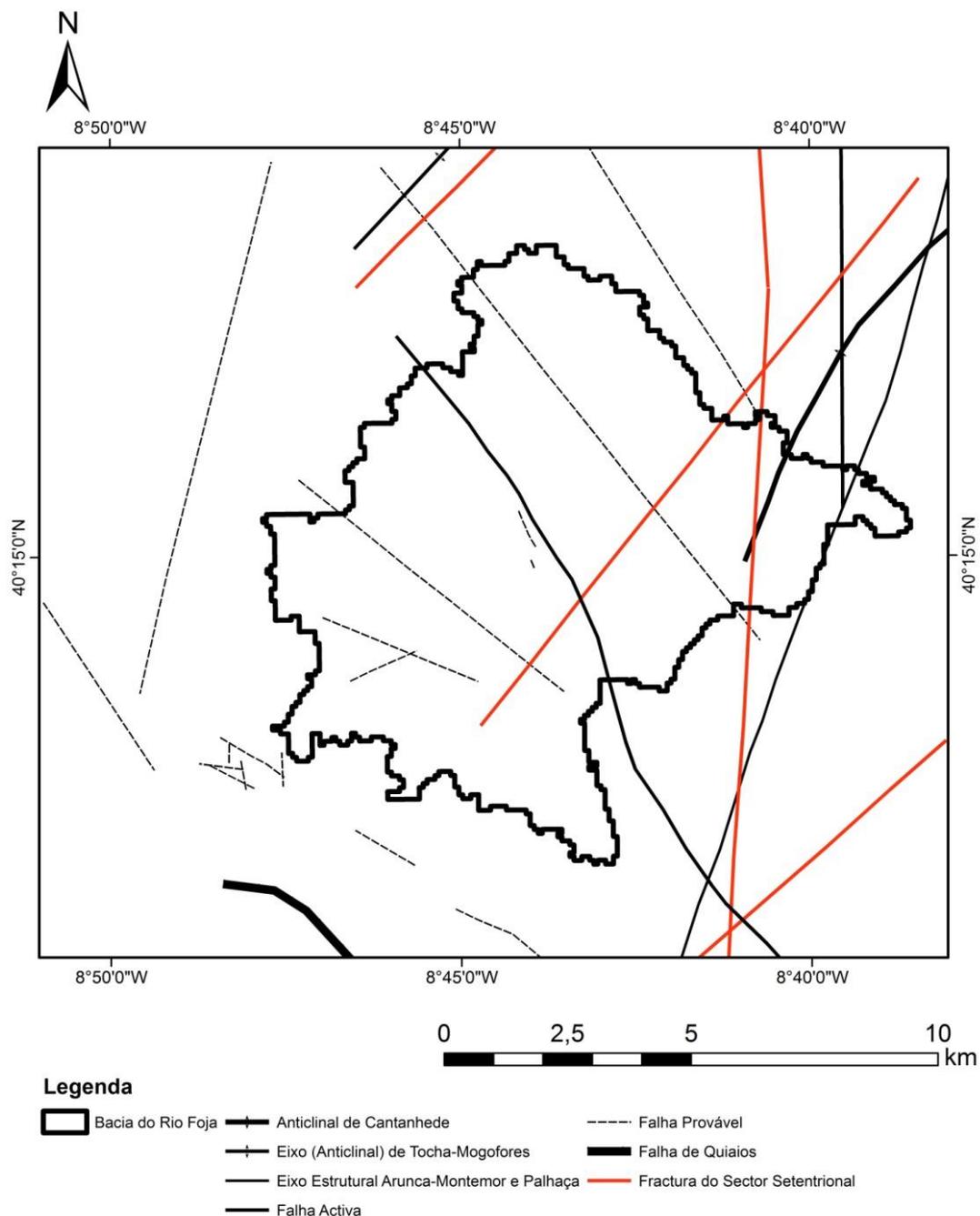


Figura 4.17: Mapa Estrutural da região em estudo (criado no software ArcGIS 10.2.2, a partir dos dados das Cartas Geológicas 19-A Cantanhede e 19-C Figueira da Foz e de Castilho, 2008).

A direção NW-SE apresenta comportamento fraturante. Nesta família evidencia-se a Falha de Quiaios: falha inversa com orientação $N75^{\circ}E, 70^{\circ}S$; contudo a presença de ondulações torna-a subvertical nas proximidades de Quiaios. Esta estrutura limita a norte a Serra da Boa Viagem. Próximo do cemitério de Quiaios é possível observar o contacto por falha dos calcários do Lias com as areias plistocénicas. A

movimentação desta falha terá tido início no Jurássico superior e prolongou-se até ao Quaternário. Um dos possíveis agentes desta movimentação terá sido o diapirismo, uma vez que é ao longo desta direção (NW-SE) que se inserem as estruturas diapíricas que afetam a região.

Na região de Viso-Queridas é possível observar diversos alinhamentos NW-SE, nomeadamente os de Gatões-Tocha, Resgatados-Barrins e o de Queridas.

O domínio estrutural correspondente ao quadrante NE-SW, da bacia hidrográfica estudada é definido pelo eixo do anticlinal Tocha-Mogofores e pelo anticlinal de Cantanhede.

O eixo Tocha-Mogofores é de difícil visualização no terreno devido à cobertura arenosa, mas reconhece-se pela presença de material sedimentar do Jurássico inferior na região do núcleo. Segundo Dinis (2004; citado em Castilho, 2008), este constitui um acidente estrutural que resulta de deformação frágil e apresenta uma componente de desligamento. É intercetado por fraturas de direção aproximada NW-SE, N-S ou NNE-SSW, responsáveis por descolamentos subverticais com basculamento de blocos.

A direção N-S é representada particularmente bem pelo eixo estrutural Arunca-Montemor-Palhaça. Trata-se de um anticlinal falhado no seu flanco ocidental. É uma estrutura bastante importante na evolução sedimentar da região, é responsável pela orientação N-S dos afloramentos carbonatados (neste caso dos Calcários Apinhoados de Costa D'Arnes), e é igualmente responsável pelo afundimento da bacia de Viso-Queridas. As fraturas associadas a este eixo revelam-se num desnível topográfico de cerca de 20m, bem visível entre Cantanhede e Montemor-o-Velho, com descida do bloco ocidental acompanhada por um arrepiamento responsável por estruturas em monoclinal (Barbosa, 1981; Dinis, 2004; Castilho, 2008).

O eixo Arunca-Montemor-Palhaça e a Falha de Quiaios convergem a sudoeste de Montemor-o-Velho, mais precisamente no diapiro de Ereira, formando um gabren e uma depressão que se expendem para, designados por “Triângulo da Bouça”, e por onde se teria intrometido o mar, de modo a trazer o litoral bastante para o interior, ficando a Serra da Boa Viagem – Alhadas a constituir uma eventual ilha (Almeida, 1997).

O anticlinal de Cantanhede é uma estrutura com eixo orientado NE-SW, e é constituído maioritariamente por formações carbonatadas do Jurássico médio que inclinam 10 a 15° para SE. É identificado facilmente por fotografia aérea, sobretudo

entre Cadima e Ourentã. Segundo Castilho (2008), é uma estrutura dissimétrica com o flanco menos inclinado que o flanco, estando o seu eixo ligeiramente inclinado para WSW, em cuja zona nuclear afloram sedimentos do Jurássico inferior. É cortado por falhas com orientação NW-SE e pelo eixo Arunca-Montemor-Palhaça (Dinis, 2004), que também interrompe o sinclinal Pena-Tentúgal.

Segundo Rocha (1981), as estruturas W-E são representadas, a sul pela Flexura do Mondego, ou seja, pela falha do vale do Mondego e pela estrutura anticlinal do Pincho, onde se observa inversão da polaridade estratigráfica no Cretácico inferior, e a N pela falha provável, do vale da ribeira de Varziela, que sugere um pequeno desligamento direito no anticlinal Tocha-Mogofores.

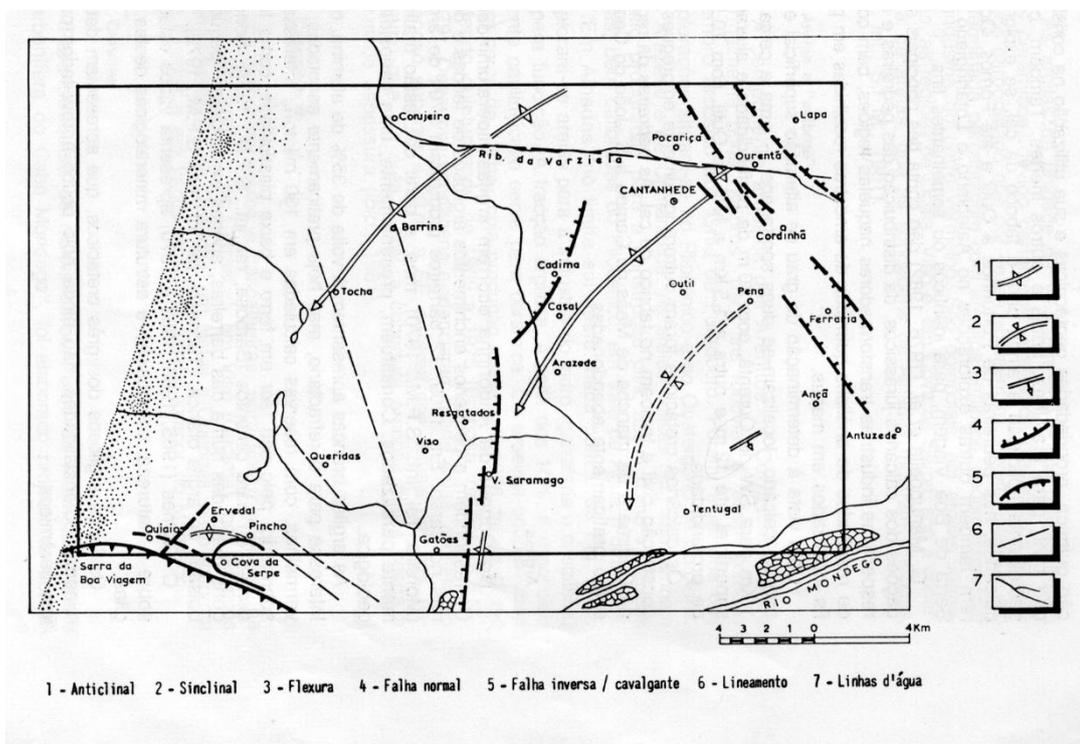


Figura 4.18: Esboço estrutural do setor Sul da região da Gândara (retirado da Notícia Explicativa da Carta Geológica 19-A (Cantanhede)).

4.5 Tipos, Uso e Ocupação de Solos

4.5.1 Tipos de solo

Os solos na região em análise são o resultado da conjugação de diversos fatores, entre os quais, o clima, a rocha-mãe e o coberto vegetal.

Os solos mais característicos da Gândara, segundo a Carta de Solos (Atlas do Ambiente de Portugal Continental, III.1, de 1978), são os podzóis órticos associados a cambissolos dístricos, geralmente denominados genericamente como podzol. Estes iniciam-se nos “Campos do Mondego” e estendem-se pela Gândara até Aveiro. Na zona em estudo é possível observar ainda os fluviossolos êutricos, que ocorrem no plaino aluvial do Mondego e nas suas derivações. Assim, os solos aluvionares e os cambissolos êutricos situam-se na região mais a leste da Bacia do rio Foja, onde a litologia torna-se mais diversificada.

Os podzóis são os solos que contêm e apresentam uma distribuição mais generalizada na região.

4.5.2. Uso e Ocupação do solo

Na presença de coberturas arenosas e de fácil infiltração de líquidos, os solos desempenham um papel de relevância na hidrogeologia local, uma vez que estão fortemente associados a possíveis focos e zonas de contaminação das águas aquíferas.

Para a Bacia Hidrográfica do Rio Foja fez-se um mapa relativo ao uso e ocupação do solo (Fig. 4.19) tendo como base os elementos referenciados no Sistema Nacional de Informação e Ambiente (SNIA, APA, 2012).

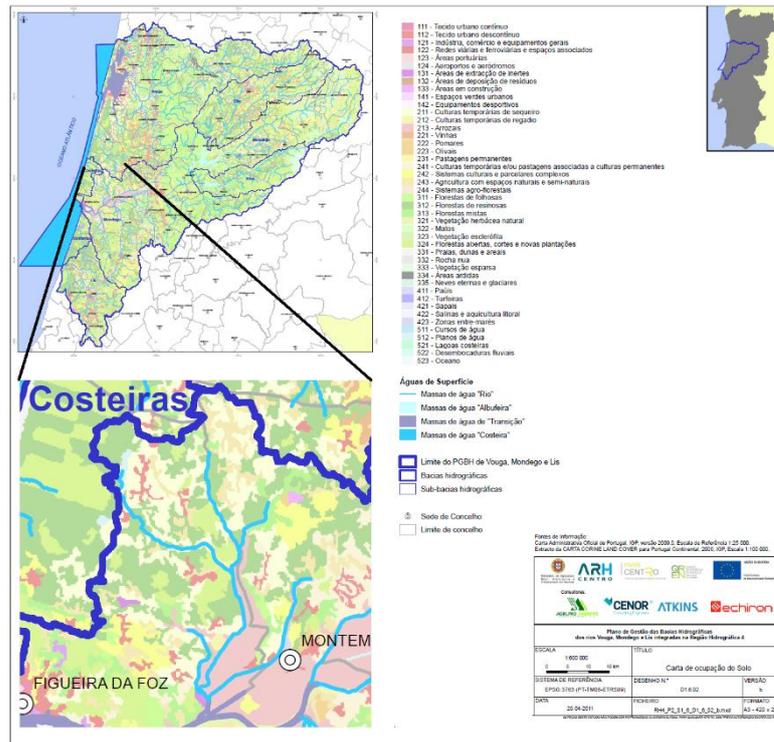


Figura 4.19: Carta do uso e ocupação do solo na região em estudo (mapa criado com base em dados do Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis, APA, 2012).

No domínio em estudo a superfície está ocupada, para além das zonas habitacionais, com terrenos agrícolas onde se realizam atividades de pecuária, produção de leite e cultivo de diversas espécies hortícolas, por exemplo a cultura do arroz e do milho. Ocorre atualmente o desenvolvimento de outras espécies hortícolas, nomeadamente morango, melancia, melão, malaguetas, etc. Nesta região à apicultura também é uma importante indústria. Quanto à ocupação com estruturas industriais, destacam-se as empresas de reciclagem, ligadas ao ramo da eletricidade e de construção civil.

O manto florestal ocupa vastos domínios; na última década tem sido alterado e atualmente o estrato arbóreo e subarbóreo é dominado pelo eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill), enquanto que o pinheiro bravo (*Pinus pinaster* Aiton) tem perdido relevância.

5. Capítulo V - Hidrogeologia Local

No presente capítulo apresenta-se a caracterização hidrogeológica da área em estudo, nomeadamente: (1) os dados resultantes do reconhecimento e caracterização *in situ* de pontos, linhas e massas de água locais; (2) a caracterização, definição e classificação dos processos físico-químicos gerais decorrentes da interação água-rocha; (3) classificação hidrogeológica das formações geológicas e (4) definição do modelo hidrogeológico conceptual da bacia hidrográfica em estudo.

5.1. Reconhecimento e caracterização *in situ* de pontos, linhas e massas de água

Após a definição das principais características físicas da zona em estudo – geologia, tectónica, geomorfologia, hidrogeologia, clima, hidrografia e topografia - considerou-se fundamental a realização do reconhecimento de todos os pontos e linhas de água locais.

Numa fase posterior efetuou-se uma seleção dos pontos de água reconhecidos com base nos seguintes critérios: (1) os pontos selecionados deveriam abranger a maior área possível da bacia; (2) os pontos teriam uma relação clara com a ocorrência de estruturas geológicas identificadas, e (3) os pontos selecionados permitiriam a recolha de dados *in situ*.

5.1.1. Pontos de água locais

Na zona estudada identificaram-se 86 pontos de água. Dos 86 pontos identificados selecionaram-se 78 para desenvolvimento de medições de campo:

- 14 poços (P);
- 36 exurgências (ou nascentes – N);
- 2 charcos;
- 26 locais em linha de água perene (L);

Na Figura 5.1 e na Tabela 5.1 apresentam-se as coordenadas dos pontos de água seleccionados para as medições e análises *in situ*.

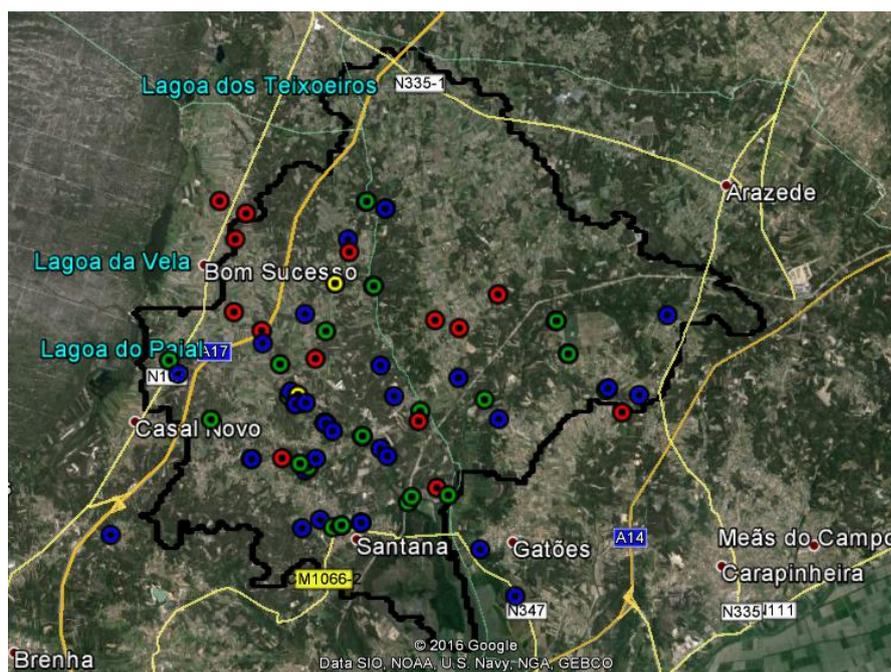
Tabela 5.1: Coordenadas geográficas e altitude (retiradas do Google Earth) dos pontos de água utilizados nas campanhas de aquisição de dados.

Ponto de Água		Latitude	Longitude	Cota (m)	Ponto de Água		Latitude	Longitude	Cota (m)
Ref ^a	Tipo				Ref ^a	Tipo			
1.17	P	40,25934	-8,77279	50	3.8	NC	40,21294	-8,71160	37
1.1	P	40,25399	-8,76559	48	3.9	NC	40,20419	-8,70289	38
1.12	N	40,26764	-8,76495	45	4.1	P	40,27844	-8,77616	51
1.13	LA	40,24770	-8,76101	38	4.7	N	40,27833	-8,77694	51
1.2	NC	40,24237	-8,75846	34	4.8	NC	40,27608	-8,76922	55
1.3	C	40,24194	-8,75659	33	4.2	P	40,29359	-8,77217	56
1.14	LA	40,24116	-8,75779	25	4.3	C	40,26304	-8,74767	42
1.18	P	40,24025	-8,75716	23	4.4	N	40,25719	-8,75506	45
1.4	N	40,24013	-8,75707	23	4.6	LA	40,25456	-8,74794	37
1.5	N	40,24043	-8,75465	28	4.5	P	40,24879	-8,75232	44
1.6	P	40,23693	-8,75080	19	5.9	LA	40,24829	-8,78814	46
1.7	N	40,23662	-8,74972	17	5.1	NC	40,24565	-8,78609	45
1.15	LA	40,23670	-8,74968	15	5.10	LA	40,23703	-8,77780	37
1.19	LA	40,23511	-8,74767	18	5.2	NC	40,22970	-8,76779	33
1.8	N	40,23408	-8,74047	15	5.6	LA	40,22988	-8,76806	31
1.16	LA	40,23420	-8,74064	16	5.11	LA	40,22988	-8,76797	31
1.9	NC	40,23208	-8,73453	18	5.3	P	40,22994	-8,76036	21
1.10	NC	40,23042	-8,73378	13	5.4	N	40,22765	-8,75463	19
1.20	LA	40,22284	-8,72834	6	5.7	LA	40,22830	-8,75388	15
1.11	P	40,22453	-8,72233	10	5.5	NC	40,22968	-8,75179	19
2.1	NC	40,21530	-8,80214	87	5.8	LA	40,22898	-8,75152	15
2.2	NC	40,21684	-8,75525	46	6.1	NC	40,25013	-8,69045	53
2.3	N	40,21853	-8,75089	37	6.5	LA	40,25003	-8,69033	53
2.6	LA	40,21696	-8,74780	31	6.2	N	40,25629	-8,69347	37
2.4	NC	40,21739	-8,74566	27	6.6	LA	40,25623	-8,69324	38
2.7	LA	40,21734	-8,74563	27	6.3	NC	40,23766	-8,70721	34
2.5	NC	40,21771	-8,74067	20	6.7	LA	40,24129	-8,71085	13
2.8	LA	40,21792	-8,74082	20	6.4	NC	40,24536	-8,71721	34
2.9	LA	40,22167	-8,72939	5	7.1	NC	40,25774	-8,66591	87
3.1	N	40,27849	-8,74043	41	7.2	NC	40,24227	-8,67269	80
3.10	LA	40,27859	-8,74005	40	7.3	P	40,23910	-8,67705	82
3.2	N	40,27139	-8,74459	48	7.4	NC	40,24369	-8,68052	66
3.3	P	40,26901	-8,74423	44	7.5	LA	40,24326	-8,68101	63
3.4	NC	40,26266	-8,73834	27	8.1	NC	40,27720	-8,73547	44
3.11	LA	40,26261	-8,73816	26	8.5	LA	40,27733	-8,73543	43
3.5	N	40,24757	-8,73637	27	8.2	NC	40,26119	-8,70766	54
3.6	N	40,24175	-8,73300	23	8.3	P	40,25625	-8,72303	63

3.12	LA	40,23900	-8,72652	13	8.4	P	40,25474	-8,71709	54
3.7	P	40,23713	-8,72693	17					
3.13	LA	40,22314	-8,71950	5					

P- Poço LA – Linha de Água N – Nascente C – Charco

Nota: As referências foram feitas com base em grupos construídos no início da dissertação, com base em vales, cada vale funcionava como um grupo principal, depois a numeração sequencial teve como hierarquia do topo para base, nascentes no topo e na base os restantes pontos de água.



Legenda
 Bacia do rio Foja
● Pontos de Água
● Poços
● Exsurgências
+ Charcos
+ Linhas de Água

Figura 5.1: Localização dos pontos de água selecionados para as campanhas de aquisição de dados *in situ* (projectão em imagem *Google Earth*, 2016).

Os pontos selecionados apresentam as seguintes características gerais:

Poços

Nestes realizou-se de forma sistemática uma caracterização geral (diâmetro, altura do muro, profundidade total e a profundidade da água). Assim, foi possível determinar as variações espaciais e temporais do nível freático na bacia. O conjunto de poços selecionados apresenta uma profundidade média de 4m, embora exista um poço em que a profundidade chega aos 9m, o diâmetro médio é de cerca 2,5m.

Exsurgências

Correspondem a pontos localizados na superfície terrestre onde ocorre descarga natural e mais ou menos concentrada de uma massa de água subterrânea ou aquífera. Nas 36 exsurgências selecionadas, efetuaram-se as seguintes medições, parâmetros físico-químicos (pH, ORP (mv), Eh, (mv), pe, TH₂O (°C), CE (μS/cm), CO₂ (mg/L) e Alcalinidade (mg/L)) e em 16 exsurgências medição de caudal.

Charcos

A maioria dos charcos ocorrentes na região são formados a partir de antigas e atuais explorações de inertes. A sua dimensão é muito variada dependendo da extensão da exploração. Os dois charcos usados no estudo foram construídos com a finalidade de acumulação de águas que depois poderiam ser utilizadas para irrigação. As suas dimensões são menores que as dos poços e embora possam ter alguma profundidade, nunca chegam a atingir os valores dos poços. Estes não apresentam revestimento.

Linhas de água

No domínio em estudo ocorrem quatro cursos de água mais importantes: Ribeiro do Zurrão, Ribeiro das Barreiras, Vala da Veia e Ribeiro do Parisol; constituem os principais afluentes do rio Foja. Todos eles são cursos de água perenes. Implantados em vales de vertente abrupta, caracterizados por possuírem nas zonas marginais uma intensa vegetação e campos agrícolas. A água que nelas circula é usada para regadio, pastorícia e cultivo de espécies agrícolas, sobretudo à aveia, cevada, milho e na zona da Quinta de Foja o arroz.

Nos pontos selecionados ao longo das linhas de água realizaram-se medições de piezometria durante os meses de março e julho.



Figura 5.2: Aspeto geral dos diferentes tipos de pontos de água, nos quais se realizaram campanhas de medição de parâmetros físico-químicos. 1 – Poço (Barreiras); 2 – Exurgência (Azenha da Amieira); 3 – Exurgência (Ferreira-a-Nova); 4 – Poço (Porto Lamas); 5 – Ribeiro das Barreiras (Ferreira-a-Nova).

5.1.2. Medições de campo e Resultados

Durante o período de realização deste estudo efetuaram-se três campanhas de medição dos parâmetros físico-químicos *in situ* nos meses de dezembro de 2015, janeiro e junho de 2016.

Em cada campanha mediram-se os seguintes parâmetros:

- temperatura da água - T;
- temperatura do ar - T_{ar} ;
- pH;
- condutividade elétrica – CE;

- ORP (posteriormente e a partir de cálculo de álgebra, determinou-se o Eh e o pe);
- alcalinidade;
- CO₂;
- profundidade da água nos poços e ribeiras;

Para as determinações *in situ* de T, CE, pH, ORP, pe, Eh e TH₂O foram utilizados aparelhos de leitura multiparamétrica WTW® 340i. Para aquisição de valores corretos e uma margem de erro baixa, os eléctrodos foram calibrados e estabilizados.

Efetuaram-se determinações no campo de alcalinidade (mg/L CaCO₃) e de CO₂ dissolvido, recorrendo a titulações efetuada com tituladores digitais da marca HACH através dos métodos 8203 e 8205.

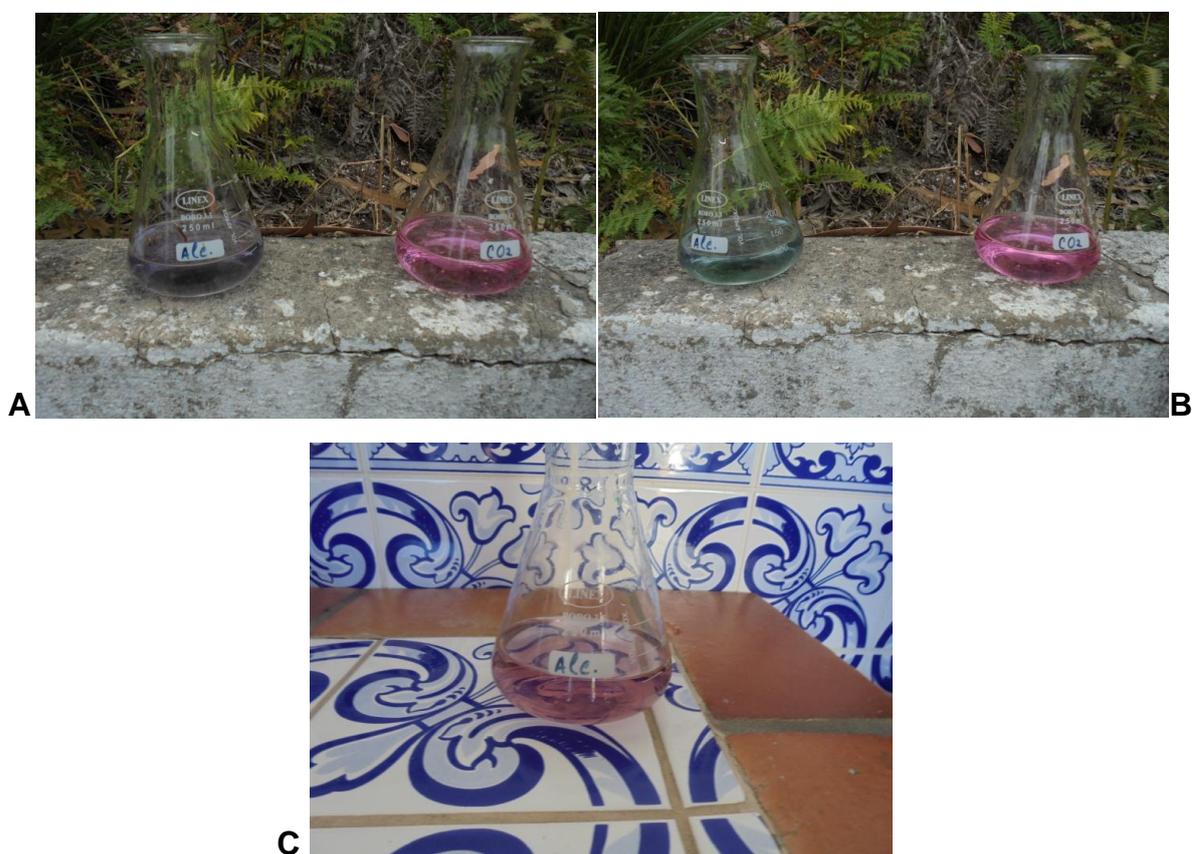


Figura 5.3: A – Balões de Erlenmeyer (medição Alcalinidade e CO₂). Balão de Alcalinidade na fase após colocação do indicador BCG, por isso cor verde. Balão de CO₂ na fase final, ou seja, depois de atingir a cor rosa-claro. B- Balões de Erlenmeyer (medição Alcalinidade e CO₂). Balão de Alcalinidade no ponto em que atinge a cor azul-esverdeado. Balão de CO₂ na fase final, ou seja, depois de atingir a cor rosa-claro. C – Balões de Erlenmeyer (medição Alcalinidade). Balão de Alcalinidade, depois de atingir o último ponto desejado, sendo por isso a cor de água analisada, a cor rosa.

Na Tabela 5.2 apresentam-se os resultados das sucessivas campanhas de medição.

Tabela 5.2: Valores médios dos parâmetros físico-químicos determinados nas campanhas de aquisição de dados *in situ* e outros cálculos através de fórmulas empíricas.

Ponto de Água	pH	ORP (mv)	Eh (mV)	pe	T _{H2O} (°C)	CE (µS/cm)	Alcalinidade (mg/LCaCO3)	CO ₂ (mg/L)
1.17	6,50	135,00	349,00	6,15	13,20	490,00	/	/
1.1	6,98	67,00	281,00	4,88	17,90	512,00	207	18
1.12	6,82	74,00	288,00	5,08	13,40	740,50	/	/
1.13	6,76	61,50	275,50	4,83	15,30	467,33	225	19,2
1.2	6,03	-43,67	170,33	2,97	16,90	251,67	110	84
1.3	6,47	108,67	322,67	5,62	16,97	455,33	300	34
1.14	6,81	43,27	257,27	4,52	15,27	441,67	95	22
1.18	5,04	141,00	355,00	6,27	12,50	332,00	/	/
1.4	4,86	135,67	349,67	6,15	14,37	272,00	4	19,4
1.5	6,67	84,00	298,00	5,26	13,50	379,00	/	/
1.6	7,33	-36,67	177,33	3,15	14,33	391,00	299	17,8
1.7	6,71	90,67	304,67	5,36	14,63	300,00	29	18,6
1.15	6,95	110,33	324,33	5,70	15,40	341,67	97	17,8
1.8	6,95	62,00	276,00	4,87	12,70	443,00	60	22,6
1.16	6,66	157,33	371,33	6,46	18,03	284,33	102	32
1.9	6,70	123,00	337,00	5,90	16,07	176,00	69	54
1.10	5,73	162,67	376,67	6,59	16,37	255,33	17	23
1.19	5,73	149,33	363,33	6,36	15,93	125,00	104	21
1.11	7,12	158,50	372,50	6,48	17,30	312,00	31	36,8
2.1	6,11	160,00	374,00	6,53	16,50	94,00	126	24,2
2.2	6,53	136,33	350,33	6,11	16,57	391,00	50	30
2.3	6,13	46,67	260,67	4,61	14,13	244,67	140	30,8
2.6	6,37	132,33	346,33	6,04	16,80	276,67	21	11
2.4	6,72	135,33	349,33	6,12	15,63	137,33	118	23
2.7	6,46	162,33	376,33	6,56	16,63	284,33	56	33,8
2.5	6,67	146,67	360,67	6,32	15,37	172,33	/	/
2.8	6,62	177,50	391,50	6,89	14,20	348,50	/	/
2.9	6,55	149,00	363,00	6,38	14,55	290,00	/	/
3.1	6,68	162,00	376,00	6,58	15,20	346,00	23	39,8
3.10	5,86	166,00	380,00	6,61	16,93	340,67	142	41,8
3.2	6,93	94,33	308,33	5,40	15,20	534,33	23	39,8
3.3	5,97	169,33	383,33	6,68	16,60	403,00	238	38
3.4	6,79	119,33	333,33	5,79	17,13	405,33	103	50,6
3.11	6,09	179,00	393,00	6,85	16,23	267,00	64	36,2
3.5	6,93	123,67	337,67	5,90	15,70	449,67	29	34
3.6	5,52	149,00	363,00	6,36	15,97	117,33	50	26,8
3.12	5,81	155,00	369,00	6,45	16,57	187,33	82	25

3.7	6,61	115,00	329,00	5,77	15,77	395,67	49	29,4
3.13	6,19	133,67	347,67	6,08	16,30	237,00	87	21
3.8	6,86	137,33	351,33	6,14	15,90	377,33	15	40
3.9	5,36	184,67	398,67	6,96	16,00	328,67	181	31,2
4.1	6,09	185,00	399,00	6,95	16,63	528,00	/	/
4.7	6,47	16,30	230,30	4,09	15,47	388,67	/	/
4.8	5,75	166,00	380,00	6,61	17,00	376,00	/	/
4.2	4,59	218,00	432,00	7,52	17,00	140,00	395	29,8
4.3	7,34	95,80	309,80	5,43	15,40	710,67	56	31,4
4.4	6,24	43,00	257,00	4,49	16,33	303,33	95	22,4
4.6	6,00	122,00	336,00	5,86	16,80	406,00	85	12,2
4.5	6,75	109,47	323,47	5,67	15,87	446,00	172	16
5.9	7,24	133,43	347,43	6,06	16,73	465,67	271	52
5.1	6,87	48,33	262,33	4,61	15,87	551,33	109	27,6
5.10	6,30	203,00	417,00	7,26	17,20	319,33	/	/
5.2	7,16	23,00	237,00	4,15	14,80	352,00	218	23,6
5.6	6,79	95,00	309,00	5,41	15,83	413,33	55	13,8
5.11	7,33	98,00	312,00	5,46	15,50	219,00	/	/
5.3	7,06	103,00	317,00	5,57	15,10	230,00	125	21,2
5.4	7,33	98,00	312,00	5,46	15,50	219,00	12	21,8
5.7	6,63	110,00	324,00	5,66	16,60	419,00	78	19
5.5	5,50	146,67	360,67	6,32	15,87	258,00	110	45,6
5.8	6,83	113,33	327,33	5,72	15,57	314,33	45	26
6.1	6,93	117,00	331,00	5,80	15,77	342,33	90	26,8
6.5	5,66	147,33	361,33	6,30	16,90	252,00	156	27,2
6.2	5,44	120,50	334,50	5,86	16,15	518,00	22	19,4
6.6	6,53	84,50	298,50	5,22	16,95	343,00	348	28,2
6.3	5,70	153,50	367,50	6,44	15,75	197,50	/	/
6.7	6,70	30,50	244,50	4,30	15,20	537,50	112	15,4
6.4	6,93	119,00	333,00	5,84	15,70	313,00	124	19,4
7.1	6,57	123,50	337,50	5,94	14,65	446,50	19	25,4
7.2	5,41	155,00	369,00	6,46	16,00	385,00	61	21
7.3	5,76	139,00	353,00	6,14	17,95	386,50	99	24,2
7.4	6,55	112,50	326,50	5,67	18,45	768,50	505	41,8
7.5	6,06	129,50	343,50	6,02	16,05	397,50	/	/
8.1	6,71	87,00	301,00	5,33	13,20	393,00	12	56,6
8.5	5,43	142,00	356,00	6,24	16,00	284,50	106	17,2
8.2	6,54	124,00	338,00	5,93	15,60	486,00	170	38,4
8.3	6,30	119,50	333,50	5,82	17,00	528,00	124	16,6
8.4	6,95	175,50	389,50	6,82	16,20	392,50	233	101

Nota:

Nos pontos 1.17; 1.18; 1.8; 2.8; 4.7; 4.8; 5.10 e 5.11 só foi realizada a campanha de Dezembro.

Nos pontos 1.12; 1.5; 2.6; 2.7 e 4.7 foram realizadas as campanhas de Dezembro e Janeiro.

Nos pontos 6.3 e 7.5 foi realizada a campanha de Janeiro.

Nos parâmetros de Alcalinidade e CO₂ os pontos assinalados com (/) não foi realizada medição destes mesmos parâmetros.

5.2. Caracterização, classificação e processos físicos

Com o objetivo de avaliar a hidrodinâmica dos principais Sistemas aquíferos que evoluem na área em estudo, fizeram-se medições da profundidade da água nos poços e linhas de água. Para isso utilizou-se uma sonda de nível Geotechnical Instruments DM2.1-30.

Os registos foram efetuados de dois em dois meses, com início em dezembro de 2015 e término em junho de 2016, em pontos de água que não se encontravam em exploração.

Tabela 5.3: Resultados das medições de profundidade de água em poços.

Ponto		Dez		Fev		Abr		Jun	
Ref ^a	Cota (m)	Prof. (m)	NF (m)						
1.6	19	4,82	14,18	4,10	14,90	3,26	15,74	4,00	15,00
1.11	10	3,70	6,30	2,65	7,35	1,03	8,97	2,54	7,46
3.3	44	1,40	42,60	1,15	42,85	0,44	43,56	1,76	42,24
3.7	17	5,60	11,40	4,05	12,95	2,53	14,47	4,05	12,95
"	17	4,00	13,00	2,80	14,20	1,95	15,05	3,25	13,75
4.1	51	3,50	47,50	1,30	49,70	0,36	50,64	1,50	49,50
4.2	56	2,60	53,40	1,30	54,70	0,86	55,14	1,60	54,40
4.5	44	2,40	41,60	1,20	42,80	0,28	43,72	1,41	42,59
5.4	19	0,62	18,38	0,27	18,73	0,10	18,90	0,40	18,60
8.2	54	1,99	52,01	1,09	52,91	1,34	52,66	1,39	52,61

Tabela 5.4: Resultados das medições de profundidade de água em linhas de água.

Linhas de Água	Cota (m)	Prof. Máx. (m)	NF (m) Março	NF (m) Maio	NF (m) Julho
Vala da Veia	25	1,2	0,30	0,25	0,05
Ribeiro das Barreiras	17	1,0	0,10	0,08	0,03
Ribeiro do Zurrão	17	1,3	0,15	0,10	0,05
Ribeiro do Parisol	14	1,1	0,15	0,10	0,07
Vala do Arco Grande	16	1,6	0,35	0,25	0,23
Vala Real	5	1,9	0,30	0,25	0,12

Com base nos resultados piezométricos obtidos nas campanhas de Dezembro-2015 e Janeiro e Junho-2016, relativa aos aquíferos na área em estudo, construiu-se uma

carta genérica do fluxo subterrâneo no domínio em análise (Fig. 5.4). Esta permite uma melhor caracterização hidrodinâmica dos aquíferos no local.

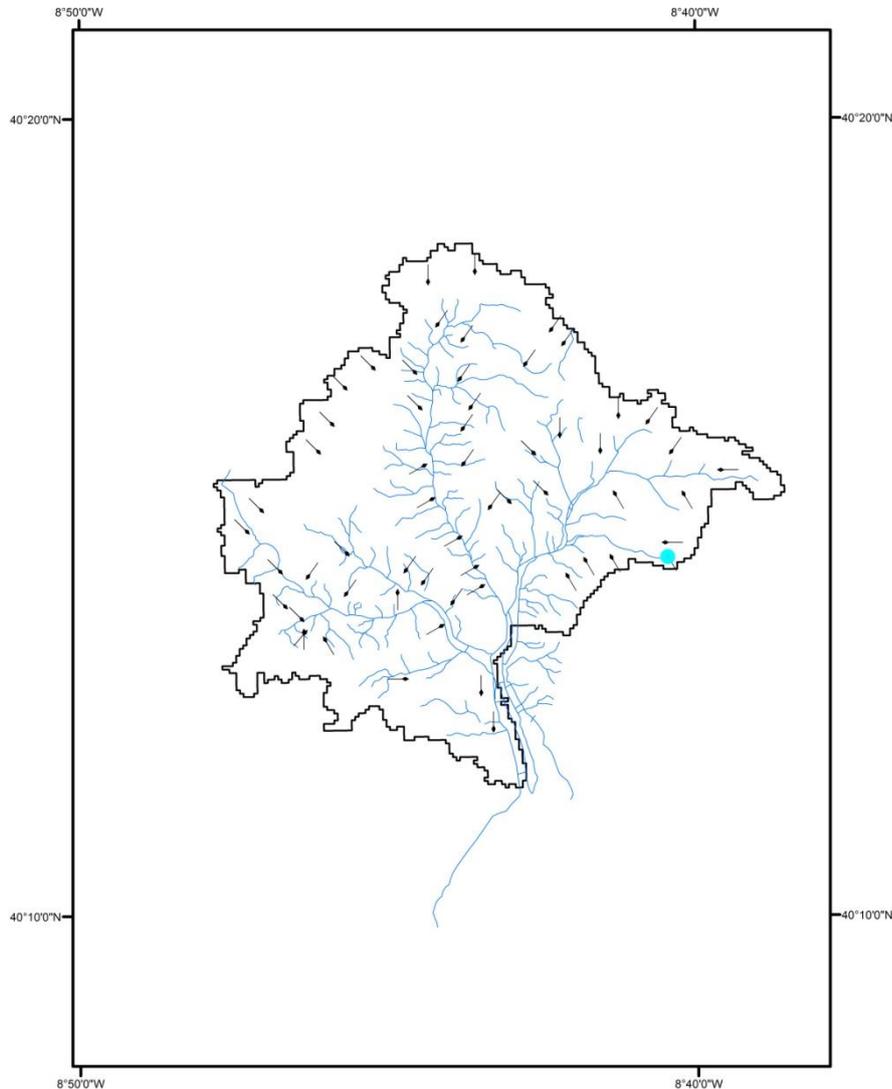


Figura 5.4: Carta de fluxo hídrico subterrâneo da bacia do Rio Foja (carta criada com software ArcGIS 10.2.2).

No sentido de complementar os elementos piezométricos e de caracterizar a hidrodinâmica dos aquíferos locais, fizeram-se medições de caudal em 16 exsurgências nas quais foi possível a obtenção de valores.

Método de Medição: no procedimento de medição, utilizaram-se dois medidores, um de um litro e outro de dez litros que enquanto se preenchia de água os medidores ao mesmo tempo fazia contagem do tempo (s), sendo este processo realizado numa sucessão de vezes para obtenção de resultados mais seguros. Os registos foram

efetuados de mês a mês, com início em Novembro de 2015 e término em Agosto de 2016.

Neste contexto procedeu-se à concepção de uma tabela e uma série de gráficos. A Tabela (5.5) apresenta os valores de caudal ao longo dos meses, o Gráfico (5.1) ilustra o caudal das exurgências com a série temporal (meses). O Gráfico (5.2) correlaciona a evolução do caudal com a precipitação mensal (mm), a Tabela (5.6) apresenta os valores de precipitação mensal (mm) da estação meteorológica de Coimbra de setembro 2015 a agosto 2016. Os gráficos foram construídos com base entre linhas de caudal semelhantes.

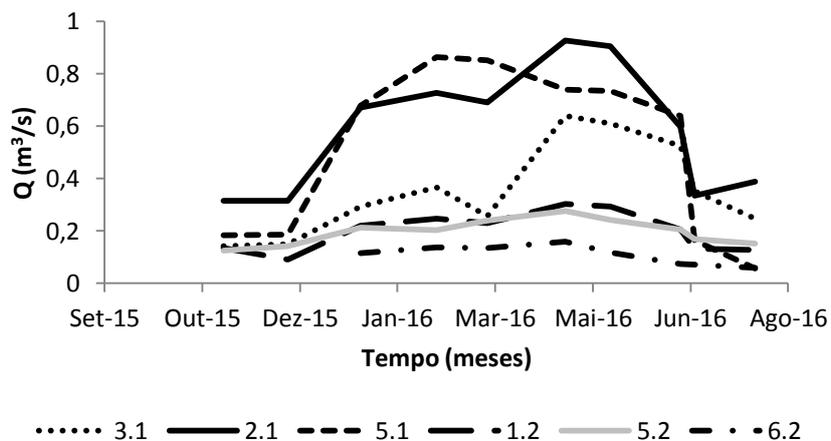
Tabela 5.5: Apresentação dos valores de caudal medidos nas exurgências ao longo do tempo (meses).

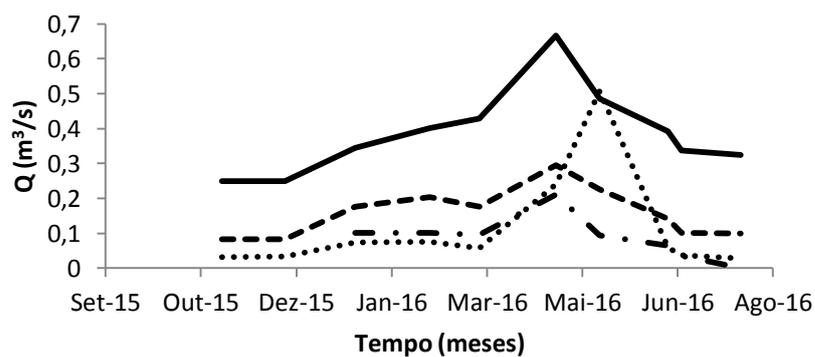
Ponto		Q (m ³ /s) Nov	Q (m ³ /s) Dez	Q (m ³ /s) Jan	Q (m ³ /s) Fev	Q (m ³ /s) Mar	Q (m ³ /s) Abr
Ref^a	Cota	0,135	0,092	0,219	0,247	0,229	0,304
1.2	29	0,090	0,077	0,167	0,108	0,073	0,121
1.5	28	0,136	0,132	0,175	0,115	0,049	0,115
1.8	25	0,059	0,056	0,096	0,107	0,118	0,157
1.9	25	0,316	0,316	0,671	0,727	0,690	0,926
2.1	82	0,083	0,083	0,175	0,204	0,177	0,295
2.4	28	0,143	0,149	0,294	0,366	0,256	0,640
3.1	50	0,029	0,025	0,051	0,057	0,062	0,082
3.4	25	-	0	0,114	0,126	0,119	0,162
3.8	31	-	0,054	0,068	0,070	0,068	0,062
3.9	36	0,184	0,185	0,677	0,862	0,851	0,740
5.1	50	0,125	0,142	0,213	0,204	0,240	0,277
5.2	32	0,032	0,034	0,074	0,076	0,057	0,240
5.4	25	0,250	0,250	0,345	0,401	0,428	0,666
5.5	25	-	-	0,116	0,137	0,135	0,160
6.2	65	-	-	0,588	0,437	0,460	0,380
8.1	52	-	-	0,101	0,101	0,096	0,211

Ponto		Q (m ³ /s)			
		Mai	Jun	Jul	Ago
Ref ^a	Cota	0,294	0,205	0,132	0,128
1.2	29	0,043	0,000	0,000	0,000
1.5	28	0,080	0,060	0,051	0,139
1.8	25	0,146	0,112	0,092	0,082
1.9	25	0,904	0,598	0,334	0,388
2.1	82	0,225	0,142	0,102	0,100
2.4	28	0,610	0,525	0,351	0,248
3.1	50	0,074	0,062	0,062	0,042
3.4	25	0,144	0,124	0,095	0,091
3.8	31	0,099	0,106	0,099	0,099
3.9	36	0,735	0,638	0,165	0,057
5.1	50	0,241	0,205	0,168	0,151
5.2	32	0,508	0,060	0,037	0,028
5.4	25	0,486	0,392	0,338	0,324
5.5	25	0,118	0,073	0,071	0,060
6.2	65	1,073	0,376	0,209	0,165
8.1	52	0,093	0,065	0,036	0,000

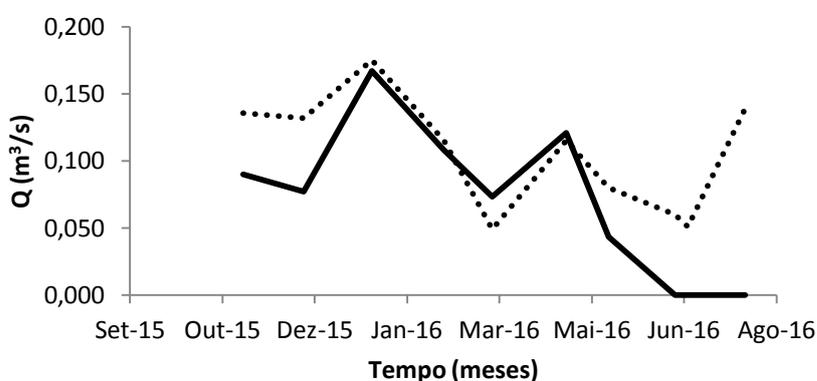
Q – Caudal

Gráfico 5.1: Série de gráficos onde são apresentados os caudais referentes aos valores mencionados em cima. Relação caudal versus série temporal (meses).

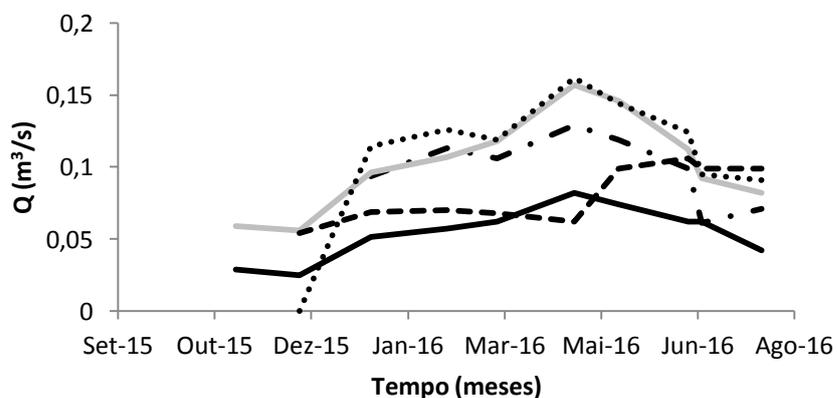




..... 5.4 ——— 5.5 - - - 2.4 - . - 8.2



..... 1.8 ——— 1.5



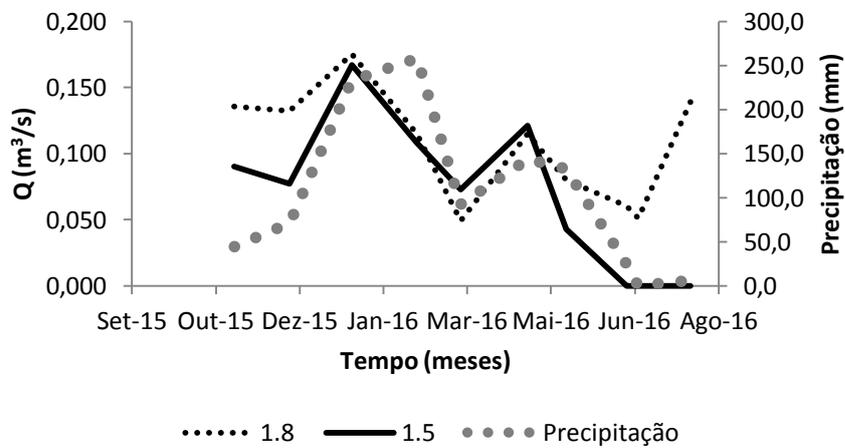
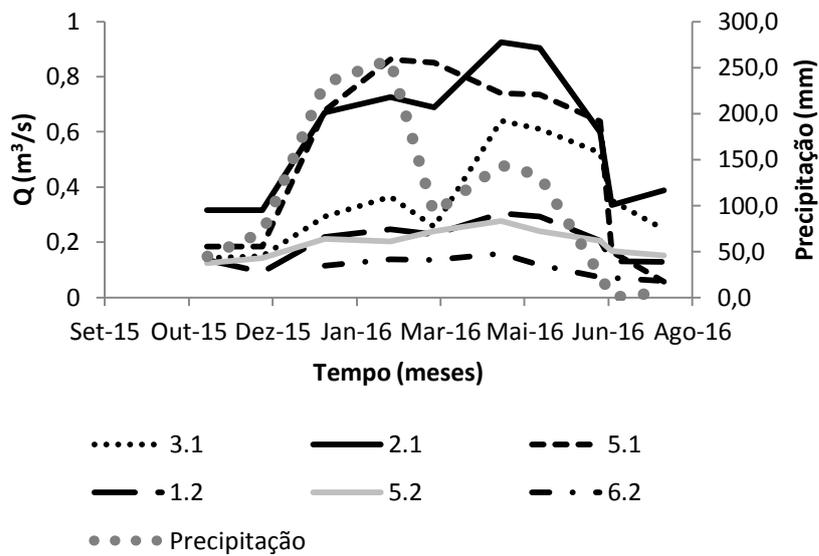
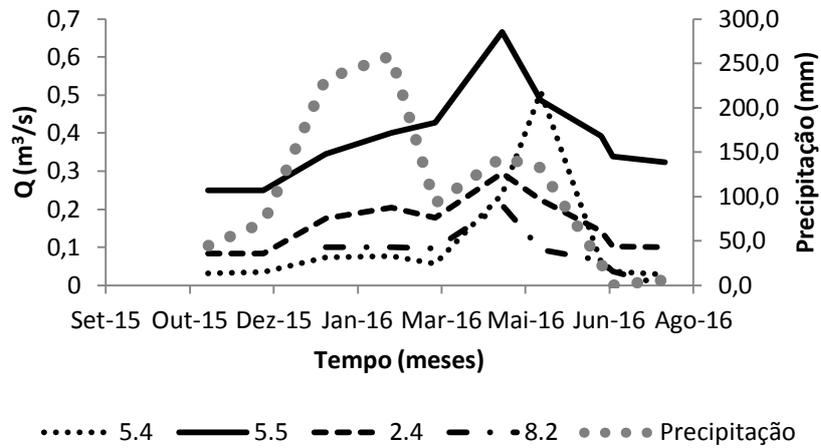
——— 3.4 - . - 8.1 ——— 1.9 3.8 - - - 3.9

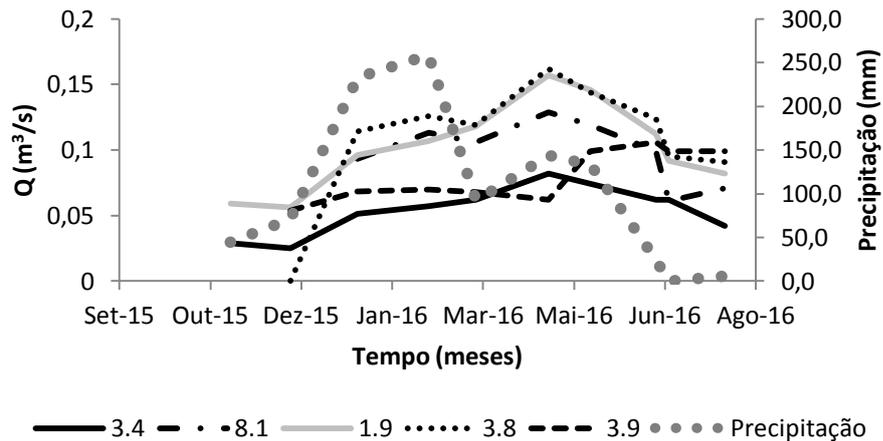
Tabela 5.6: Valores da precipitação da estação meteorológica de Coimbra.

Precipitação (mm)											
Set. 15	Out. 15	Nov. 15	Dez. 15	Jan. 16	Fev. 16	Mar. 16	Abr. 16	Mai. 16	Jun. 16	Jul. 16	Ago. 16
42,0	120,0	44,6	71,0	232,7	258,4	92,0	143,7	132,7	24,5	0,0	5,6

Fonte: Dados climatológicos do IPMA (estação meteorológica de Coimbra)

Gráfico 5.2: Relação caudal versus Precipitação (mm)





Com esta última série de gráficos, é permitido induzir que existem dois tipos de nascentes na região. Nascentes estáveis, os seus caudais mantêm-se constantes ao longo tempo, a este grupo pertencem os pontos (1.2; 3.9; 3.4, 5.2, 6.2 e 8.1). Os restantes pontos representam nascentes sazonais, aquelas em que a precipitação produz respostas nos caudais, elas reagem de igual maneira com o aumento e diminuição da precipitação mensal, quando a precipitação aumenta o caudal aumenta e vice-versa.

Os caudais dependem de diversos fatores: precipitação, humidade dos solos, as taxas de evapotranspiração, a ocorrência de vegetação, alguns destes fatores interligados levam a uma menor quantidade de água infiltrada nos solos e um maior intervalo de tempo para as águas se infiltrarem nos solos.

Além dos fatores já referidos os caudais dependem ainda da topografia, as exurgências estudadas ocorrem em zonas de vale, contribuindo para um maior fluxo, logo o causal será superior. A constituição pedológica e geológica, se as exurgências estão situadas sob rocha ou em solos permeáveis ou impermeáveis, a maioria ocorrem em manto arenoso muito permeável, facilitando assim a infiltração, por isso pode-se considerar que as condições de infiltração para o reservatório de água subterrânea são boas, e por isso os níveis do reservatório aumentam rapidamente após as chuvas, aumentando assim o caudal nas exurgências. Outro fator inerente nos caudais é ação antrópica, a exploração de água subterrâneas para atividades humanas, podendo levar a que possam ocorrer correlações não lineares nos caudais.

No âmbito da caracterização física, ainda se procedeu à construção de um gráfico de regressão (Gráfico 5.3), este gráfico correlaciona diferentes variáveis, para isso estas têm que ser representadas por um número considerável de pontos de dados. Neste caso, fez-se um gráfico que relaciona o caudal com a série temporal. Estes tipos de gráficos podem dar importantes ideias relativas aos sistemas aquíferos em estudo, por exemplo relativamente aos tipos de nascentes, por isso construiu-se dois gráficos de regressão, Gráfico 5.3 correspondente às nascentes estáveis e o Gráfico 5.4 retrata as nascentes sazonais. Posteriormente e com base nestes gráficos e as deduções retiradas no capítulo seguinte (Capítulo 5.4), perceber e interpretar se existe relação entre a caracterização física e a caracterização química.

Gráfico 5.3: Regressão linear das nascentes estáveis, relação do caudal das exsurgências com a série temporal (meses).

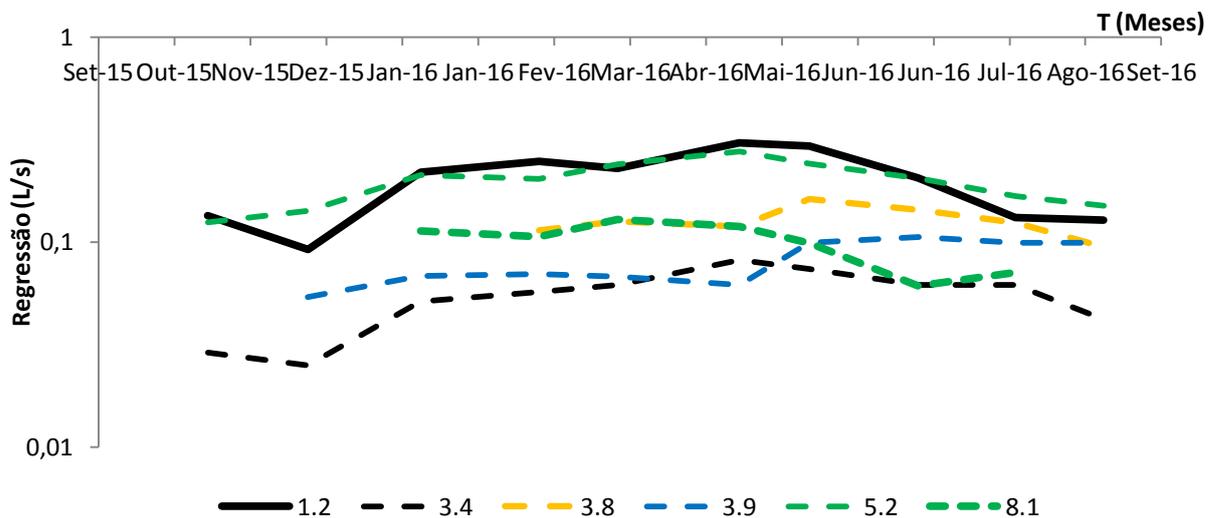
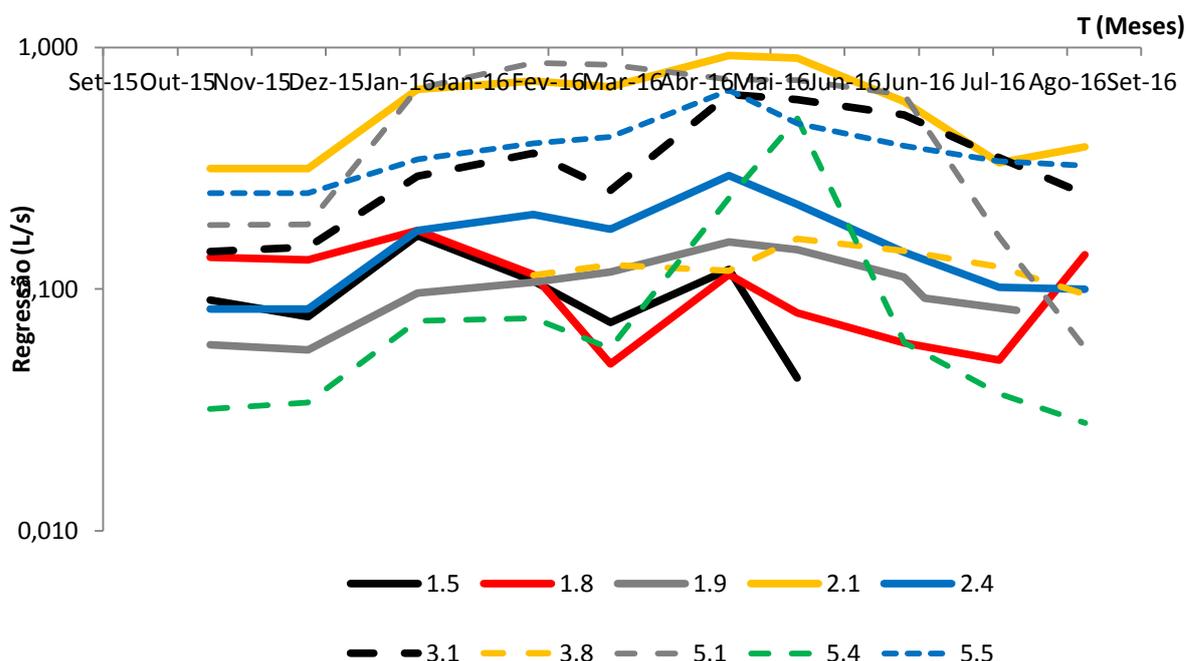


Gráfico 5.4: Regressão linear das nascentes sazonais, relação do caudal das exsurgências com a série temporal (meses).



5.3. Caracterização, classificação e processos químicos Hidro(geo)química e Qualidade da água

Os sistemas aquíferos, Quaternário de Aveiro e Viso-Queridas apresentam uma variabilidade de materiais geológicos, contribuindo para uma variação e ocorrência de águas com diversas características físico-químicas que as tornam únicas.

Como se sabe a composição química das águas subterrâneas depende e muito da composição dos materiais geológicos que estas atravessam ao longo do seu percurso, água subterrânea resulta primariamente das reações físico-químicas entre a água e os minerais ao longo do fluxo.

“Ao longo do trajeto percorrido pelas águas subterrâneas, a sua composição vai variando constantemente, sem que as condições de equilíbrio sofram alteração. As principais reações químicas que se envolvem neste processo são as reações ácido/base, de precipitação/dissolução, de complexação e de oxidação/redução, que dependem da composição das fases sólida, líquida e gasosa em contacto” (Castilho, 2008).

A composição química de uma água depende de diversos parâmetros a composição das litologias na qual o fluxo atravessa, a textura das rochas subsuperficiais, a solubilidade da água nas fases químicas que constituem as rochas, as condições

físico-químicas do meio e da água, a temperatura e a pressão da água, o tipo de solo, as actividades antropogénicas e o tempo de contacto da água com as rochas e os sedimentos (tempo de residência). Ainda tem que se ter em conta o pH, o oxigénio dissolvido e a presença de matéria orgânica nas águas.

A obtenção e o conhecimento da composição das águas subterrâneas e superficiais da região em estudo permitindo o reconhecimento de processos hidrogeoquímicos que possam estar na base da origem da composição química das águas.

A partir dos valores apresentados em cima, construiu-se mapas de quantidade de média dos parâmetros, condutividade eléctrica (Fig. 5.5), pH (Fig. 5.6) e Eh (Fig.5.7), sendo possível, posteriormente ter uma melhor percepção e interpretação dos valores obtidos nas campanhas.

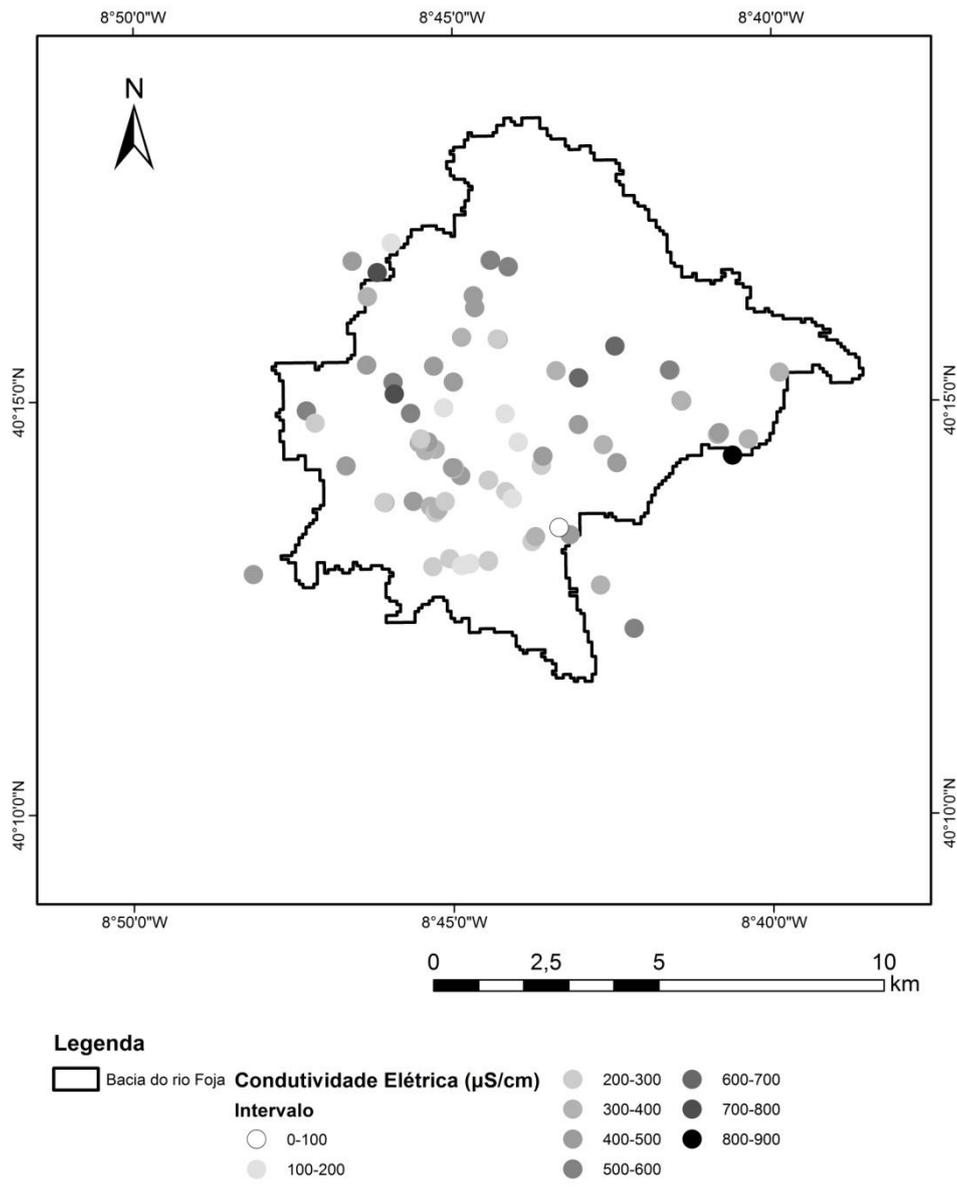


Figura 5.5: Mapa com valores médios de condutividade elétrica (CE), medidos nas campanhas de medição *in situ*, criado a partir do software ArcGIS 10.2.2.

Na última figura está representado o mapa relativo aos valores médios de condutividade elétrica (CE) da água medida nos pontos inventariados. É possível observar que a condutividade é mais elevada na zona mais a norte e a oeste, o que sugere a captação de águas mais mineralizadas, sendo que os pontos localizados a oeste são acompanhados de perto pela ribeira das Barreiras.

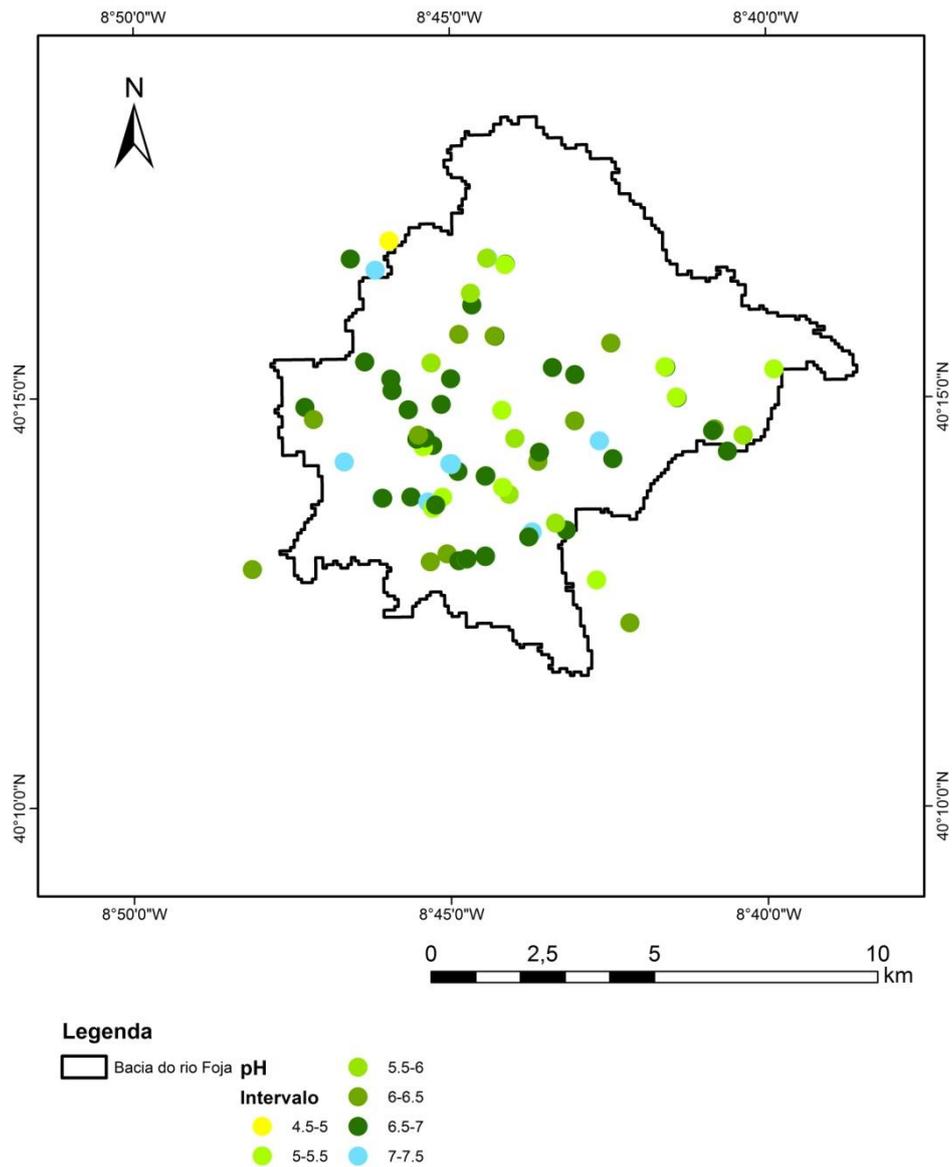


Figura 5.6: Mapa com valores médios de pH, determinados nas campanhas de medição *in situ*, criado a partir do software ArcGIS 10.2.2.

No mapa do PH é possível observar que os valores de pH mais elevados, ou seja, mais alcalinos foram medidos na zona Oeste e Sul da bacia, enquanto os valores mais baixos, ou seja, mais ácidos, se apresentam na zona mais Norte da bacia. Na zona Oeste, esta também já contém os valores mais elevados de condutividade elétrica.

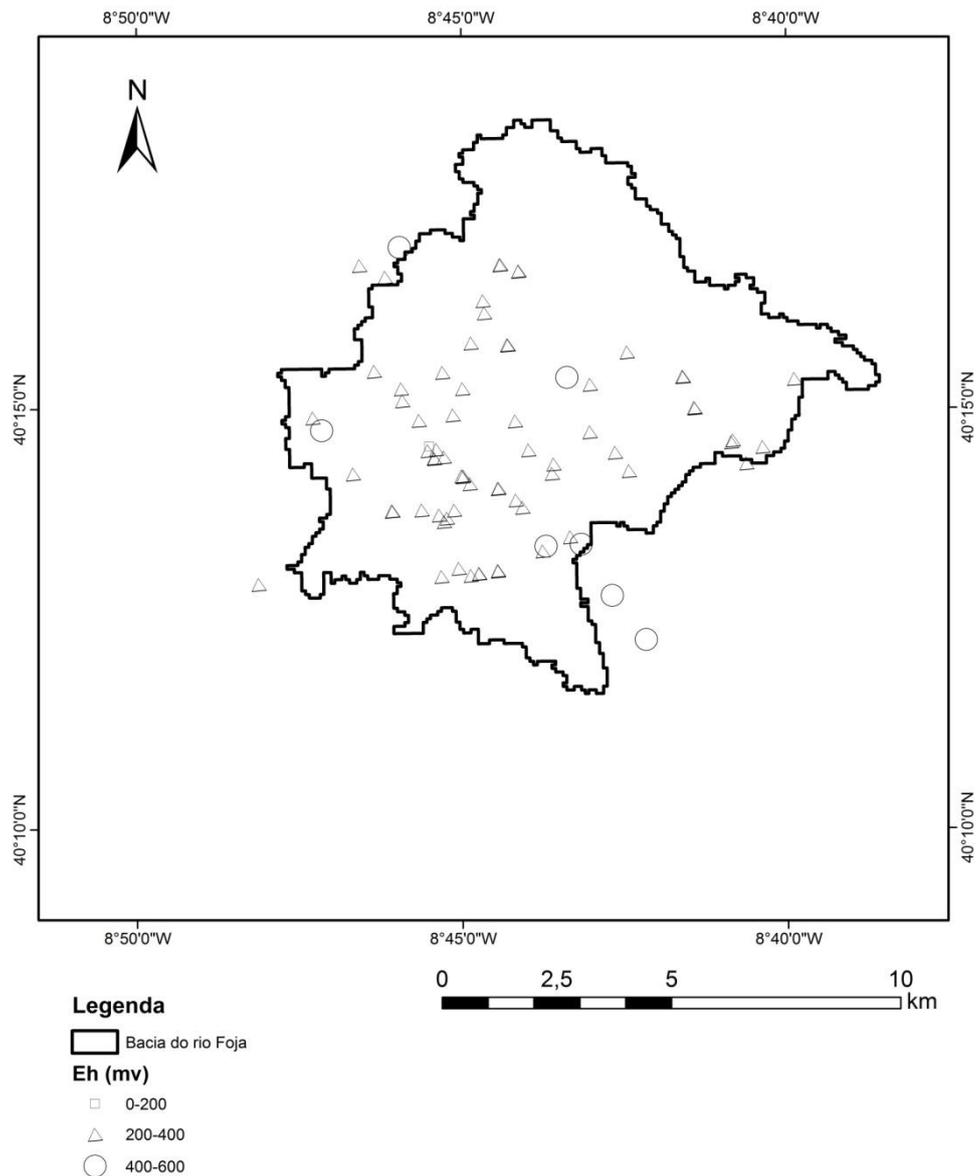


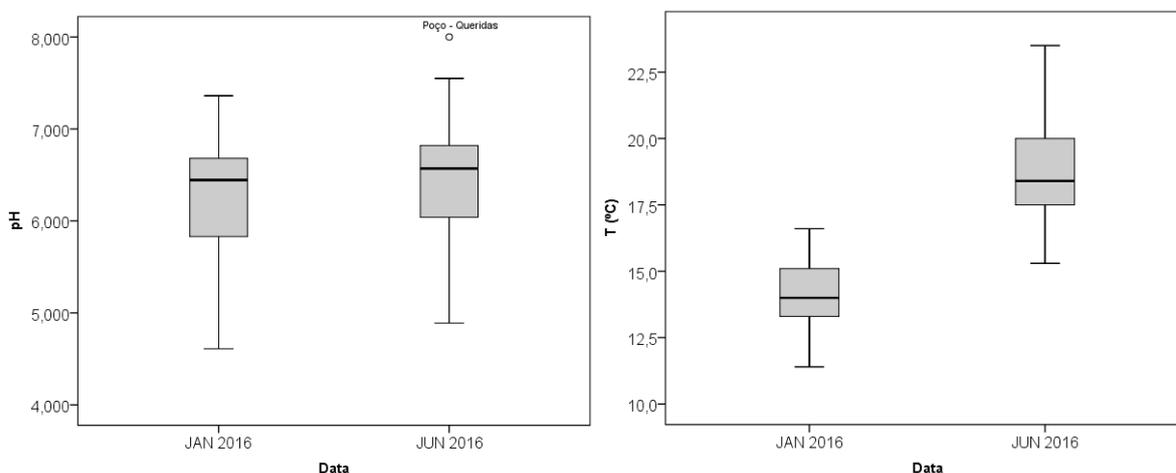
Figura 5.7: Mapa com valores médios de Eh (mv), calculados a partir de fórmulas empíricas com base nos dados de ORP determinados nas campanhas de medição *in situ*, criado a partir do software ArcGIS 10.2.2.

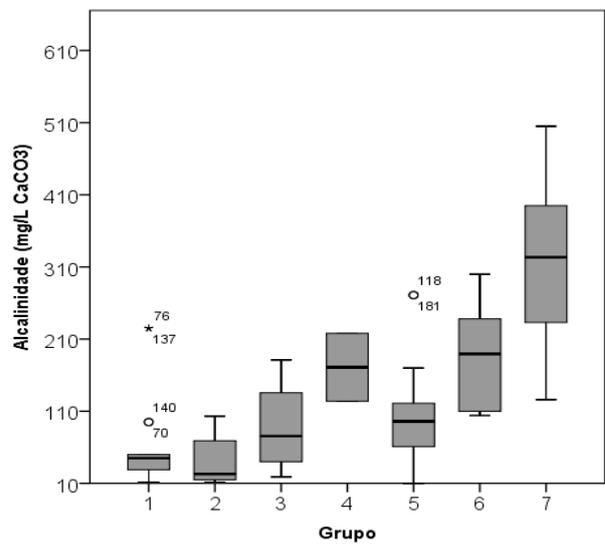
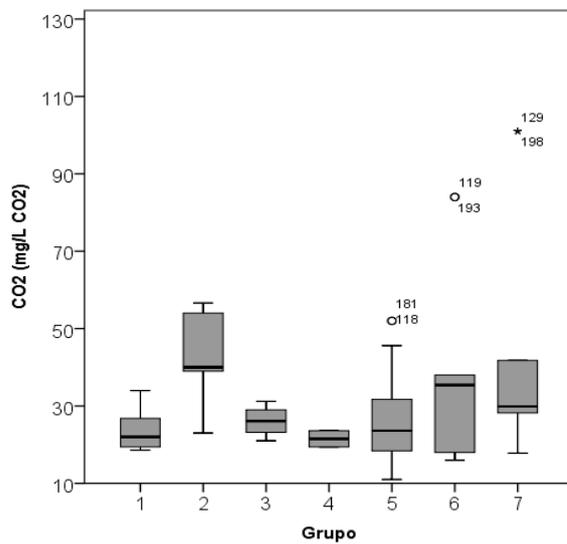
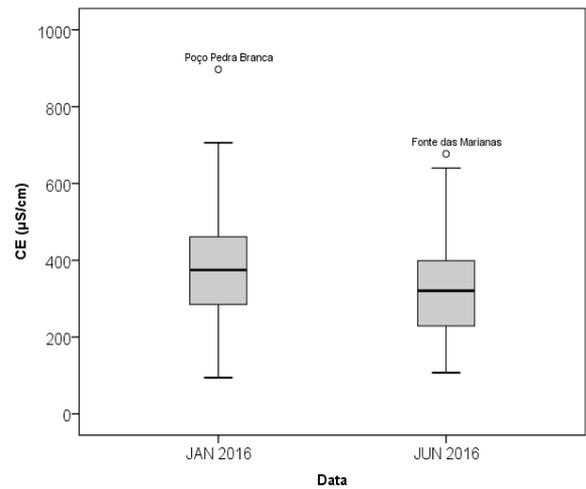
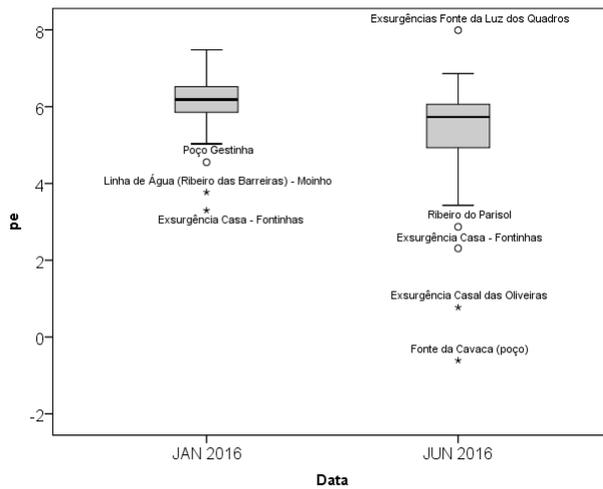
A partir do mapa de Eh (mv) é possível verificar que os valores mais elevados situam-se em média a Oeste e a Sul, sendo que uma série de valores mais elevados encontram-se a Sudeste, havendo algumas exceções a norte com a ocorrência de dois valores mais altos de Eh. O valor médio de Eh situa-se entre os 200 e 400mv. Os valores abaixo de 200mv são muito raros, logo pode-se considerar que as águas presentes na bacia são na sua maioria bastante oxidantes.

A partir da análise das últimas figuras, é possível inferir que as águas na região em estudo são na sua maioria oxidantes, alcalinas e possuem elevada condutividade elétrica.

No âmbito dos resultados obtidos nas campanhas *in situ* foram estruturados uma série de diagramas de caixa (*boxplot*) a partir do *software SPSS*, em que foi permitido fazer um diagnóstico mais cuidado e interpretativo dos parâmetros físico-químicos medidos em junção da análise grupal e fatorial realizada. O diagrama de caixa é uma ferramenta que permite localizar e analisar a variação de uma variável entre diferentes grupos. Em suma o diagrama de caixa identifica onde estão localizados 50% dos valores mais prováveis, a mediana e valores extremos. Nos diagramas de caixa que se seguem relaciona-se os parâmetros das campanhas de janeiro e junho. Em seguida, são apresentados um conjunto de diagramas de caixa, uns representam os valores mais plausíveis de cada parâmetro, outros relacionam os parâmetros físico-químicos entre campanhas e outros deduzem os parâmetros de junho com janeiro.

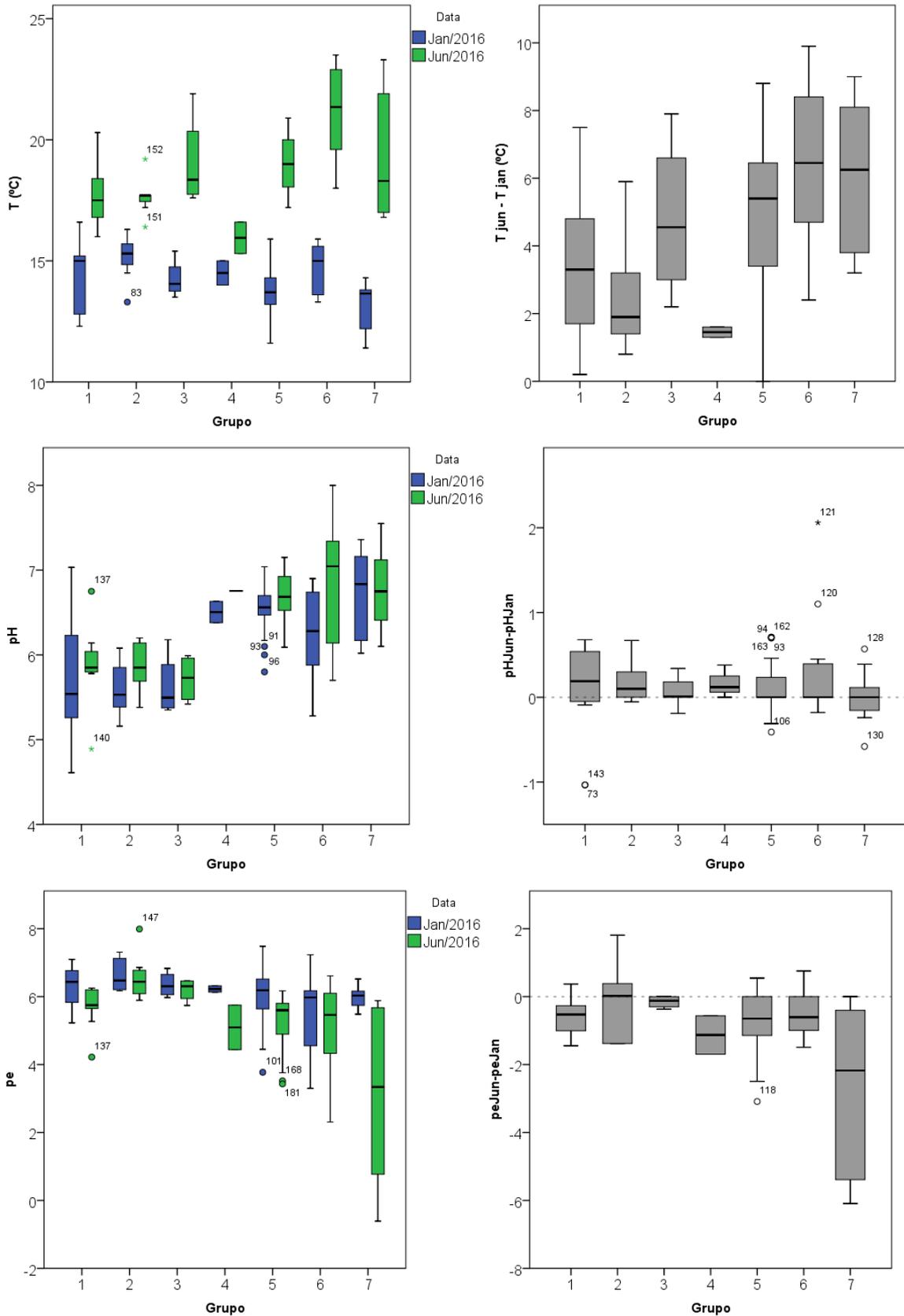
Gráfico 5.5: Conjunto de gráficos que representam a relação entre as campanhas dos diversos parâmetros a nível individual, determinados nas campanhas de janeiro e junho.

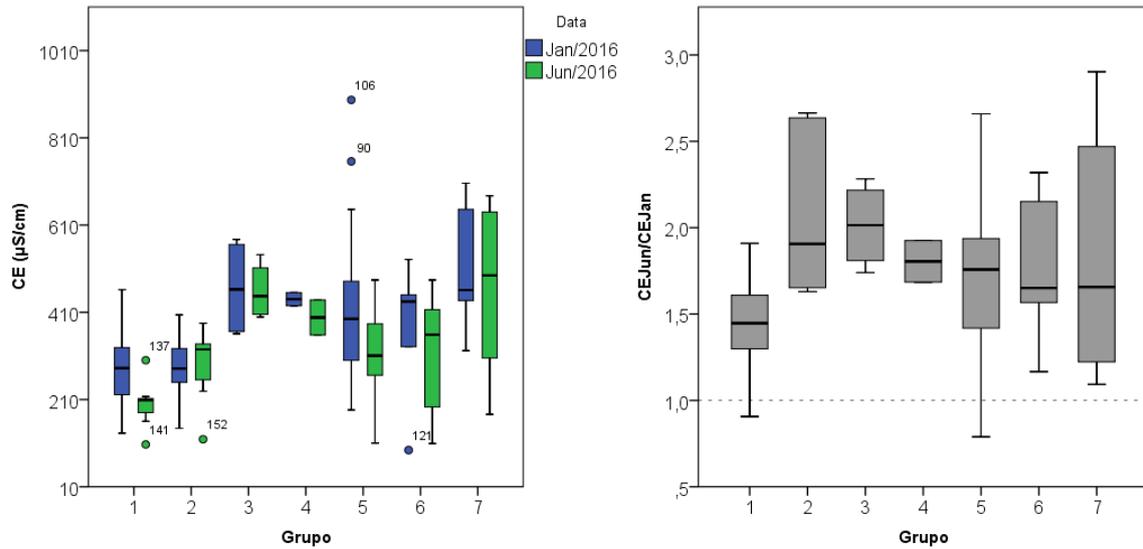




No mesmo campo dos diagramas anteriores e de acordo com *resultados in situ*, foram construídos uma série de dendrogramas (Anexo 2) (resulta de uma análise estatística dos dados obtidos, seguidamente emprega-se um método quantitativo que leva à formação de agrupamentos e à sua ordenação hierárquica ascendente, ou seja, sinteticamente consiste na análise grupal do conjunto de dados estudados), deste procedimento foram selecionados 7 grupos.

Gráfico 5.6: Conjuntos de gráficos, do lado esquerdo, estes demonstram a relação entre os parâmetros físico-químicos nas campanhas de janeiro e junho. Do lado direito é a dedução dos parâmetros (Campanha de junho – Campanha de janeiro), na condutividade é a relação.





De acordo com a pesquisa bibliográfica e o conhecimento já adquirido, é possível deduzir que os grupos 1,2,3 e 4 representam o sistema aquífero Viso-Queridas, em quanto que os grupos 5,6 e 7 correspondem ao sistema aquífero Quaternário de Aveiro. O Quaternário de Aveiro é caracterizado pelas águas alcalinas, temperaturas de medição semelhantes à temperatura ambiente, condutividades mais altas, este fator poderá ser originado por diversas situações, entre as quais contaminação antrópicas ou origem natural. O Viso-Queridas define-se pelas águas com pH mais reduzido, condutividades mais baixas e temperaturas de medição com variações entre os 2 a 6°C em relação à temperatura ambiente. Os dois sistemas são caracterizados pelas suas águas oxidantes.

Com análise dos diagramas ainda é possível inferir que as águas em junho eram mais diluídas do que em janeiro, isso deve-se à elevada precipitação que ocorreu entre janeiro e junho (626,8mm) em relação à precipitação entre setembro e janeiro (276,6mm). As águas em janeiro eram mais frias que em junho, esse facto deve-se à temperatura ambiente, a campanha de janeiro foi realizada a uma temperatura média de 11,5°C, em quanto que a campanha de junho foi efetuada a uma temperatura média de 21°C.

Além dos gráficos e para melhor entender e caracterizar hidrologicamente a bacia foram construídos mapas de grupos, segundo a interpretação retirada da análise dos dendrogramas, com o intuito de identificar uma possível origem e semelhança entre grupos. Com os fundamentos obtidos a partir de anteriores resultados e com a

contribuição das referências bibliográficas, detetou-se possíveis origens das águas subterrâneas (Figura 5.8).

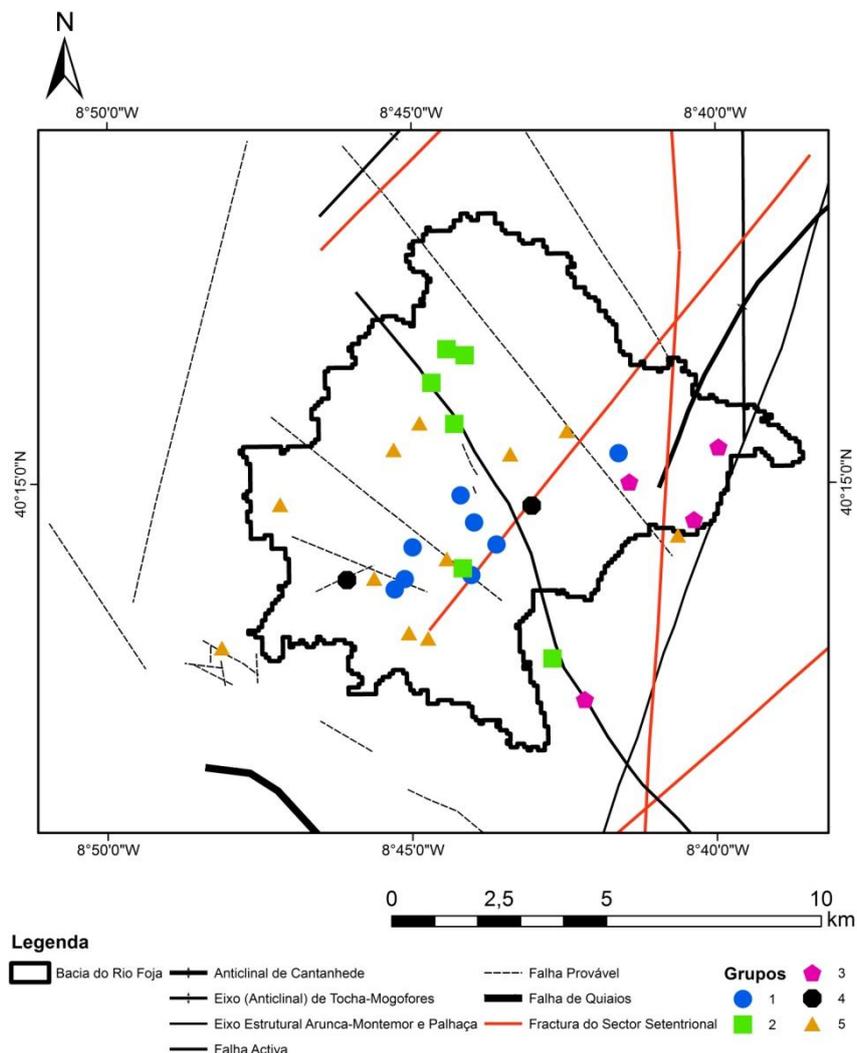


Figura 5.8: Mapa de Grupos, construído a partir da análise e interpretação de um conjunto de dendrogramas (Anexo 2), idealizados com base nos parâmetros físico-químicos, criados no software SPSS, este mapa foi elaborado no software ArcGIS 10.2.2.

Avaliação dos grupos seleccionados nos dendrogramas e conhecendo a geologia, tectónica, topografia, hidrografia, hidrogeologia da região é inferível enunciar possíveis origens dos diferentes grupos determinados. Os grupos 1, 2, 3 e 4 possivelmente são de origem tectónica, uma vez, que estão interconectados e direccionados com falhas, sendo que o Grupo 1 e Grupo 4 estão relacionados com sistema de fraturação NE-SW, o Grupo 2 com uma falha NW-SE e o Grupo 3 com uma falha N-S, outro fator relevante para esta dedução é a diferença de temperatura das águas em relação à temperatura ambiente a quando da realização das medições *in situ*. Esta condição fundamenta, a hipótese das águas destes pontos derivarem de grandes profundidades, estando aí associado a ocorrência fraturas de

origem tectónica que contribuem para subida das águas subterrâneas, sustentando a ideia retida na análise dos diagramas de caixas que estes grupos representam o sistema aquífero Viso-Queridas. Em termos de características hidroquímicas os grupos 1 e 2 têm características semelhantes. Isto pode-se dever ao facto de existir contacto entre as falhas, havendo circulação de águas entre grupos. O Grupo 5 representa as águas superficiais, estando ligado ao aquífero freático livre, este grupo apresenta valores de alcalinidade bastante elevados, o que poderá indicar poluição de esgotos e efluentes, uma vez que águas derivadas destes meios possuem altos valores silicatos e fosfatos, por conseguinte, aumento da alcalinidade das águas, da mesma forma e associado à poluição estará o CO_2 , derivado sobretudo da alta decomposição de matéria orgânica anaeróbia.

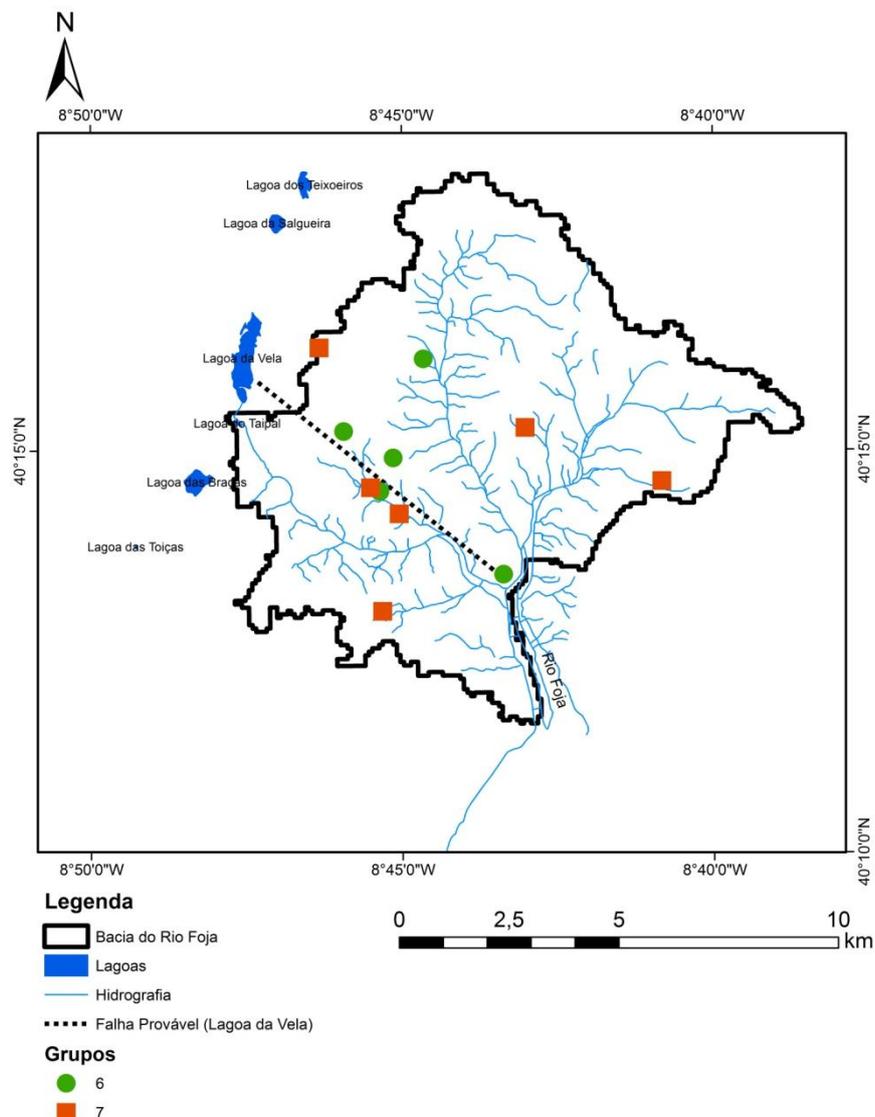


Figura 5.9: Mapa dos Grupos 6 e 7, construído a partir da análise e interpretação de um conjunto de dendrogramas (Anexo 2), idealizados com base nos parâmetros físico-químicos, criados no *software* SPSS, este mapa foi elaborado no *software* ArcGIS 10.2.2.

Os grupos 6 e 7 não tiveram qualquer ligação com nenhum dos grupos referidos anteriormente, e nem os pontos de água têm ligação entre si, por isso não constam na Figura 5.8. Contudo é de salientar a ocorrência de uma série de pontos contíguos que contêm valores de pH muito elevados, entre os 7 e os 8, podendo haver alguma correlação entre eles, sendo plausível a ligação com a falha provável que se inicia na Lagoa da Vela, pois o pH desta lagoa é 8, mas é um facto subjetivo, futuros trabalhos que possam ser realizados na região poderão retirar esta incerteza.

Nota: As linhas de água não entraram no cômputo desta classificação.

5.4. Classificação e Modelo hidrogeológicos

Após as caracterizações geológica, geomorfológica, estrutural, regionais e locais, assim como e dos resultados da caracterização físico-química dos pontos de água locais é possível apresentar a classificação hidrogeológica das formações rochosas e depósitos siliciclásticos que ocorrem na zona em análise, bem como avançar com um modelo conceptual para a hidrogeologia da Bacia do rio Foja.

5.2.1. Classificação hidrogeológica

Em função da geologia e estratigrafia locais, assim como dos elementos hidrogeológicos de campo é possível classificar as unidades hidrogeológicas (Tabela 5.7).

Tabela 5.7: Classificação hidrogeológica das formações rochosas e depósitos siliciclástico que ocorrem na zona em estudo.

Unidade / Formação		Classificação: Aquífero/Aquitardo/Aquicluso
Aluvião (a)		Aquífero
Eluviões Areníticos (ea)		Aquífero
Dunas: campo de dunas (W-E?) (d _b)		Aquífero
Dunas (NW-SE?) (d _d)		Aquífero
Areias Eólicas/Areias hidro-eólicas (ae/ahe)		Aquífero
Areias de Cantanhede (Q _{Ca})		Aquífero
Areias de Arazede (Q _{Az})		Aquífero
Areias da Cordinhã/ Casalheiras dos Gordos (P _{Co} /P _{Go})		Aquífero
Arenitos Conglomeráticos de Queridas (φM _Q)	Porção Arenítica	Aquífero
	Porção Argilosa	Aquicluso
Arenitos e argilas do Viso (C ² _{vi})	Porção Arenítica	Aquitardo
	Porção Argilosa	Aquicluso
Arenitos de Oiã (C ² _{Oi})		Aquífero
Arenitos do Furadouro (C ² _{Fu})		Aquífero
Calcários de Tentúgal (C ² _{Te})		Aquitardo
Figueira da Foz (C ¹⁻² _{Cr})		Aquífero

5.2.2. Modelo hidrogeológico conceptual

Em função dos elementos e resultados apresentados anteriormente é possível traçar a seguinte interpretação para a hidrodinâmica subterrânea local (modelo conceptual, Fig. 5.10). O modelo AB com orientação N-S.

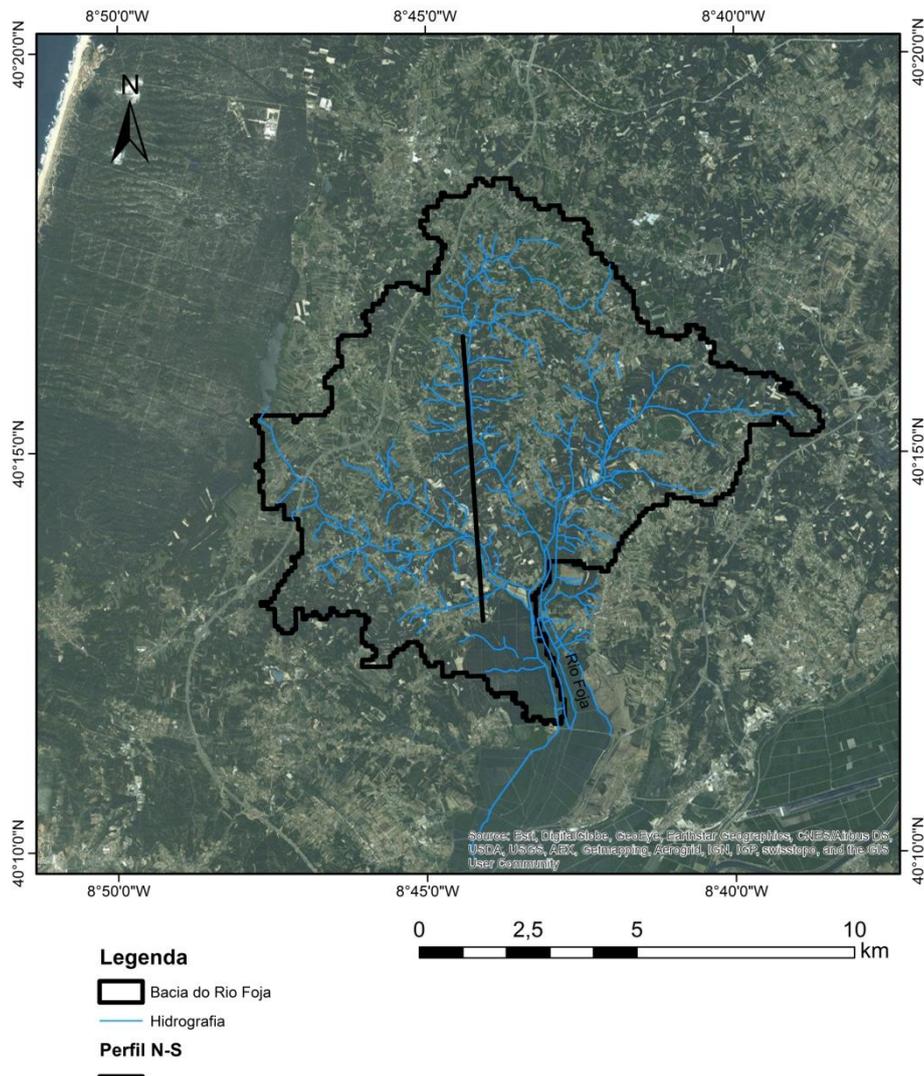
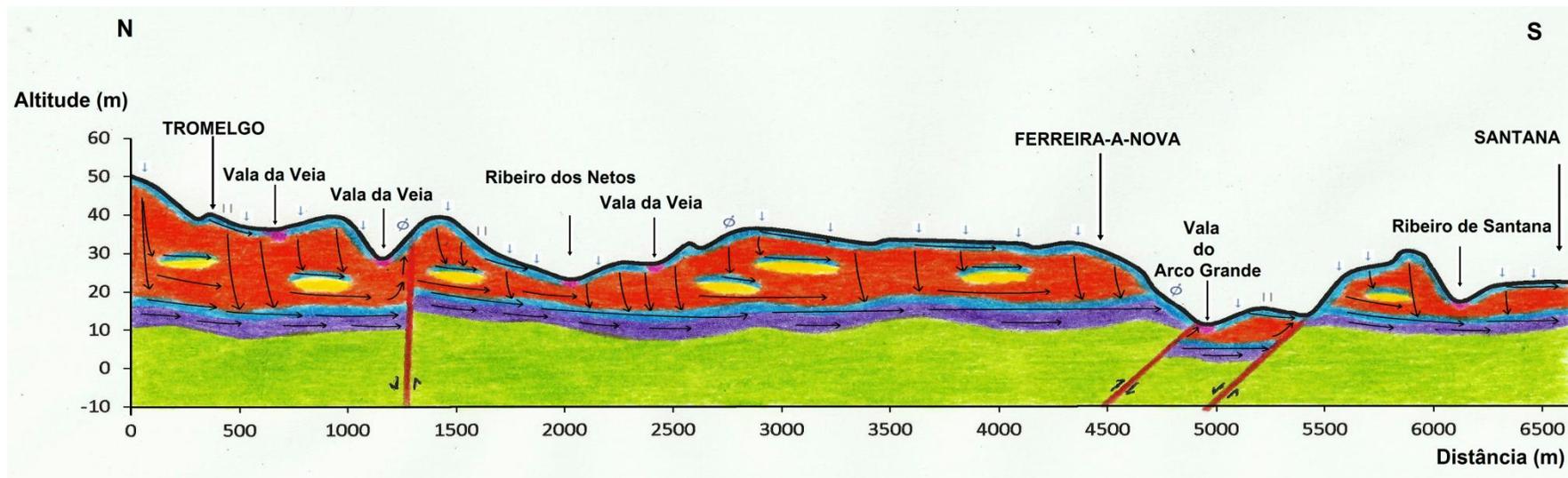


Figura 5.10: Mapa com a localização do perfil usado para o modelo hidrogeológico conceptual na Bacia Hidrográfica do rio Foja, criado com o software ArcGIS 10.2.2, com imagem ERSI de base.



LEGENDA

- Aquífero aluvionar
- Aquífero freático (pertencente ao Sistema Aquífero Quaternário de Aveiro)
- Aquíferos não-confinados e semi-confinados (pertencentes Sistema Aquífero de Viso-Queridas)
- Formação dos Arenitos Conglomeráticos de Queridas
- Lentículas argilosas pertencentes à Formação dos Arenitos Conglomeráticos de Queridas
- Aquitardo (Sistema aquífero Viso-Queridas)
- Formações impermeáveis – Aquicluso (Sistema aquífero Viso-Queridas)
- Falha
- Circulação hídrica subterrânea
- Recarga aquífera
- Poço
- Nascente

Figura 5.11: Perfil hidrogeológico conceptual da hidrodinâmica hídrica subterrânea na área estudada (criado à mão com adaptações com utilização de software).

Seguidamente caracterizam-se os diversos segmentos do modelo hidrogeológico conceptual.

Recarga aquífera

A recarga aquífera na área em estudo ocorre principalmente de forma natural pela penetração das águas da chuva sobre a cobertura maioritariamente arenosa muito permeável e de fácil infiltração.

Na unidade Arenitos Conglomeráticos de Queridas, as formações que hidrologicamente representa não só um aquífero livre, mas também locais onde se define como semi-cativo. A recarga dá-se principalmente pela forma direta através da precipitação, nos locais onde afloram as formações, mas a sua recarga também poderá ser realizada por recarga indireta, e neste caso deve-se a infiltração por gravidade das unidades adjacentes.

A cobertura arenosa, com espessura e permeabilidade elevada, onde se instala um manto de saturação freática, vai alimentar através da infiltração por gravidade ou tensões superficiais do aparelho litológico subjacente.

Esta ainda pode ser realizada a partir de corpos hídricos superficiais, como os cursos de água, estes depende da localização e proximidade relativamente as unidades aquíferas, aos eixos principais de escoamento. As linhas água nos sectores, N, NW e W funcionam como influentes, no sector S funcionam como efluentes.

A recarga aquífera poderá ainda ser realizada a partir de lagoas, charcos e através de condutas hidrogeológicas (fraturas), na recarga a partir das fraturas, corresponderá a fenómenos de drenância que poderá ocorrer em todas as unidades da área em estudo, podendo levar a recarga até as unidades areníticas e carbonatadas do Cretácico superior.

As áreas de recarga tem como características principais, a sua localização, pois situam-se em locais topograficamente elevados, onde as linhas de fluxo são divergentes, e a zona não saturada têm uma espessura elevada.

Na área em estudo a recarga aquífera ainda se origina de uma forma induzida, por intermédio de corpos hídricos não naturais (superficiais ou sub-superficiais), casos como fossas sépticas e ainda pela rega agrícola, esta última forma é bastante ocorrente na região da Gândara.

Descarga aquífera

A descarga aquífera como a recarga ocorre de uma forma natural e artificial. No âmbito da descarga aquífera natural, esta surge através de vários processos entre os quais, fluxo para as zonas não saturadas, transferência de água para outras unidades aquíferas adjacentes (laterais ou mais profundos), devido à topografia, ocorrência de uma série de vales, mas maioritariamente esta ocorre devido ao fluxo para a superfície por intermédio das exurgências, sendo os pontos de água mais importantes no campo da descarga aquífera, ao nível do fluxo para a superfícies este ocorre ainda pelos corpos de água superficiais, como os cursos de água (ribeiras, seus afluentes) e charcos.

A descarga aquífera artificial surge a partir da captação direta de águas subterrâneas (poços, furos, galerias e valas).

As áreas de descarga aquífera na região em estudo são constituídas por locais topograficamente baixos, apresentam linhas de fluxo convergentes e o nível freático coincide ou está próximo da superfície do terreno.

Conforme transita de montante para jusante na bacia hidrográfica, os processos de recarga e descarga tendem a equilibrar. Continuando a jusante, a acumulação da descarga dos fluxos hidrogeológicos locais e regionais proporcionam uma participação cada vez mais estável do escoamento de base nas zonas descarga total.

Escoamento superficial e fluxo subterrâneo

No contexto do ciclo hidrológico, o escoamento superficial é um dos componentes mais importantes para dimensionamentos hidráulicos e gestão da bacia hidrográfica. Na bacia em estudo, o escoamento superficial pode ser dividido em dois componentes: o escoamento superficial direto ("*surface runoff*") e o escoamento subterrâneo.

O escoamento superficial é gerado pelo excesso de precipitação que escoam sobre a superfície do solo, provocado pelo humedecimento do perfil do solo, principalmente a sua camada superior, reduzindo a sua capacidade de infiltração e, conseqüentemente disponibilizando o excesso para formar o escoamento na superfície ou pela intensidade elevada da precipitação o qual supera a capacidade de infiltração atual do solo, provocando o seu escoamento, normalmente sucede na

época das chuvas. Esta parcela do escoamento é conhecida como precipitação efetiva ou deflúvio superficial direto.

O escoamento subterrâneo é produzido pelo fluxo de água do aquífero livre, sendo importante do ponto de vista ambiental, uma vez que refletirá a produção de água na bacia durante as estações secas.

Existem uma série de fatores que interferem no escoamento, e que podem ser observados na região da Gândara:

Clima - características da precipitação, em Portugal a precipitação normalmente tem origem frontal ou ciclónica (baixa intensidade e longa duração). Uma maior duração leva a um maior contributo para o escoamento superficial. São muito importantes, especialmente a sua intensidade, embora possa por vezes surgir uma precipitação de origem convectiva (alta intensidade e curta duração). Neste caso leva a que se atinja rapidamente a capacidade de infiltração do solo, levando a que toda a água excedente seja escoada superficialmente, duração da precipitação. O vento, humidade relativa, evaporação e temperatura também têm a sua importância no escoamento.

Fisiográficos – as características físicas da região, um dos aspetos mais importantes na região em estudo é a topografia, a ocorrência de vales, zonas de maior declive, maior escoamento superficial. Neste ponto, o escoamento pode ser também influenciado pela área e a forma da bacia hidrográfica. As áreas de recarga e descarga estão inteiramente relacionadas com os fatores fisiográficos, juntando a isto as evidências estruturais, como as famílias de fraturação. Consequentemente é provável que as zonas de recarga façam-se a NE, N e NW e as maiores zonas de descarga realizem-se a S.

Propriedades do solo - está-se maioritariamente perante sobre uma cobertura arenosa, ou seja, solos de maior permeabilidade podem proporcionar um menor escoamento sobre a superfície. De modo oposto, solos pesados, como as formações com carácter argílitico, são caracterizados pela sua baixa permeabilidade, exemplo disso são as Argilas do Viso, têm tendência a gerar maior escoamento sobre a superfície, provocando valores mais elevados de escoamento superficial. A ocorrência de cobertura vegetal num solo também é bastante importante, um solo sem cobertura vegetal tem uma maior escorrência.

Ocupação e utilização do solo - este aspeto é especialmente importante, uma vez que o emprego de técnicas de utilização sem preocupação com o destino da água

da chuva pode ser prejudicial para o ambiente e para o emprego da utilização dos solos. Deve-se estudar e aplicar técnicas que visem manter a água no solo, reduzindo o escoamento superficial direto.

6. Capítulo VI - Conclusões e Recomendações

No presente capítulo apresenta-se de forma sintética as conclusões do presente trabalho e expressam-se algumas recomendações de possíveis trabalhos a serem realizados no futuro.

6.1. Conclusões

A área estudada corresponde à bacia hidrográfica do rio Foja, sendo esta uma sub-bacia do rio Mondego.

Esta sub-bacia é maioritariamente coberta por um vasto manto arenoso plio-quadernário, constituído por diversas unidades que vão variando de granulometria, conforme a sua origem.

A morfologia da região onde se localiza a bacia hidrográfica do Foja resulta de uma série de fatores que, conjugados entre si, originaram a região da Gândara. Estes fatores são: transgressões marinhas plio-quadernárias, tectónica e a litologia. Relativamente à tectónica, a região é afetada por três alinhamentos estruturais principais: NW-SE, NE-SW e N-S; é possível observar ao longo da bacia algumas evidências desses movimentos.

Na área estudada, evoluem vários Sistemas aquíferos. Contudo, devido à sua expressão largamente dominante, estudaram-se dois: Sistema Aquífero do Quadernário de Aveiro (O1) e Sistema Aquífero Viso-Queridas (O30). Na bacia o O1 é caracterizado por ser constituído por um número reduzido de unidades aquíferas freáticas, em quanto que o O30 é constituído por diversos conjuntos de unidades aquíferas confinadas e semi-confinadas. O aquífero freático evolui nos domínios mais superficiais e, nos setores mais profundos encontram-se os aquíferos confinados e semi-confinados, dependendo da ocorrência e profundidade de lenticulas argilosas. Na base ocorrem formações aquícludas.

Na Formação Argilo-Gresosa e Conglomerática da Nossa Senhora do Bom Sucesso evolui uma unidade aquífera freática nos níveis mais superficiais e em níveis mais profundas ocorrem unidades aquíferas confinadas e semi-confinadas.

A Formação dos Arenitos e Argilas do Viso inclui nos domínios de fácies arenítica alternâncias com bancadas com uma forte expressão argílica que funcionam como aquícludos. Nos níveis de fácies pelítica ocorre a camada-base impermeável do Sistema aquífero. Os níveis mais profundos são compostos pelas Formações de Figueira da Foz, Costa d'Arnes, Grés do Furadouro e Grés de Oiã evoluem unidades do sistema aquíferas.

A hidrodinâmica local caracteriza-se genericamente pelo fluxo de águas subterrâneas de N, E e W para S, este processamento é controlado por uma série

de fatores inerentes na região, sendo a litologia o fator mais perceptível e dominante. Contudo, em determinadas zonas a hidrodinâmica não é só afetada pela litologia como também pela tectônica. O presente estudo indica que a hidrodinâmica nas unidades de Formação Argilo-Gresosa e Conglomerática da Nossa Senhora do Bom Sucesso e a Formação dos Arenitos e Argilas do Viso, é influenciada pelos elementos morfo-estruturais.

A recarga das unidades aquíferas locais opera-se através: (1) precipitação; (2) infiltração por gravidade das unidades adjacentes; (3) corpos hídricos superficiais e (4) drenância por entre médio de condutas hidrogeológicas (fraturas).

A descarga processa-se de dois modos, de forma natural e artificial. De forma natural dá-se a partir do fluxo para zonas não saturadas, transferência de água para outras unidades aquíferas e por intermédio das exurgências. O processo artificial decorre pela captação direta de águas subterrâneas (poços, furos, galerias e valas).

A caracterização físico-química das águas dos aquíferos estudados, realizada *in-situ*, forneceu dados bastante concretos e aceitáveis, sendo uma ferramenta de confirmação da hidrodinâmica aquífera. Esta caracterização físico-química evidenciou:

- As águas das exurgências apresentam na sua maioria variações de temperatura em relação à T° ambiente, o que indica que possam ser originadas a grandes profundidades. Por conseguinte esta afirmação é complementada pelos outros parâmetros físico-químicos determinados nesses pontos água. A origem destes pontos pode-se dever a vários fatores, sendo a tectónica o mais relevante. Os pontos de água que derivam do aquífero freático apresentam temperaturas semelhantes à temperatura ambiente.
- As características físico-químicas das águas, são diferentes das águas da chuva, sendo que nas zonas de maior cota é onde se salienta mais esta afirmação, uma vez que apresentam valores de condutividade elétrica muito elevados, logo águas muito mineralizadas, o pH médio dos pontos de água indica que as águas são alcalinas e com base nos valores de pe pode se concluir que as águas tem um comportamento oxidante.
- Com análise e interpretação dos parâmetros físico-químicos a partir de estatística descritiva e dendrogramas foi possível definir 7 grupos diferentes de águas, possibilitando conhecer possíveis origens de cada um dos grupos.

Ocorrência de pontos de água correlacionados com a caracterização física e a caracterização química, a maioria das nascentes estáveis, à exceção do ponto 1.2, estão representadas nos grupos que correspondem ao sistema aquífero Viso-Queridas. O grupo 2, selecionado a partir dos dendrogramas e o segundo gráfico de

caudal, do conjunto dos gráficos construídos com base na semelhança entre linhas caudal, contêm uma série de pontos idênticos.

6.2. Recomendações

Os recursos hídricos estudados na presente dissertação representam recursos naturais indispensáveis à sociedade e ao meio ambiente da região. No entanto, por serem materiais sedimentares com alta permeabilidade e associando os valores determinados e analisados nos parâmetros físico-químicos que indicam que a sustentabilidade e a estabilidade destes recursos estão em causa, devendo-se a isto diversos fatores, mas principalmente as ações antropogénicas.

Dos riscos que ameaçam estes recursos hídricos assinalam-se várias origens:

Aquífero Freático:

- Fatores Antrópicos:
 - Agricultura e Pecuária, uso excessivo de pesticidas, herbicidas e fertilizantes, as hormonas presentes na ração animal, exploração intensiva dos poços e furos;
 - Indústria e seus efluentes;
 - Doméstica, não ocorrência de rede saneamento básico em toda a população, fossas sépticas sem a devida impermeabilização;
 - Depósitos de lixo sem controlo;
 - Efluentes e águas pluviais;
 - Depósitos de lixo (lixeiros) sem controlo;

Aquífero Confinado e Semi-Confinado:

- Fatores Naturais:
 - Todas as transformações e processos de alterações climáticas, e alterações das unidades superficiais que afetam as águas superficiais, a longo prazo (centenas ou milhares de anos), pois o processo de recarga das águas profundas é feita maioritariamente pelas águas superficiais.
- Fatores Antrópicos:
 - Contaminação aquífera devido à exploração intensiva (poços e furos), levando à mistura de águas.

No sentido de prevenir, a possibilidade da ocorrência de situações que levem à poluição das águas ou atividades que diminuam a quantidade de compostos químicos prejudiciais as águas, é recomendado:

- Uma maior fiscalização, controlo e análise sobre os efluentes das indústrias;
- Construção de um perímetro de proteção sobre locais mais vulneráveis à poluição;
- Maior controlo sobre a sobre-exploração de furos;
- Utilização controlada de pesticidas, herbicidas e fertilizantes;
- Controlo adequado sobre a qualidade das águas residuais domésticas que saem das ETAR's;
- Existência de uma legislação mais apertada no que toca à descarga de inertes e lixos residuais em pedreiras desativadas;

Projetos Futuros:

Com os dados desenvolvidos e obtidos no decorrer desta dissertação as recomendações sugeridas no âmbito da hidrogeologia, geologia, geofísica entre outras áreas são:

Desenvolver campanhas de prospeção para conhecimento geológico, geofísico e hidrogeológico.

Em toda a bacia deveria ser realizado um extenso trabalho, onde fossem abordadas várias áreas da geologia, desde da tectónica, fator relevante nos recursos hídricos. Neste procedimento, utilizar a técnica de geo-radar ou outros instrumentos tecnológicos que permitissem conhecer com maior definição o sub-solo da região.

Na perspetiva hidrogeológica, realizar análises com um maior espectro de parâmetros, podendo inclusive analisar os iões presentes em alguns pontos de água, podendo assim estudar e conhecer de uma melhor forma as origens das águas, e possíveis zonas de contaminação destas. No decorrer das análises das águas, podia ser ainda feita uma análise à quantidade de radão presente nestas, uma vez que a região é constituída por uma forte componente argílitica, não só devido à unidade Arenitos e Argilas do Viso, algumas unidades também contêm porção argílitica relevante.

Abertura de furos profundos (mais de 200m) promoverá um melhor conhecimento das unidades litológicas e da origem das massas de água subterrâneas a nível regional e local. Na execução dos furos, em conjugação com estes, a realização de diferentes logs, onde se obtivesse dados sobre diferentes áreas geológicas.

Acompanhamento direto de algumas exurgências e poços, com determinação do caudal e piezometria, que permitisse ao fim de algum tempo ter uma noção da evolução destes parâmetros ao longo de uma série temporal (meses ou anos) e quais os fatores associados a essa evolução.

Outro possível estudo, seria análise geotécnica, hidrogeológica sobre o vale formado pela falha que se inicia na Lagoa da Vela e à respetiva Lagoa da Vela, uma vez que o pH da água da lagoa é um pH alcalino, mais concretamente pH 8, e ao longo do vale as exurgências e poços com maior profundidade contêm pH entre os 7 e 8, podendo por isso haver uma correlação.

Obrigatoriedade da entrega de relatórios na realização, de furos e, se possível não só entregar o relatório ao dono do terreno, como também à junta de freguesia onde se localiza o terreno, na execução de furos públicos, deve ser exigida a existência do relatório do furo, posteriormente estes estarem disponíveis para a comunidade.

A nível desportivo e social a construção de uma Rota dos Fontanários, com vários circuitos onde fosse possível a realização de vários desportos BTT, ciclismo de estrada, caminhada, trail running, corrida etc. com intuito de dinamizar a região, o turismo, o ambiente, a saúde humana, o lazer e o desporto.

7. Capítulo VII - Referências Bibliográficas

ADMINISTRAÇÃO DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO CENTRO, (2011) - Modelação da Recarga dos Sistemas Aquíferos da Região Hidrográfica do Centro: Relatório Final. Laboratório de Engenharia Civil [LNEG] – Departamento de Hidráulica e Ambiente: Núcleo de Águas Subterrâneas. 132p.

Água no Planeta [Fagar], (2011). Acedido no dia 31 de Dezembro de 2015 em: http://www.fagar.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=53&Itemid=77

Água Subterrânea: Conhecer para Proteger e Preservar (2001) – LNEG. Acedido no dia 30 de Maio de 2015, em: http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/texto

ALMEIDA, A.C. (1998) – A Identidade Física da Gândara; 6p, p. 5-10.

ALMEIDA, A.C. (1997) – Dunas de Quiaios, Gândara e Serra da Boa Viagem: Uma Abordagem Ecológica da Paisagem. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. 321p.

ALMEIDA, C., MENDONÇA, J.J.L., DUARTE, R.S., QUINA, A.P., NEVES, J.R. (2000) – Glossário de Termos Hidrogeológicos. Instituto da Água. 55p.

ALMEIDA, C., MENDONÇA, J. J. L., JESUS, M. R., GOMES, A. J., (2000b) - Sistemas aquíferos de Portugal Continental - Sistema Aquífero do Quaternário de Aveiro (O1). Instituto da água p. 207 Acedido dia 4 de Dezembro 2015, em: <http://snirh.apambiente.pt>

ALMEIDA, C., MENDONÇA, J. J. L., JESUS, M. R., GOMES, A. J., (2000b) - Sistemas aquíferos de Portugal Continental - Sistema Aquífero de Viso-Queridas (O30). Instituto da água p. 207. Acedido dia 4 de Dezembro 2015, em: <http://snirh.apambiente.pt>

ALMEIDA, C., MENDONÇA, J. J. L., JESUS, M. R., GOMES, A. J., (2000b) - Sistemas aquíferos de Portugal Continental – Bacia do Tejo-Sado (T). Instituto da água p. 207. Acedido dia 2 de Janeiro 2015, em: <http://snirh.apambiente.pt>

ALMEIDA, C., MENDONÇA, J.J.L., SILVA, M.A.M., SERRA, A. (1999) – Síntese da Hidrogeologia das Bacias do Mondego, Vouga e Lis. 18p.

ALMEIDA, A.C., SOARES, A.F., CUNHA, L., MARQUES, J.F. (1990) – Proémio ao Estudo do Baixo Mondego. Biblos. 32p.

ANDENDEWEG, B. (2002) – Cenozoic Tectonic Evolution of the Iberian Peninsula, Causes and Effects of Changing Stress Fields. Ph.D. Thesis, Vrije Universiteit Amsterdam.

AZEVEDO, J. M., (2015) – *Cadernos teórico-práticos de apoio à disciplina de Recursos Hídricos, dos Mestrados em Geociência e Eng^a de Minas*. Departamento de Ciências da Terra [DCT] da Universidade de Coimbra.

BASS, J.H., MIENERT, J., ABRANTES, F., PRINS, M.A. (1996) - Late Quaternary Sedimentation on the Portuguese Continental Margin: Climate-Related Processes and Products. Elsevier Science. 23p.

BOSWELL, E.H., GUSHING, E.M., HOSMAN, R.L. (1968) - Quaternary Aquifers in the Mississippi Embayment. Geological Survey Professional Paper. 19p.

CALLAPEZ, P., SOARES PINTO, J. (2003) – História Natural das regiões de Montemor-o-Velho e Figueira da Foz: Estratigrafia, Paleontologia e Arqueologia. In *XXIII Curso de Actualização de Professores de Geociências*. Coimbra: 8 a 10 de Maio de 2003.

CASTILHO, A.M.A. (2008). Lagoas de Quiaios – Contribuição para o seu conhecimento geológico e hidrogeológico. Tese de Doutoramento. Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

CASTILHO, A.M., DINIS, P., MARQUES DA SILVA, M. (2010) - Hidroestratigrafia da Região Meridional do Sistema Aquífero Quaternário de Aveiro. Perfil Realizado a Norte de Quiaios (Centro de Portugal). Revista Electrónica de Ciências da Terra - Geosciences On-line Journal. 4p.

CONDESSO DE MELO, M. T. (2002) – Modelo Matemático de Fluxo e Transporte de Massa do Sistema Multiaquífero Cretácico da Região de Aveiro; Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, p. 377.

CONDESSO DE MELO, T., FERNANDES, J., MIDÕES, C., COSTA ALMEIDA, C., AMARAL, H., GOMES, A. ... MENDONÇA, L. Reservas Estratégicas de Água Subterrânea na Região Centro (Projecto Images); p. 11.

COSTA, A., (2012) - O potencial de Portugal em Águas Subterrâneas, com Destaque para o Aquífero de Moura-Ficalho; VI Encontro de Professores de Geociências do Alentejo e Algarve; 8 p.

DIAS DE OLIVEIRA, E., BORSATO, V. A. (2011) – Propriedades Morfométricas da Bacia Hidrográfica do Córrego Marumbizinho, Jandaia do Sul/PR; Revista Geografar [UFPR]; 18p, p. 76-94;

DIAS, J. A. (1985) - Registos da Migração da Linha de Costa nos últimos 18 000 anos na Plataforma Continental Portuguesa Setentrional. Actas da 1ª Reunião do Quaternário Ibérico, 1, Lisboa, pp. 281-295.

DIAS, R., ARAÚJO, A., TERRINHA, P. e KULLBERG, J. C. (Eds.). (2013) Geologia de Portugal, Volume II, Geologia Meso-cenozóica de Portugal, Escolar Editora, 798 p.

DINIS, J. L. (2001) – Definição da Formação da Figueira da Foz. Aptiano a Cenomaniano do sector central da margem oeste ibérica. Com. Serv. Geol. *Portugal*, 88: 127-160.

DINIS, J.L., REY, J., CUNHA, P.P., CALLAPEZ, P., PENA DOS REIS, R. (2008) - Stratigraphy and Allochthonous Controls of the Western Portugal Cretaceous: An Updated Synthesis. Elsevier Ltd. 9p.

DINIS, J.L., REY, J. CHARLES DE GRACIANSKY, P. (2002) - Le Bassin Lusitanien (Portugal) à l'Aptien supérieur-Albien : Organisation Séquentielle, Proposition de Corrélations, Evolution. Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. 8p.

DINIS, P. (2004) - Evolução Pliocénica e Quaternária do Vale do Cértima. Tese de Doutoramento, Universidade de Coimbra. 351p.

DOMENICO, P.A. and F.W. SCHWARTZ, 1990. *Physical and Chemical Hydrogeology*, John Wiley & Sons, New York, 824 p.

EDMUNDS, W.M., HINSBY, K., MARLIN, C., CONDESSO DE MELO, M.T., MANZANO, M., VAIKMAE, R., TRAVI, Y. (2001) – Evolution of Groundwater Systems at the European Coastline. Geological Society London Special Publications. 24p.

Escoamento Superficial. Acedido no dia 31 de Maio, em <http://www.ebah.pt/content/ABAAAwwsAG/escoamento-superficial>

FERNANDES, M. (1999) – Modelação e Simulação nas Lagoas de Quiaios. Tese de Doutoramento, Universidade do Algarve. 247p.

FILHO, J.L.A., BARBOSA, M.C., AZEVEDO, S.G., MACIEL DE CARVALHO, A. (2011) - O Papel das Águas Subterrâneas como Reserva Estratégica de Água e Diretrizes para a sua Gestão Sustentável. Revista Recursos Hídricos. 9p, p. 53-61.

GIL, A. (2011) – O Planeamento de Recursos Hídricos no Actual Contexto de Incerteza: Objectivos e Metodologias; Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico; p. 144.

Geografia Física de Portugal – Fracturação Tardi-Hercínica (2001) – Acedido no dia 4 de Dezembro 2015, em: <http://web.lettras.up.pt/asaraujo/geofis/t1.html#8%20-%20Fracturacao%20tardi-hercinica>.

Geologia e Estratigrafia do Baixo Mondego – fossil.uc.pt. Acedido no dia 29 de Janeiro de 2016, em: <http://fossil.uc.pt/pags/geolestratbm.dwt>.

Geologia/Hidrogeologia/Clima da Reserva Natural do Paul de Arzila [ICNF] – Instituto da Conservação da Natureza. Acedido no dia 27 de Outubro de 2015, em: <http://www.icnf.pt/portal/ap/r-nat/rnpa/geo>.

GLEICK, P.H. (1993) – Water in Crisis - A Guide to the World's Fresh Water Resources. Oxford University Press. 15p.

GOMES, A. (2008) – Evolução Geomorfológica da Plataforma Litoral entre Espinho e Águeda. Tese de Doutoramento, Universidade do Porto. 344p.

GUILHERME, J. Génese e Evolução Mesozóica da Bacia Lusitânica – Representação nas Proximidades do Juncal (2011). Acedido no dia 22 de Outubro 2015, em: <https://mesozoico.wordpress.com/2011/05/31/genese-e-evolucao-mesozoica-da-bacia-lusitanica-representacao-nas-proximidades-do-juncal/>

HEATH, R.C. (Tenth ed.), (2004) – Basic Ground-Water Hydrology. U.S. Geological Survey. 91p.

HIPÓLITO, J. R., VAZ, A.C. (2011) – Hidrologia e Recursos Hídricos. Coleção Ensino da Ciência e Tecnologia, Instituto Superior Técnico [IST Press], Lisboa, p. 796.

INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINEIRO DE ESPANÑA. (1993) – El Cuaternario en España y Portugal. Volumen 2. Actas da 2 Reunião do Quaternário Ibérico. GTPEQ. 91p.

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO – Ciências para Todos; Água Subterrânea, Capítulo 5 (Sistemas de Drenagem de Água Pluviais). 72p.

JONES, F. Geophysics foundations: Physical properties: Electrical resistivity of geologic materials – UBC Earth Ocean Sciences. Acedido no dia 10 de Março de 2016, em: <https://www.eoas.ubc.ca/ubcgif/iag/foundations/properties/resistivity.htm>

JÚNIOR, A. Elementos de Hidrogeologia Aplicada, Capítulo 6 – Escoamento Superficial. 64p.

KARATO, S., WANG, D. – Electrical Conductivity of mineral and rocks. Physics and Chemistry of the Deep Earth. 92p.

K'OROWE, M., O, NYADAWA, M.O., SINGH, V.S., DHAKATE, R. (2010) - Hydrogeophysical Parameter Estimation for Aquifer Characterisation in Hard Rock Environments: A Case Study from Jangaon sub-watershed, India. Journal of Oceanography and Marine Science Vol. 2(3). 13p.

KRESIC, N., STEVANOVIC, Z. (2010) – Groundwater Hydrology of Springs – Engineering, Theory, Management, and Sustainability. Elsevier. 565p.

KULLBERG, J.C., ROCHA, R. B., SOARES, A.F., REY, J., TERRINHA, P., CALLAPEZ, P. ... NOGUEIRA, C.R. (2006) - A Bacia Lusitânica: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. Universidade de Évora. p. 52, pp. 317-368.

KULLBERG, J.C., ROCHA, B.R., SOARES, A.F., REY, J., TERRINHAS, P., AZERÊDO, A.C. ... NOGUEIRA, C.R. (2013) - A Bacia Lusitânica: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. Escolar Editora. 156p.

LE BIHAN, D. (ed.) (2011) – Water: the forgotten biological molecule; Singapura: Pan Stanford Publishing; 399p.;

MACHADINHO, A. (2008) – Aplicação de Métodos Gravimétricos na Caracterização Tectono-Estrutural do Bordo Norte da Serra da Boa Viagem. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra.

MARQUES, D. (2012) – Contributo da Climatologia para a Sustentabilidade Urbana: O Caso da Figueira da Foz. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra. 191p.

McFADDEN, LUCY-ANN; WEISSMAN, T. J. (2007) – Encyclopedia the Solar System; 2ª ed. Washington: Academic Press; 992p.

MENDES, M.M., BALBINO, A.C., DINIS, J.L., PAIS, J., (2012) – Bennettitales, Erdtmanithecates e Gnetales do Cretácico Inferior da Bacia Lusitânica (litoral Centro-Oeste de Portugal): Síntese e Enquadramento Estratigráfico. LNEG – Laboratório Nacional de Geologia e Energia IP. 8p.

MOURA, A., VELHO, J.L. (2012) – Recursos Geológicos de Portugal: Capítulo 57 – Águas Subterrâneas. Palimage. 14p, p. 523-536.

NAIME, R. As Águas Superficiais (2011). EcoDebate. Acedido no dia 12 de Novembro 2015, em: <https://www.ecodebate.com.br/2011/03/10/as-aguas-superficiais-artigo-de-roberto-naime/>

NEVES (2005) – Análise Integrada Aplicada à Exploração de Água Subterrânea na Bacia do Rio Jundáí (SP) – Capítulo 5 – Hidrogeologia de Rochas Cristalinas. 28p.

O Mesozóico Português: O Caso da Bacia Lusitânica. Acedido no dia 28 de Novembro 2015, em: <https://mesozoico.wordpress.com/mesozoico/>

PAIVA, A. (2015) – Hidrogeologia e Recursos Hídricos Subterrâneos na Bacia Hidrográfica da Ribeira de Ança, Cantanhede. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra. p. 99.

PEDROSA DE ARAÚJO, M. (1991) – Evolução Geomorfológica da Plataforma Litoral da Região do Porto. Tese de Doutoramento, Universidade do Porto. 532p.

QUEVAUVILLER, P. (2008) — Groundwater Science and Policy, an International Overview. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.

RAMOS, A. (2008) – O Pliocénico e o Plistocénico da Plataforma Litoral entre os Paralelos do Cabo Mondego e da Nazaré. Tese de Doutoramento, Universidade de Coimbra. 317p.

RAMOS, A., CUNHA, P.P., GOMES, A. (2009) - Os Traços Geomorfológicos da Área Envolvente da Figueira da Foz e a Evolução da Paisagem Durante o Pliocénico e o Plistocénico. Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos. 7p.

RIBEIRO, L. (2009) – Gestão Integrada de Bacias Hidrográficas. Recarga. Instituto Superior Técnico. 14p.

RIBEIRO, L., CONDESSO DE MELO, M.T., NASCIMENTO, J., BUXO, A., BARREIRAS, N., MIGUËNS, F., MENDES, P. – Breve Síntese Sobre as Águas Subterrâneas nos Planos de Gestão das Bacias Hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Liz. CVRM – Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. 10p.

ROBERTS, M. B. B. (1986) – Biology: A Functional Approach; 4ed: Nelson Thornes; 693 p.

ROCHA, J.S., FREITAS, H. (1998) – O Rio Mondego. O Ambiente Fluvial e a sua Ecologia. 14p.

ROCHA, R. B., MANUPPELLA, G., MOUTERDE, R., RUGET, C. & ZBYSZEWSKI, G. (1981) Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50 000. Notícia explicativa da folha 19-A Quiaios. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, p. 1-45.

ROCHA, R. B., MANUPPELLA, G., MOUTERDE, R., RUGET, C. & ZBYSZEWSKI, G. (1981) Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50 000. Notícia explicativa da folha 19-C Figueira da Foz. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, p. 1-126.

SERRANO, L., REINA, M., MARTÍN, G., REYES, I., ARECHEDERRA, A., LEÓN, D., TOJA, J. (2006) - The Aquatic Systems of Doñana (SW Spain): Watersheds and Frontiers. 21p.

SOARES, A. (1999) – As Unidades Pliocénicas e Quaternárias no Espaço do Baixo Mondego (Uma Perspectiva de Ordem); 10p; p. 7-17.

SOARES, A.F., CUNHA, L., CAMPAR DE ALMEIDA, A., MARQUES, J.F. (1992) – Depósitos Quaternários do Baixo Mondego. Estado Actual dos Conhecimentos e Tentativa de Coordenação Morfogenética. 10p.

SOARES, G.C. (1964) – Areias da Gândara (Portugal): Uma Formação Eólica Quaternária. Porto: Imprensa Portuguesa. 32p.

VEIGA DA CUNHA, R., RIBEIRO, L., PROENÇA DE OLIVEIRA, R., NASCIMENTO, J. – Recursos Hídricos (Capítulo 3). 54p, p. 114-168.

Anexos

Anexo 1: Parâmetros Físico-Químicos; Campanhas Dez 15 (1); Jan 16 (2) e Jun 16 (3).

(1) Ponto de Água	pH	ORP (mv)	Eh (mV)	pe	T _{H2O} (°C)	CE (µS/cm)
1.17	6,50	135	349	6,15	13,2	490
1.1	7,11	117	331	5,78	15,7	589
1.12	7,03	111	325	5,71	14,1	725
1.13	6,89	73	287	5,07	12,8	640
1.2	6,50	-24	190	3,30	17,1	231
1.3	7,27	36	250	4,39	14,0	559
1.14	7,14	141	355	6,25	13,5	539
1.18	5,04	141	355	6,27	12,5	332
1.4	5,09	150	364	6,43	12,7	270
1.5	6,62	120	334	5,88	13,8	397
1.6	7,51	45	259	4,58	12,5	431
1.7	7,10	86	300	5,27	14,3	230
1.15	7,40	169	383	6,75	13,1	517
1.8	6,95	62	276	4,87	12,7	443
1.16	6,90	173	387	6,72	17,5	279
1.9	6,95	138	352	6,16	15,5	166
1.10	5,46	161	375	6,53	16,9	175
1.19	5,84	125	339	5,93	15,3	112
1.11	7,06	193	407	7,14	14,5	316
2.1	5,71	165	379	6,65	14,5	79
2.2	6,40	142	356	6,20	16,7	420
2.3	6,12	177	391	6,89	13,2	236
2.6	6,09	117	331	5,77	16,3	244
2.4	6,64	122	336	5,88	15,3	116
2.7	6,20	175	389	6,77	16,9	290
2.5	6,63	154	368	6,45	14,7	166
2.6	6,59	170	384	6,73	14,8	339
2.7	6,61	134	348	6,09	15,2	304
3.1	6,68	162	376	6,58	15,2	346
3.10	7,02	65	279	4,92	13,3	630

3.2	6,00	172	386	6,74	15,8	420
3.3	6,79	84	298	5,23	14,3	437
3.4	6,00	155	369	6,44	16,2	291
3.11	6,83	137	351	6,17	14,0	468
3.5	5,50	165	379	6,64	15,1	112
3.6	5,82	164	378	6,60	16,0	130
3.12	6,79	141	355	6,25	13,8	411
3.7	6,20	142	356	6,21	16,4	262
3.13	7,09	141	355	6,24	14,2	409
3.8	5,55	201	415	7,27	15,1	306
3.9	6,10	223	437	7,61	16,9	465
4.1	5,75	166	380	6,61	17	376
4.7	6,47	162	376	6,62	13,5	401
4.8	4,59	218	432	7,52	17	140
4.2	7,31	158	372	6,52	15	749
4.3	6,34	55	269	4,69	16,1	308
4.4	5,99	160	374	6,51	17	409
4.6	6,90	159	373	6,56	14	473
4.5	6,81	178	392	6,85	15,7	463
4.9	7,03	7	221	3,88	14,6	682
5.1	6,21	407	621	10,78	17,7	183
5.10	7,16	23	237	4,15	14,8	352
5.2	6,98	110	324	5,66	15,9	457
5.6	7,31	91	305	5,34	15,2	225
5.11	7,33	98	312	5,46	15,5	219
5.3	6,80	91	305	5,33	15,5	483
5.4	5,50	147	361	6,30	15,9	280
5.7	6,90	154	368	6,44	15,4	328
5.5	5,59	144	358	6,22	17,3	270
5.8	7,15	122	336	5,89	15,0	316

(2) Ponto de Água	pH	ORP (mv)	Eh (mV)	pe	T_{H2O} (°C)	CE (µS/cm)
1.1	6,74	45	259	4,55	15,1	531
1.12	6,61	37	251	4,45	12,7	756
1.13	6,65	81	295	5,23	12,8	462
1.2	5,88	-26	188	3,30	15,6	331
1.3	6,00	120	334	5,85	15,9	433
1.14	6,74	45	259	4,55	15,1	531
1.4	6,71	-1	213	3,77	12,9	481
1.5	4,61	115	329	5,83	12,8	329
1.6	6,71	48	262	4,64	13,2	361
1.7	7,36	94	308	5,48	11,4	437
1.15	7,03	98	312	5,54	12,3	461
1.16	6,95	138	352	6,16	15,5	166
1.9	5,46	161	375	6,53	16,9	175
1.10	5,84	125	339	5,93	15,3	112
1.19	7,06	193	407	7,14	14,5	316
1.11	5,71	165	379	6,65	14,5	79
2.1	6,40	142	356	6,20	16,7	420
2.2	6,12	177	391	6,89	13,2	236
2.3	6,09	117	331	5,77	16,3	244
2.6	6,64	122	336	5,88	15,3	116
2.4	6,20	175	389	6,77	16,9	290
2.7	6,63	154	368	6,45	14,7	166
2.5	6,59	170	384	6,73	14,8	339
2.8	6,68	162	376	6,58	15,2	346
3.1	5,84	204	418	7,26	17,3	427

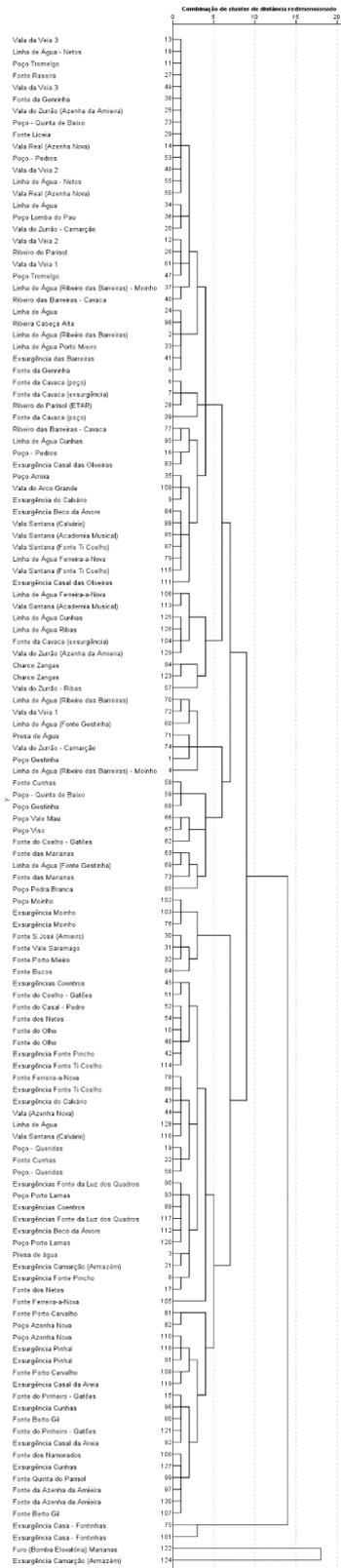
3.10	6,98	105	319	5,64	13,4	553
3.2	5,80	156	370	6,48	16,3	404
3.3	6,56	131	345	6,09	13,6	436
3.4	6,08	138	352	6,18	15,3	281
3.11	6,81	98	312	5,51	13,5	508
3.5	5,26	170	384	6,77	14,4	133
3.6	5,83	190	404	7,10	15,2	221
3.12	6,63	133	347	6,13	13,6	460
3.7	6,23	143	357	6,28	15,0	289
3.13	6,60	148	362	6,40	13,3	421
3.8	5,16	183	397	6,97	15,2	341
3.9	6,18	175	389	6,83	15,4	577
4.1	6,50	127	341	6,06	11,7	400
4.2	7,16	125	339	5,99	13,7	706
4.3	6,10	72	286	5,03	14,8	328
4.4	5,80	141	355	6,24	15,1	416
4.6	6,70	130	344	6,08	13,6	455
4.5	6,90	137	351	6,17	14,9	450
5.9	6,56	153	367	6,52	12,1	488
5.1	7,16	125	339	5,99	13,7	706
5.2	6,63	135	349	6,14	15,0	425
5.6	6,83	135	349	6,19	12,7	227
5.3	6,42	155	369	6,52	13,7	470
5.4	5,21	174	388	6,82	15,0	282
5.7	6,61	93	307	5,42	13,8	352
5.8	5,36	154	368	6,43	16,6	282
5.5	6,86	136	350	6,19	13,2	378

6.1	54	5,35	124	338	5,97	13,5
6.5	54	6,56	101	315	5,57	13,3
6.2	65	5,54	164	378	6,63	15,5
6.6	62	6,99	111	325	5,74	13,6
6.3	34	6,72	146	360	6,36	13,7
6.7	14	7,04	125	339	6,03	11,6
6.4	33	6,38	144	358	6,32	14,0
7.1	86	5,40	153	367	6,47	14,1
7.2	80	5,59	134	348	6,14	14,0
7.3	81	6,50	109	323	5,68	15,0
7.4	65	6,02	130	344	6,07	13,8
7.5	62	6,71	87	301	5,33	13,2
8.1	52	5,31	141	355	6,23	15,6
8.5	52	6,69	126	340	6,03	12,6
8.2	63	6,17	129	343	6,04	14,3
8.3	62	6,88	210	424	7,48	14,0
8.4	52	6,68	156	370	6,52	14,3

(3) Ponto de Água	pH	ORP (mv)	Eh (mV)	pe	T_{H2O} (°C)	CE (µS/cm)	Alcalinidade (mg/LCaCO3)	CO₂ (mg/L)
1.1	7,08	39	253,0	4,33	22,9	416	18	207
1.13	6,75	30,5	244,5	4,22	20,3	300	19,2	225
1.2	5,70	-81	133,0	2,31	18	193	84	110
1.3	6,14	170	384,0	6,61	21,0	374	34	300
1.14	6,59	-10,2	203,8	3,53	19,4	305	22	95
1.4	4,89	142	356,0	6,20	17,6	217	19,4	4
1.6	7,12	-249	-35,0	-0,61	19,1	305	17,8	299
1.7	6,00	88	302,0	5,27	17,3	209	18,6	29
1.15	6,96	14	228,0	3,93	20,9	268	17,8	97
1.8	6,61	120	334,0	5,75	20,9	287	22,6	60
1.16	6,62	90	304,0	5,27	18,8	174	32	102
1.9	6,20	126	340,0	5,92	17,7	336	54	69
1.10	5,89	126	340,0	5,89	19,2	119	23	17
1.19	7,18	124	338,0	5,84	20,1	308	21	104
1.11	7,34	120	334,0	5,74	21,7	109	36,8	31
2.1	6,95	108	322,0	5,60	17,9	358	24,2	126
2.2	6,10	-170	44,0	0,77	17	176	30	50
2.3	6,61	137	351,0	6,07	20	301	30,8	140
2.6	6,97	116	330,0	5,75	17,5	110	11	21
2.4	6,55	127	341,0	5,95	17,2	263	23	118
2.7	6,82	118	332,0	5,78	17,6	165	33,8	56
3.1	5,85	156	370,0	6,44	17,7	282	39,8	23
3.10	6,78	113	327,0	5,67	18,9	420	41,8	142
3.2	6,10	180	394,0	6,86	17,7	385	39	32
3.3	7,01	143	357,0	6,10	23,5	343	38	238
3.4	6,18	244	458,0	7,99	17,2	229	50,6	103
3.11	7,15	136	350,0	6,06	19,6	373	36,2	64
3.5	5,80	112	326,0	5,66	18,4	107	34	29
3.6	5,78	111	325,0	5,65	18,5	211	26,8	50
3.12	6,40	71	285,0	4,93	19,9	316	25	82

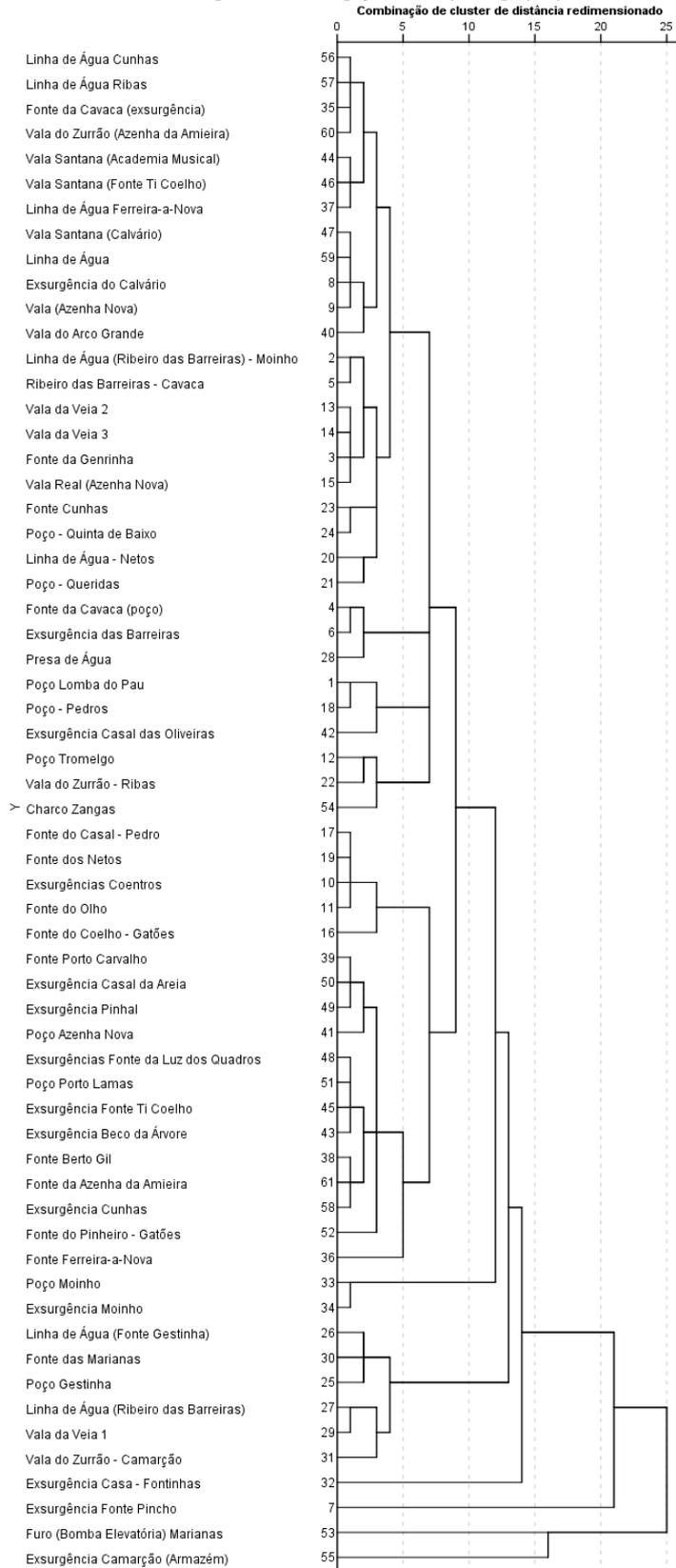
3.7	6,14	116	330,0	5,75	17,5	160	29,4	49
3.13	6,90	123	337,0	5,82	20,2	302	21	87
3.8	5,38	170	384,0	6,69	17,7	339	40	15
3.9	5,99	157	371,0	6,46	17,6	542	31,2	181
4.2	7,55	4,4	218,4	3,81	17,5	677	29,8	395
4.3	6,28	2	216,0	3,76	18,1	274	31,4	56
4.4	6,20	65	279,0	4,85	18,3	393	22,4	95
4.6	6,65	39,4	253,4	4,38	20	410	12,2	85
4.5	8,00	85,3	299,3	5,18	19,6	484	16	172
5.9	7,01	-15	199,0	3,43	20,9	484	52	271
5.1	6,70	115	329,0	5,72	18,0	360	27,6	109
5.2	6,75	40	254,0	4,44	16,6	358	23,6	218
5.6	7,05	83	297,0	5,18	17,4	238	13,8	55
5.3	6,68	84	298,0	5,14	20,6	304	21,2	125
5.4	5,80	119	333,0	5,82	16,7	212	21,8	12
5.7	6,99	93	307,0	5,35	17,5	263	19	78
5.8	6,78	93	307,0	5,32	19,1	333	45,6	110
5.5	6,04	144	358,0	6,25	16,8	204	26	45
6.1	5,53	117	331,0	5,74	18,8	482	26,8	90
6.5	6,50	68	282,0	4,86	20,6	374	27,2	156
6.2	5,85	143	357,0	6,25	16	180	19,4	22
6.6	6,41	-50	164,0	2,87	16,8	594	28,2	348
6.7	6,81	113	327,0	5,65	19,8	258	15,4	112
6.4	6,76	103	317,0	5,57	15,3	438	19,4	124
7.1	5,42	157	371,0	6,46	17,9	399	25,4	19
7.2	5,93	144	358,0	6,15	21,9	412	21	61
7.3	6,09	129	343,0	5,96	18,3	354	24,2	99
7.4	6,59	116	330,0	5,67	21,9	640	41,8	505
8.1	5,54	143	357,0	6,25	16,4	325	56,6	12
8.5	6,38	122	336,0	5,83	18,6	464	17,2	106
8.2	6,42	110	324,0	5,60	19,7	410	38,4	170
8.3	7,01	141	355,0	6,17	18,4	448	16,6	124
8.4	6,91	130	344,0	5,88	23,3	395	101	233

Dendrograma usando ligação média (entre grupos)



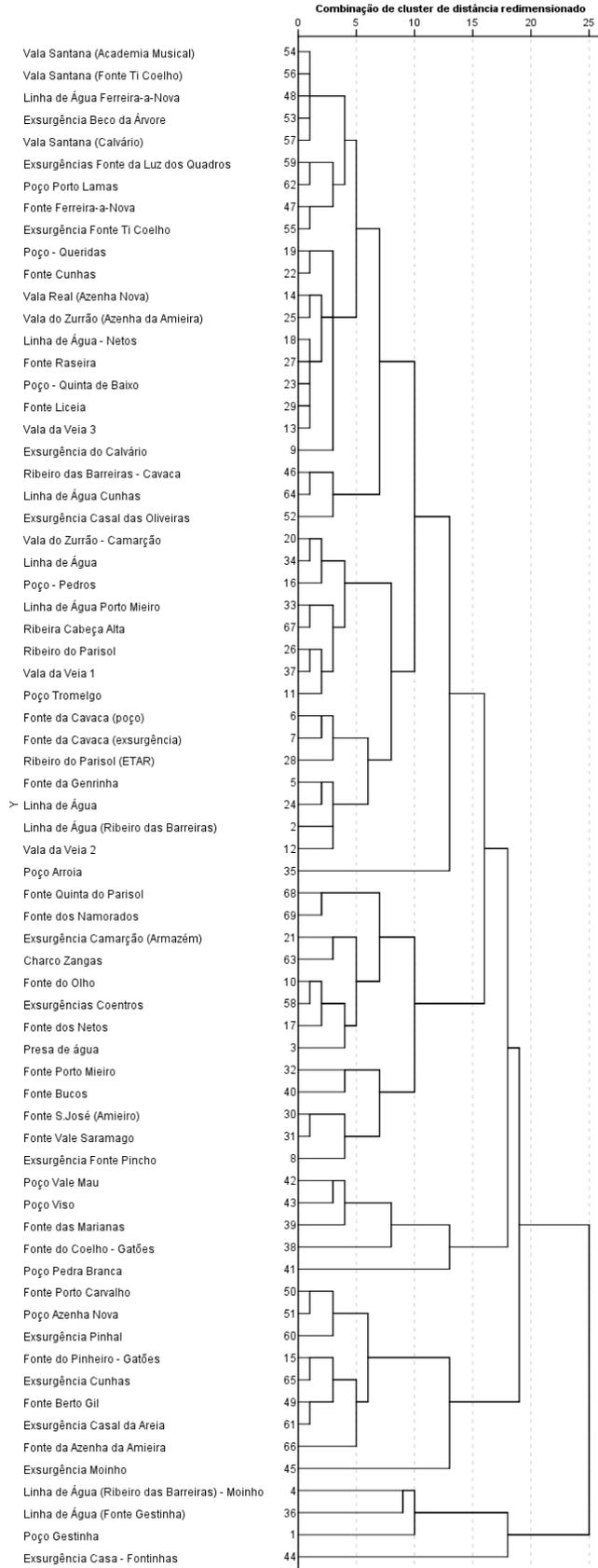
Todos Pontos - pH, pe, Ce e T; Com variáveis estandardizadas - Z

Dendrograma usando ligação média (entre grupos)



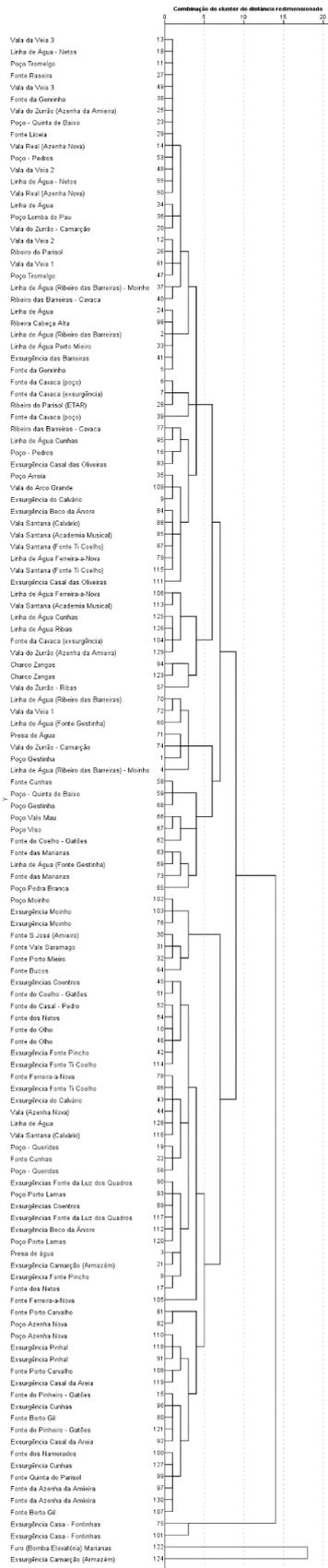
Só campanha Dez2015; Cota pH pe CE e T - Z

Dendrograma usando ligação média (entre grupos)



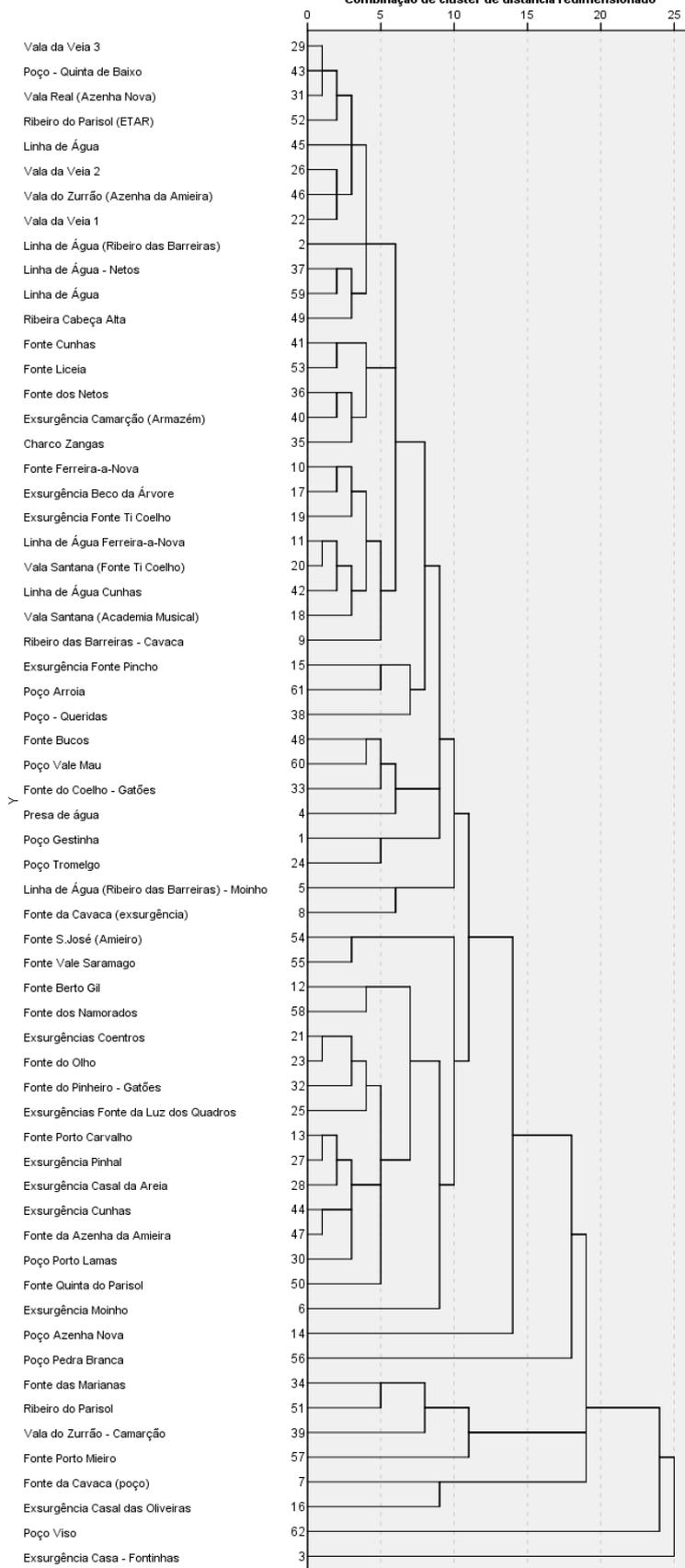
Só campanha Jan2016 - Cota, pH, pe, CE e T - Z

Dendrograma usando ligação média (entre grupos)



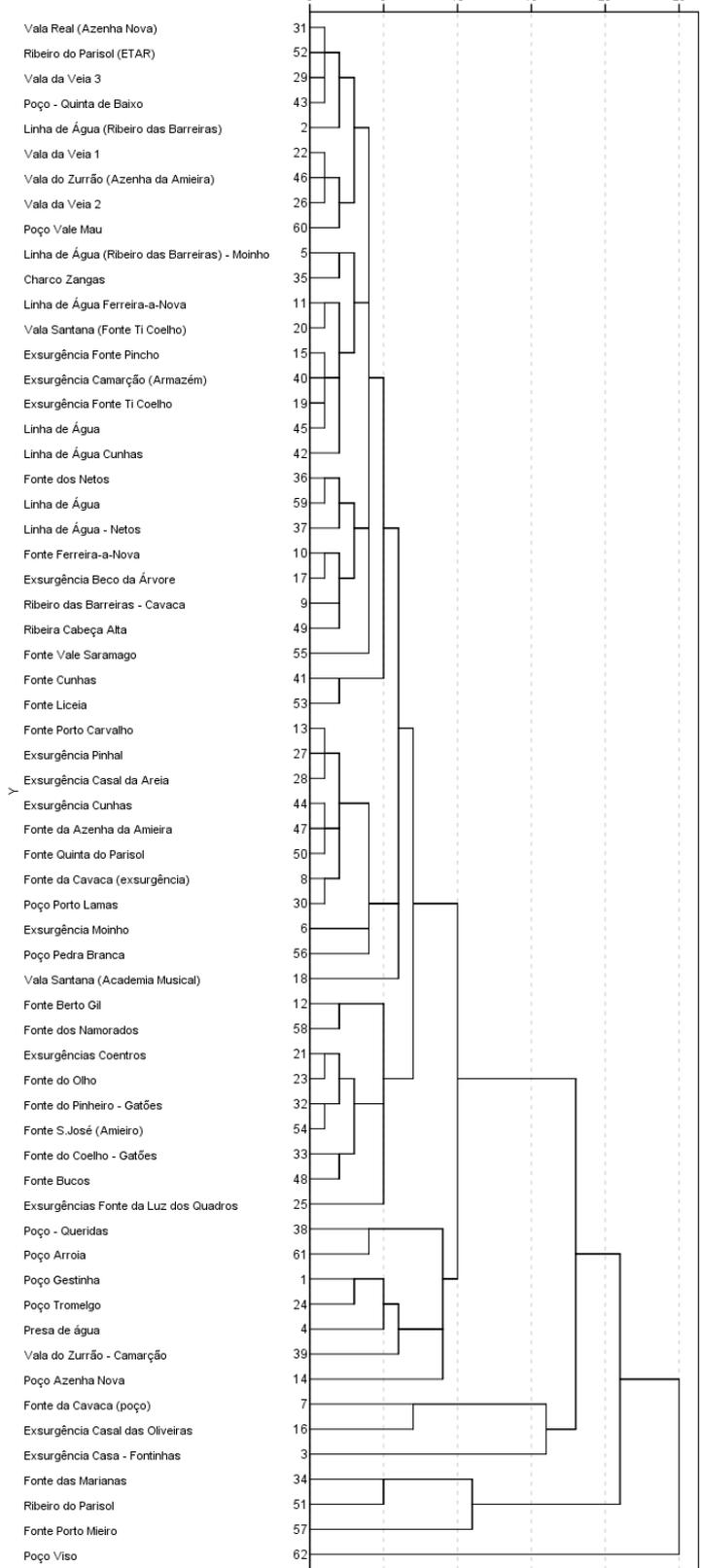
Dez e Jan - pH, pe, Ce e T; Com variáveis estandardizadas - Z

Dendrograma usando ligação média (entre ...
 Combinação de cluster de distância redimensionado

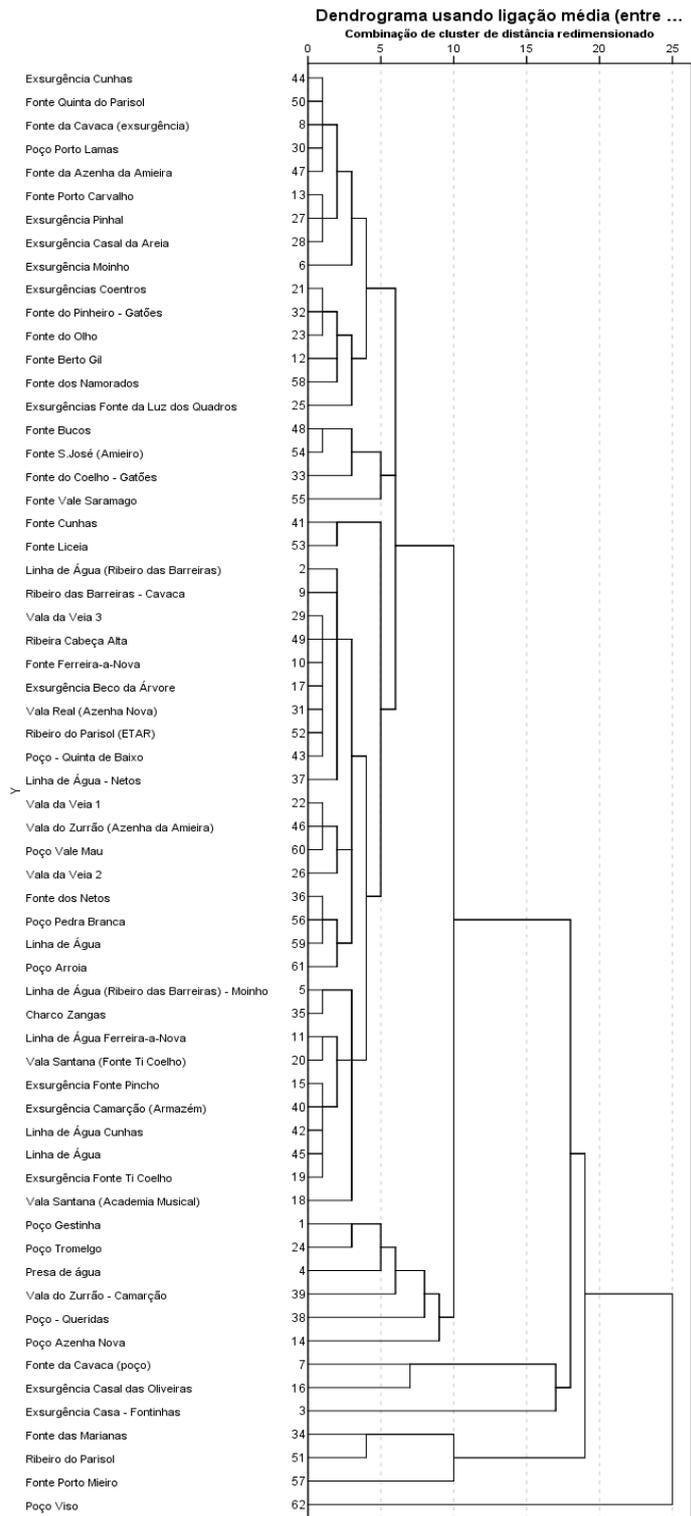


Todas as variáveis Jan e Jun

Dendrograma usando ligação média (entre ...
 Combinação de cluster de distância redimensionado



Só Jun CE/CE Jan



Só campanha Jun2016 - Cota, pH, pe, CE e T - Z

Anexo 3: Estatística Descritiva para as campanhas de Janeiro 2016 e Junho 2016.

Descritivas^{a,b,c,d,e,f,g,h}

	Data		Estatística	Erro Padrão		
Cota (m)	JAN	Média	39,548	2,2225		
	2016	95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	35,104		
			Limite superior	43,993		
		5% da média aparada	38,432			
		Mediana	32,000			
		Variância	306,252			
		Desvio Padrão	17,5000			
		Mínimo	14,0			
		Máximo	86,0			
		Amplitude	72,0			
		Amplitude interquartil	25,0			
		Assimetria	,940	,304		
		Curtose	,189	,599		
	JUN	JUN	Média	39,548	2,2225	
		2016	95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	35,104	
				Limite superior	43,993	
			5% da média aparada	38,432		
		Mediana	32,000			
		Variância	306,252			
		Desvio Padrão	17,5000			
		Mínimo	14,0			
		Máximo	86,0			
		Amplitude	72,0			
		Amplitude interquartil	25,0			
		Assimetria	,940	,304		
		Curtose	,189	,599		
T (°C)		JAN	Média	14,131	,1533	
		2016	95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	13,824	
				Limite superior	14,437	
			5% da média aparada	14,147		

		Mediana		14,000	
		Variância		1,456	
		Desvio Padrão		1,2068	
		Mínimo		11,4	
		Máximo		16,6	
		Amplitude		5,2	
		Amplitude interquartil		1,8	
		Assimetria		-,123	,304
		Curtose		-,590	,599
	JUN	Média		18,826	,2296
	2016	95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	18,367	
			Limite superior	19,285	
		5% da média aparada		18,745	
		Mediana		18,400	
		Variância		3,268	
		Desvio Padrão		1,8076	
		Mínimo		15,3	
		Máximo		23,5	
		Amplitude		8,2	
		Amplitude interquartil		2,5	
		Assimetria		,686	,304
		Curtose		,080	,599
pH	JAN	Média		6,25119	,076534
	2016	95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	6,09815	
			Limite superior	6,40423	
		5% da média aparada		6,26890	
		Mediana		6,44500	
		Variância		,363	
		Desvio Padrão		,602631	
		Mínimo		4,610	
		Máximo		7,360	
		Amplitude		2,750	
		Amplitude interquartil		,860	
		Assimetria		-,585	,304
		Curtose		-,385	,599
	JUN	Média		6,44565	,073188

2016	95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	6,29930		
		Limite superior	6,59199		
	5% da média aparada		6,44771		
	Mediana		6,57000		
	Variância		,332		
	Desvio Padrão		,576284		
	Mínimo		4,890		
	Máximo		8,000		
	Amplitude		3,110		
	Amplitude interquartil		,810		
	Assimetria		-,146	,304	
	Curtose		,216	,599	
	pe	JAN	Média	6,143889521014616	,094753314234502
		2016	95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	5,954418559114904
Limite superior				6,333360482914328	
5% da média aparada		6,200987927095095			
Mediana		6,183474017872157			
Variância		,557			
Desvio Padrão		,746088342371181			
Mínimo		3,2982890125747270			
Máximo		7,4801427789894790			
Amplitude		4,1818537664147520			
Amplitude interquartil		,6819626027606462			
Assimetria		-1,385	,304		
Curtose		3,774	,599		
2016		JUN	Média	5,291451612903226	,175890849821668
	95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	4,939736121215081		
		Limite superior	5,643167104591372		
	5% da média aparada		5,432114695340502		
	Mediana		5,7300000000000000		
	Variância		1,918		
	Desvio Padrão		1,384965936462443		
	Mínimo		-,6100000000000000		
	Máximo		7,9900000000000000		
	Amplitude		8,6000000000000000		

		Amplitude interquartil	1,1500000000000004	
		Assimetria	-2,051	,304
		Curtose	6,000	,599
CE (µS/cm)	JAN	Média	383,774	18,4778
	2016	95% Intervalo de Confiança para Média		
		Limite inferior	346,826	
		Limite superior	420,723	
		5% da média aparada	377,971	
		Mediana	374,500	
		Variância	21168,604	
		Desvio Padrão	145,4943	
		Mínimo	94,0	
		Máximo	897,0	
		Amplitude	803,0	
		Amplitude interquartil	177,0	
		Assimetria	,713	,304
		Curtose	1,568	,599
	JUN	Média	325,177	15,9387
	2016	95% Intervalo de Confiança para Média		
		Limite inferior	293,306	
		Limite superior	357,049	
		5% da média aparada	320,034	
		Mediana	320,500	
		Variância	15750,607	
		Desvio Padrão	125,5014	
		Mínimo	107,0	
		Máximo	677,0	
		Amplitude	570,0	
		Amplitude interquartil	175,8	
		Assimetria	,489	,304
		Curtose	,368	,599
TDS (mg/L)	JAN	Média	268,641935483870950	12,934460048024226
	2016	95% Intervalo de Confiança para Média		
		Limite inferior	242,777884112671640	
		Limite superior	294,505986855070260	
		5% da média aparada	264,579928315412130	
		Mediana	262,150000000000000	
		Variância	10372,616	

		Desvio Padrão	101,846040264233950	
		Mínimo	65,80000000000000	
		Máximo	627,90000000000000	
		Amplitude	562,10000000000000	
		Amplitude interquartil	123,90000000000000	
		Assimetria	,713	,304
		Curtose	1,568	,599
JUN		Média	268,641935483870950	12,934460048024226
2016	95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	242,777884112671640	
		Limite superior	294,505986855070260	
		5% da média aparada	264,579928315412130	
		Mediana	262,15000000000000	
		Variância	10372,616	
		Desvio Padrão	101,846040264233950	
		Mínimo	65,80000000000000	
		Máximo	627,90000000000000	
		Amplitude	562,10000000000000	
		Amplitude interquartil	123,90000000000000	
		Assimetria	,713	,304
		Curtose	1,568	,599
CO2 (mg/L CO2)	JAN	Média	30,094	1,9815
	2016	95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	26,131
			Limite superior	34,056
		5% da média aparada	28,320	
		Mediana	26,400	
		Variância	243,434	
		Desvio Padrão	15,6024	
		Mínimo	11,0	
		Máximo	101,0	
		Amplitude	90,0	
		Amplitude interquartil	17,0	
		Assimetria	2,359	,304
		Curtose	7,754	,599
JUN		Média	30,094	1,9815
2016	95% Intervalo de Confiança	Limite inferior	26,131	

		para Média	Limite superior		34,056		
		5% da média aparada			28,320		
		Mediana			26,400		
		Variância			243,434		
		Desvio Padrão			15,6024		
		Mínimo			11,0		
		Máximo			101,0		
		Amplitude			90,0		
		Amplitude interquartil			17,0		
		Assimetria			2,359	,304	
		Curtose			7,754	,599	
Alcalinidade (mg/L CaCO3)	JAN 2016	Média			117,194	12,7320	
		95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior		91,734		
			Limite superior		142,653		
		5% da média aparada			106,783		
		Mediana			96,000		
		Variância			10050,454		
		Desvio Padrão			100,2520		
		Mínimo			4,0		
		Máximo			505,0		
		Amplitude			501,0		
		Amplitude interquartil			95,8		
		Assimetria			1,681	,304	
		Curtose			3,342	,599	
		JUN 2016	Média			117,194	12,7320
			95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior		91,734	
				Limite superior		142,653	
			5% da média aparada			106,783	
Mediana				96,000			
Variância				10050,454			
Desvio Padrão				100,2520			
Mínimo				4,0			
Máximo				505,0			
Amplitude				501,0			
Amplitude interquartil				95,8			

Assimetria	1,681	,304
Curtose	3,342	,599

- a. Não há casos válidos para Cota (m) quando Data = 13669516800,000. As estatísticas não podem ser calculadas para esse nível.
- b. Não há casos válidos para T (°C) quando Data = 13669516800,000. As estatísticas não podem ser calculadas para esse nível.
- c. Não há casos válidos para pH quando Data = 13669516800,000. As estatísticas não podem ser calculadas para esse nível.
- d. Não há casos válidos para pe quando Data = 13669516800,000. As estatísticas não podem ser calculadas para esse nível.
- e. Não há casos válidos para CE ($\mu\text{S/cm}$) quando Data = 13669516800,000. As estatísticas não podem ser calculadas para esse nível.
- f. Não há casos válidos para TDS (mg/L) quando Data = 13669516800,000. As estatísticas não podem ser calculadas para esse nível.
- g. Não há casos válidos para CO₂ (mg/L CO₂) quando Data = 13669516800,000. As estatísticas não podem ser calculadas para esse nível.
- h. Não há casos válidos para Alcalinidade (mg/L CaCO₃) quando Data = 13669516800,000. As estatísticas não podem ser calculadas para esse nível.

Anexo 4: Correlações (Spearman) dos diversos parâmetros físico-químicos.

			Correlações (Spearman)											
			Latitude	Longitude	Cota (m)	Campanha	T (°C)	pH	pe	CE (µS/cm)	CO2 (mg/L CO2)	Alcalinidade (mg/L CaCO3)	Q Max (m3/s)	Q min (m3/s)
rô de Spearman	Latitude	Coefficiente de Correlação	1,000	-,004	,539**	,067	,016	,003	-,165*	,403**	,185*	,168	-,075	-,011
		Sig. (bilateral)	.	,955	,000	,344	,826	,972	,022	,000	,039	,063	,662	,948
		N	199	199	199	199	192	192	192	192	124	124	36	36
	Longitude	Coefficiente de Correlação	-,004	1,000	,003	,181*	,076	-,249**	,250**	-,064	,156	-,095	-,558**	-,353*
		Sig. (bilateral)	,955	.	,972	,010	,292	,000	,000	,374	,084	,292	,000	,035
		N	199	199	199	199	192	192	192	192	124	124	36	36
	Cota (m)	Coefficiente de Correlação	,539**	,003	1,000	,130	,084	-,063	-,102	,441**	,117	,204*	,151	,258
		Sig. (bilateral)	,000	,972	.	,067	,244	,386	,159	,000	,197	,023	,378	,128
		N	199	199	199	199	192	192	192	192	124	124	36	36
	Campanha	Coefficiente de Correlação	,067	,181*	,130	1,000	,561**	-,061	-,322**	-,093	,000	,000	,000	,000
		Sig. (bilateral)	,344	,010	,067	.	,000	,402	,000	,197	1,000	1,000	1,000	1,000
		N	199	199	199	199	192	192	192	192	124	124	36	36
	T (°C)	Coefficiente de Correlação	,016	,076	,084	,561**	1,000	-,095	-,193**	-,254**	,086	,013	,032	,043
		Sig. (bilateral)	,826	,292	,244	,000	.	,191	,007	,000	,344	,886	,855	,808
		N	192	192	192	192	192	192	192	192	124	124	35	35
pH	Coefficiente de Correlação	,003	-,249**	-,063	-,061	-,095	1,000	-,411**	,366**	-,290**	,484**	,276	,186	
	Sig. (bilateral)	,972	,000	,386	,402	,191	.	,000	,000	,001	,000	,109	,286	
	N	192	192	192	192	192	192	192	192	124	124	35	35	
pe	Coefficiente de Correlação	-,165*	,250**	-,102	-,322**	-,193**	-,411**	1,000	-,191**	,166	-,275**	-,352*	-,158	
	Sig. (bilateral)	,022	,000	,159	,000	,007	,000	.	,008	,066	,002	,038	,366	
	N	192	192	192	192	192	192	192	192	124	124	35	35	
CE (µS/cm)	Coefficiente de Correlação	,403**	-,064	,441**	-,093	-,254**	,366**	-,191**	1,000	,017	,486**	,180	-,047	
	Sig. (bilateral)	,000	,374	,000	,197	,000	,000	,008	.	,852	,000	,302	,787	
	N	192	192	192	192	192	192	192	192	124	124	35	35	
CO2 (mg/L CO2)	Coefficiente de Correlação	,185*	,156	,117	,000	,086	-,290**	,166	,017	1,000	,057	-,407*	-,201	
	Sig. (bilateral)	,039	,084	,197	1,000	,344	,001	,066	,852	.	,527	,017	,254	
	N	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	34	34	
Alcalinidade (mg/L CaCO3)	Coefficiente de Correlação	,168	-,095	,204*	,000	,013	,484**	-,275**	,486**	,057	1,000	,026	,044	
	Sig. (bilateral)	,063	,292	,023	1,000	,886	,000	,002	,000	,527	.	,885	,804	
	N	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	34	34	
Q Max (m3/s)	Coefficiente de Correlação	-,075	-,558**	,151	,000	,032	,276	-,352*	,180	-,407*	,026	1,000	,613**	
	Sig. (bilateral)	,662	,000	,378	1,000	,855	,109	,038	,302	,017	,885	.	,000	
	N	36	36	36	36	35	35	35	35	34	34	36	36	
Q min (m3/s)	Coefficiente de Correlação	-,011	-,353*	,258	,000	,043	,186	-,158	-,047	-,201	,044	,613**	1,000	
	Sig. (bilateral)	,948	,035	,128	1,000	,808	,286	,366	,787	,254	,804	,000	.	
	N	36	36	36	36	35	35	35	35	34	34	36	36	

** . A correlação é significativa no nível 0,01 (bilateral).

* . A correlação é significativa no nível 0,05 (bilateral).

Anexo 5: Caudais Exsurgência – Caudal em relação à série temporal (meses).

