



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
FACULDADE DE ENGENHARIA
Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura

Modelo Geohidráulico das Águas Sulfúreas da Bacia do Rio Dão

Teresa Catarina Gomes da Costa

Tese para obtenção do Grau de Doutor em
Engenharia Civil
(3º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Luís Manuel Ferreira Gomes (UBI)
Co-orientador: Prof. Doutor Alcino Sousa Oliveira (UTAD)

Covilhã, junho de 2018

Dedicatória

Ao meu companheiro de vida, pelo apoio incondicional neste e em todos os projetos.

- Fernando, prometo que no futuro irei abrandar o ritmo.

À pequena Sofia por querer muito ajudar nos trabalhos de amostragem dos pontos de água: “vamos passear mãe?”, quer na elaboração do documento escrito em que partilhámos o monitor para ver desenhos animados, assim como no tratamento de resultados: “esses desenhos que fazes são tão giros mãe, também posso pintar no computador?”, ou então “Xiiii... que mapa tão grande, vou ajudar-te...”, sempre com espírito crítico apurado “Mãe, ainda tens muitos “TPC’s? Eu já acabei...”-

A ti doce Sofia, ☺, a mãe garante que te vais cansar de tanto brincarmos!



Figura i.1 - Registo do contributo dedicado e especial na elaboração do presente trabalho (levantamento de campo e execução de mapas).

Agradecimentos

O presente trabalho representa mais uma etapa, no longo percurso iniciado em finais de 1996, em que reconheci o desafio constante que representa a Geotecnia na Engenharia Civil.

Desde caloiria, até ao dia de hoje, muito agradeço por me ter inculido o gosto pela Geotecnia, pela persistência, pelo alto nível de exigência que incute nos trabalhos, pelas dúvidas prontamente esclarecidas a título gracioso, neste e de outros projetos, pela orientação concisa, oportuna e apoiada, pela confiança em mim depositada, pela imensa estima demonstrada, que supera há muito o âmbito profissional: o meu mais sincero, muito obrigada Prof. Doutor Luís Ferreira Gomes (Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura da Universidade da Beira Interior, U.B.I.).

Ao Prof. Doutor Alcino Oliveira (Departamento de Geologia da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, U.T.A.D.) estou grata por me ter colocado o desafio de desenvolver o presente trabalho científico, pelo esclarecimento sucinto, pela competência científica e orientação, pela simplicidade de relacionamento, cujo apreço ultrapassa o campo profissional.

Agradeço, também, ao executivo da Câmara Municipal de Santa Comba Dão que sempre apoiou e acreditou no projeto das Termas do Granjal, permitindo a publicação dos resultados da captação AQ1 no Granjal, sem os quais o presente estudo não teria sido possível.

À (ma) Nita agradeço pelos laços que sempre nos uniram, pelo carinho incondicional, pelo apoio que sempre conto quando abraço novos desafios. Pela imensa amizade, pelo espírito de entreajudada, pela generosidade e harmonia que emanam entre as nossas famílias. Obrigada.

Aos meus pais que sempre inculiram os valores morais e éticos que tento seguir e transmitir à geração seguinte. Aos meus queridos e saudosos avós que com eles aprendi que “o saber não ocupa lugar”.

À Direção do Centro de Exploração de Geotecnia e Reabilitação da empresa Teixeira Duarte, Engenharia e Construções, S.A. pela oportunidade e pela flexibilidade do período de trabalho, possibilitando a entrega atempada da presente tese.

Aos demais familiares e amigos que carinhosamente demonstram o seu apoio, ainda que em muitas ocasiões não pude estar presente em franco convívio, o meu sentido agradecimento a todos. Prometo que irei ser mais assídua, fica o compromisso.

Resta-me agradecer às gentes Beirãs, que em cada aldeia me receberam com simpatia dando as indicações certas como ir às suas “fontes especiais”: Bem-hajam!

Apoios

Esta tese de doutoramento foi desenvolvida com o apoio da Cátedra UNESCO de Geoparques, Desenvolvimento Regional Sustentado e Estilos de Vida Saudáveis



Organização
das Nações Unidas
para a Educação,
a Ciência e a Cultura



- Cátedra UNESCO de Geoparques,
- Desenvolvimento Regional Sustentado e
- Estilos de Vida Saudáveis
- Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
- Vila Real, Portugal

Resumo

Desde os primórdios que as nascentes de água “especial”- ora por ser quente, ou por ter cheiro ou com gás, suscitam a curiosidade e estimulam a comunidade científica para a justificação desse fenómeno natural. Nesse contexto, surge o presente documento que se pretende que seja um contributo para o entendimento do escoamento subterrâneo da Bacia do Rio Dão onde ocorrem várias águas ditas “ especiais”(neste caso águas sulfúreas).

O Rio Dão é afluente da margem direita do Rio Mondego, desenvolve-se entre as Serras do Caramulo e da Serra da Estrela, com nascente em Eirado (Aguiar da Beira) e conflui com o Rio Mondego em plena Albufeira da Barragem da Aguieira em Santa Comba Dão. A bacia do Rio Dão tem uma forma próxima da elíptica, em que o eixo principal tem a direção próxima de NE-SW. Apresenta uma rede hidrográfica composta por vales retilíneos, que geralmente apresentam a direção de NE-SW.

A bacia do Rio Dão desenvolve-se na Zona Centro-Ibérica, cuja litologia é constituída essencialmente por elementos do maciço granítico de idade Hercínica. Na zona de jusante ocorrem elementos do Complexo Xisto-Grauváquico (Grupo das Beiras), que se entende servir de barreira aos fluxos que percolam no maciço granítico. Vários autores indicam a existência de uma extensa fratura ao longo do Rio Dão e que em profundidade condiciona e encaminha preferencialmente os fluxos que ocorrem na margem direita. Importa também destacar as extensas estruturas filonianas que interferem na circulação aquífera servindo de barreira por um lado e por outro conduzem os fluxos junto a si ao longo da sua direção.

Na bacia hidrográfica do Rio Dão registam-se de montante para jusante as águas indiciadoras de extenso circuito hidráulico: Caldas da Cavaca, Sezures, Termas de Alcafache, Caldas de Sangemil e água mineral do Granjal.

Ainda que sejam as águas minerais que melhor permitam a parametrização do modelo geohidráulico da Bacia do Rio Dão, importa analisar também as zonas de recarga. Com esse intuito foi feito um levantamento das nascentes com caudal perene em toda a extensão da Bacia, tendo sido caracterizadas 143 nascentes (fontanários, bicas). Outra componente com importante contributo na recarga aquífera é a precipitação, neste sentido foram colocados amostradores em vários pontos da bacia (montante, intermédia e jusante) para o estudo em detalhe daquela parcela.

Na bibliografia existem vários estudos sobre algumas das águas identificadas no presente trabalho; assim para otimizar os recursos disponíveis fez-se uma seleção de amostras a encaminhar para análise detalhada em ambiente laboratorial. As amostras foram

encaminhadas para caracterização físico-química e parametrização da componente radiológica.

A composição química da água é resultante da interação do maciço, pelo que a técnica de fazer analogia da componente hidroquímica com a litologia é uma das metodologias mais utilizadas na definição do modelo geohidráulico conceptual. No presente trabalho foram aplicadas várias metodologias que indiciam várias correlações entre os parâmetros físico-químicos e consequentemente contributo para a definição do modelo (temperatura máxima, profundidade máxima, sentido de fluxo, etc.).

Contudo, a caracterização detalhada das unidades hidrogeológicas da bacia do Rio Dão por si só não representa a circulação dos aquíferos. Nesse contexto, entende-se que a representação gráfica da circulação em profundidade do recurso é considerada uma ferramenta fundamental para a conceptualização do modelo (ainda que de forma simplificada). Na representação gráfica do modelo em estudo foi utilizada uma das ferramentas tecnológicas existentes no mercado: o programa Feflow (Finite Element Subsurface Flow & Transport Simulation System) desenvolvido pelo DHI-WASY (2009).

Reconhecendo que a modelação de um aquífero subterrâneo é um processo dinâmico, apresentaram-se algumas das perspetivas futuras no complemento do modelo atualmente apresentado, assim como algumas considerações importantes face às expectativas iniciais.

Palavras-chave

Modelo geohidráulico conceptual, água sulfúrea, água mineral, água não sulfúrea, água da chuva, fluxo subterrâneo, Bacia do Rio Dão.

Abstract

Since the earliest times, the "special" water springs - whether they be hot, with smell, with gas, etc. - arouse curiosity and encourage the scientific community to explain this natural phenomenon. In this context, this document is intended as a contribution to the understanding of the underground flow of the Dão river basin where several so-called "special" waters (in this case, sulphur waters) exist.

The Dão river is an affluent of the right bank of the Mondego River. It develops between the Serra do Caramulo and the Serra da Estrela, with its source in Eirado (Aguiar da Beira) and merges with the Mondego River in the middle of the Aguieira dam in Santa Comba Dão. The Dão river basin has an almost elliptical shape, where the main axis runs in an almost NE-SW direction. It presents a hydrographic network composed of rectilinear valleys, which are usually facing in a NE-SW direction.

The Dão river basin develops in the Central-Iberian Zone, whose lithology consists essentially of elements of the Hercynian granite massif. In the downstream zone, elements of the Schist-Greywacke Complex occur, which is seen to serve as a barrier against the flows that percolate in the granite massif. Several authors indicate the existence of an extensive fracture along the Dão river which, in deep waters, conditions and preferentially directs the flows that occur in the right margin. It is also important to point out the extensive philonian structures that also interfere with the aquifer circulation (they serve as a barrier on the one hand and on the other hand they carry the streams alongside each other along their course).

In the Dão river basin there is an upstream and a downstream, indicating an extensive hydraulic circuit: Caldas da Cavaca, Sezures, Termas de Alcafache, Caldas de Sangemil and mineral water of Granjal.

Although it is the mineral waters that best allow the parameterization of the geo-hydraulic model of the Dão river basin, it is also important to analyse the recharge zones. For this purpose, a survey of the springs with perennial flow throughout the Basin was carried out, and 143 springs (fountains, spouts, etc.) were characterized. Another component with an important contribution in the aquifer recharge is precipitation, in this sense, sampling devices were placed in several points of the basin (upstream, intermediate and downstream) for the detailed study of that plot.

In the bibliography there are several studies on some of the waters identified in this work, so to optimize the available resources, a selection of samples to be sent for detailed analysis in

a laboratory environment was gathered. The samples were sent for physical-chemical characterization and parameterization of the radiological component.

The chemical composition of the water is the result of the interaction of the massif, so the technique of making an analogy of the hydrochemical component with the lithology is one of the methodologies most used in the definition of the conceptual model. In this work, several methodologies have been applied which indicate several correlations between the physical-chemical parameters and consequently the definition of the model (with for example the maximum temperature, the maximum depth, direction of flow, among others).

However, the detailed characterization of the hydrogeological units of the Dão river basin alone does not represent the circulation of the aquifers. In this context, it is understood that the graphical representation of the in-depth circulation of the resource is considered a fundamental tool for the conceptualisation of the model (albeit in a simplified form). In the graphical representation of the model, one of the technological tools on the market was used: the programme Feflow (the Finite Element Subsurface Flow & Transport Simulation System) developed by DHI-WASY (2009).

Recognizing that the modelling of an underground aquifer is a dynamic process, some of the future perspectives were presented in the supplement to the model presented today, as well as some important considerations in response to the initial expectations.

Keywords

Geohydraulic model, sulphurous groundwater, mineral water, underground flow, rainwater, Dão river basin

Índice

Capítulo 1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivo	4
1.3. Metodologia	6
1.4. Estado da Arte e Estudos Anteriores	9
Capítulo 2. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO DÃO	16
2.1. Elementos Básicos	16
2.1.1. Localização geográfica	16
2.1.2. Geomorfologia	17
2.1.3. Enquadramento Geológico	23
2.2. Aspetos Hidrogeoambientais	24
2.2.1. Elementos Climáticos e Hidrológicos	24
2.2.2. Balanço Hidrológico	29
2.3. Elementos Hidrogeológicos	32
Capítulo 3. RECURSOS HIDROLÓGICOS DA BACIA DO RIO DÃO	38
3.1. Os Recursos Classificados	40
3.1.1. Caldas da Cavaca- Aguiar da Beira	40
3.1.2. Termas de Alcafache- Viseu	41
3.1.3. Caldas se Sangemil-Tondela	42
3.1.4. Termas de Granjal- Santa Comba Dão	42
3.2. Recursos Não Classificados	45
3.2.1. Águas referenciadas	45
3.2.2. Outros pontos de água	48
3.3. Água da Chuva	49
3.4. Síntese das Características Físico-Químicas das Águas da Bacia do Rio Dão	49
3.4.1. Águas sulfúreas	49
3.4.2. Águas não sulfúreas e água da chuva	51
Capítulo 4. HIDROQUÍMICA	54
4.1. Introdução	54
4.2. Elementos Organoléticos (Cor, Cheiro, Depósito)	55
4.3. Parâmetros Globais	56
4.3.1. A temperatura	56
4.3.2. O pH	56

4.3.3. A condutividade elétrica	58
4.3.4. A alcalinidade	59
4.3.5. A dureza	60
4.3.6. O teor em sílica	60
4.3.7. A sulfuração total	60
4.3.8. O resíduo seco	60
4.3.9. O total de sólidos dissolvidos (TDS)	61
4.4. Componente Maioritária	62
4.4.1. Catiões: Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺	62
4.4.2. Aniões: F ⁻ , Cl ⁻ , HCO ₃ ⁻ , NO ₃ ⁻	63
4.4.3. Classificações hidroquímicas	65
4.4.4. Análise estatística simples	68
4.4.5. Análise estatística multivariada	71
4.5. Elementos Secundários (Componente Vestigiária)	73
Capítulo 5. GEOQUÍMICA APLICADA	78
5.1. Introdução	78
5.2. Geotermómetros: Indicadores Químicos de Temperaturas e Profundidades de Circuitos	79
5.3. Radioatividade	84
5.4. Hidrologia Isotópica	85
5.4.1. Origens e idade da água- Resultados de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$	85
5.4.2. Origens e idade da água - Resultados de Trítio (^3H)	90
Capítulo 6. ELEMENTOS DA MODELAÇÃO NUMÉRICA	95
6.1. Elementos de Base	95
6.1.1. Porosidade	95
6.1.2. Condutividade hidráulica	95
6.1.3. Coeficiente de armazenamento	96
6.1.4. A recarga aquífera	96
6.2. A Modelação com recurso ao Feflow	99
6.2.1. Dados gerais e geometria	99
6.2.2. Descrição das condições iniciais	100
6.2.3. Descrição das condições de fronteira para o modelo de escoamento	101
6.2.4. Parâmetros hidráulicos dos materiais	101
6.2.5. Transporte de massa (definições de fronteira e características dos materiais)	102
6.2.6. Calibração do modelo	102
6.2.7. Modelo conceptual- 1.º ensaio	105
6.2.8. Modelo conceptual - outros ensaios	107

Capítulo 7. CONCEPTUALIZAÇÃO DOS SISTEMAS AQUÍFEROS DAS ÁGUAS SULFÚREAS DA BACIA DO RIO DÃO	110
7.1. Introdução	110
7.2. Contributos para a Modelação dos Sistemas Aquíferos a partir das Características da Bacia	110
7.3. Contributos para a Modelação dos Sistemas Aquíferos a partir da Hidroquímica	111
7.4. Contributos para a Modelação dos Sistemas Aquíferos a partir da Geoquímica Aplicada	113
7.5. Contributos para a Modelação dos Sistemas Aquíferos a partir da Modelação Numérica	115
7.6. Modelo Conceptual da Bacia do Rio Dão	115
Capítulo 8. CONCLUSÕES	120
BIBLIOGRAFIA	128
ANEXO- Características físico químicas dos pontos de água em estudo	136

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Proposta para o Ordenamento do Território, tendo em vista a implantação de equipamentos de apoio necessários ao desenvolvimento das Termas do Granjal (Nunes, 2012).	3
Figura 1.2 - Enquadramento da bacia hidrográfica do Rio Dão, com pontos de água inventariados como nascentes minerais em mapa à Escala 1 / 1 000 000. Extrato da Carta de Nascentes Minerais de Portugal (DGMSG, 1970).	5
Figura 1.3 - Exemplo de representação do modelo conceptual sob a forma de bloco de diagrama (modelo genérico, adaptado de Barreiras, 2009).	11
Figura 1.4 - Exemplo de representação de um modelo conceptual geohidráulico a partir de linhas de fluxo e potencial hidráulico em maciços de materiais homogéneos (adaptado de Doménico, 1990).	11
Figura 1.5 - Exemplo de modelos físicos, representando um aquífero livre e confinado (Alencão <i>et al.</i> , 2012).	13
Figura 1.6 - Representação esquemática da aplicação de uma malha de elementos finitos de um aquífero: i) mapa do aquífero com o campo de poços de observação e seus limites; ii) malha de elementos triangulares em que <i>b</i> representa a espessura do aquífero (adaptado de UNESP, 2010).	13
Figura 1.7 - Enquadramento regional das nascentes sulfúreas da região das Beiras analisadas por Morais (2012) com o realce das que afloram na Bacia do Rio Dão, estudadas em detalhe no presente trabalho (Granjal, Sangemil, Alcafache, Sezures e Cavaca). Adaptado de Morais (2012).	15
Figura 2.1 - Enquadramento regional da área em estudo. Esboço da Bacia do Rio Dão. Adaptado de Mapa Escolar de Portugal (2011).	16
Figura 2.2 - Enquadramento administrativo do território da Bacia do Rio Dão. Esboço sem escala. Adaptado de Carvalho e Cardoso (2004).	17
Figura 2.3 - Enquadramento geomorfológico da envolvente à Bacia do Rio Dão: a) Zonas paleogeográficas e tectónicas; b) Unidades geológicas com a distribuição das águas minerais sulfúreas alcalinas. Adaptado de Morais (2012).	18

Figura 2.4 - Enquadramento geomorfológico da Bacia do Rio Dão, em mapa à escala $\approx 1/230\,000$ (a partir de extrato das Cartas n.º 3 e 4 do IGeoE,2005).	20
Figura 2.5 - Enquadramento da classificação do Rio Dão face à Rede Hidrográfica Principal. Adaptado de SNRIH (2016).	21
Figura 2.6 - Enquadramento da envolvente à Bacia do Rio Dão com os principais alinhamentos estruturais e unidades geológicas: a) Unidades Hidrogeológicas; b) Localização das ocorrências de água mineral natural e águas de nascente. Adaptado de Carvalho (2006).	25
Figura 2.7- Localização das várias estações com registos de parâmetros climáticos na Bacia do Rio Dão nas várias zonas da Bacia (a partir de Google Earth, 2017).	27
Figura 2.8 - Enquadramento em mapa dos valores de temperatura média diária do ar, precipitação total anual e de evapotranspiração real (quantidade de água devolvida à atmosfera) da Bacia do Rio Dão em relação à Bacia do Rio Mondego (a partir de SNIRH, 2016).	29
Figura 2.9 - Representação gráfica dos resultados do balanço hidrológico sequencial mensal, para a envolvente da Nascente Sulfúrea do Granjal. P- Precipitação; ETR- Evapotranspiração real; ETP- Evapotranspiração potencial. Zona I- Superavit hídrico (SH); Zona II- Consumo das reservas; Zona III- Défice hídrico (DH); Zona IV- Restituição das reservas. Adaptado de Gomes da Costa em 2011.	31
Figura 2.10 - Esboço do modelo geohidráulico apresentado para a água sulfúrea do Granjal, com a referência às outras águas sulfúreas. Adaptado de Ferreira Gomes, 2004). Escala: $\approx 1 / 260\,000$	33
Figura 2.11 - Representação em mapa dos perfis litológicos executados na bacia em estudo.	34
Figura 2.12 - Esboço perfil longitudinal da litologia da Bacia do Rio Dão desde a zona de montante até jusante (Souto de Aguiar- Aguiar da Beira até à Albufeira da Barragem da Agueira); a partir das Cartas Militares (IGeoE,2005) e da Carta Geológica de Portugal (SPG, 1992).	35
Figura 2.13 - Esboços de perfis transversais da litologia da Bacia do Rio Dão: a) Zona de cotas superiores (vertente da Serra do Caramulo); b) zona de montante intercetando as águas sulfúreas de Cavaca- Sezures. A partir das Cartas Militares (IGeoE,2005) e da Carta Geológica de Portugal (SPG, 1992).	36
Figura 3.1 - Enquadramento dos pontos de água analisados com os principais alinhamentos estruturais e unidades geológicas da região Cento de Portugal, em mapa a partir de Extrato	

da Carta Geológica de Portugal 1:500 000 (SPG, 1992). Legenda sobre os elementos da geologia constam da Figura 2.10.	39
Figura 3.2 - Complexo Termal das Caldas da Cavaca (Município de Aguiar da Beira, 2015). ..	41
Figura 3.3 - Balneário das Termas de Alcafache (Termas de Portugal, 2015).	41
Figura 3.4 - Envolvente às captações das Caldas de Sangemil (Termas de Portugal, 2015). ...	42
Figura 3.5 - Captações do recurso do Granjal: a) e b)- pequena bica e tanques associados à aplicação da água; c) “abrigo” de proteção à captação profunda.	43
Figura 3.6 - Gráfico síntese dos parâmetros característicos da água intercetada em AQ1 (na furação com carotagem). Adaptado de Gomes da Costa, (2011).	44
Figura 3.7 - Nascente de Sezures, captação de pequeno caudal.	45
Figura 3.8 - Fonte do Loreto- Santa Comba Dão.	46
Figura 3.9 - Fonte de São Francisco em Viseu- detalhes arquitetónicos.	47
Figura 3.10 - Imagem geral da Fonte do Fail em Viseu (a partir de Google Earth, 2017).	47
Figura 3.11 - Registo de captações efetuado ao longo da Bacia do Rio Dão: a) exemplo de captação reabilitada; b) resultados da análise bacteriológica; c) aproveitamento do recurso para atividades paralelas (lavagens); d) captação em Mundão com caudal considerável; e) poesia popular inspirada na qualidade da água (Abraveses); f) captação parcialmente abandonada (quase revestida de vegetação); g) a i) transformação de captações em elementos arquitetónicos de referência (Esmolfe- Penalva do Castelo; Tondela e Vila Jusã-Tondela, respetivamente).	48
Figura 4.1 - Registo fotográfico da recolha de dados na “Fonte Romana” em Valverde, no concelho de Aguiar da Beira.	56
Figura 4.2 - Mapa de temperatura a partir dos registos efetuados nos pontos de água da Bacia do Rio Dão.	57
Figura 4.3 - Mapa de valores de pH a partir dos registos efetuados aos pontos de água da Bacia do Rio Dão.	58
Figura 4.4 - Mapa de Condutividade Elétrica ao longo da Bacia do Rio Dão, tendo por base o registo efetuado dos pontos de água.	59

Figura 4.5 - Mapa de distribuição de TDS ao longo da Bacia do Rio Dão, tendo por base o registo efetuado nos pontos de água.	61
Figura 4.6 - Relação entre os iões de sódio (Na^+) e fluoreto (F^-) para as águas sulfúreas da bacia em estudo.....	62
Figura 4.7 - Diagrama de Piper algumas das águas em estudo da Bacia do Rio Dão em função da tipologia (sulfúrea- simbologia “o”, da chuva simbologia- “+” e não sulfúrea- simbologia “□, X , - , e *”) nos diferentes locais de recolha (zonas de montante- simbologia vermelho/laranja, intermédia- simbologia a azul e jusante- simbologia a verde).....	66
Figura 4.8 - Diagramas de Stiff para algumas águas da bacia do Rio Dão para os vários tipos de água (chuva“o”, não sulfúrea“□” e sulfúrea“+”) nos diferentes locais de recolha (zonas de montante, intermédia e jusante).	67
Figura 4.9 - Projeção das variáveis ativas no 1.º Plano fatorial.	73
Figura 5.1- Projeções dos resultados dos métodos de Rybach para as águas sulfúreas.	83
Figura 5.2 - Relação entre $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ para as águas dos diferentes sistemas aquíferos da Bacia do Rio Dão.....	87
Figura 5.3 - Composição isotópica em ^{18}O (a)) e ^2H (b)) em função da altitude das nascentes de água não sulfúrea.	88
Figura 5.4 - Relação entre o teor do ião Cloreto- Cl^- (mg/l) e $\delta^{18}\text{O}$ para as águas dos diferentes sistemas aquíferos da Bacia do Rio Dão.....	89
Figura 5.5 - Relação entre o trítio ^3H e o ^{18}O para as águas em estudo da Bacia do Rio Dão. .	92
Figura 5.6 - Relação entre o trítio ^3H e o teor de Cl^- (mg/l) para as águas dos diferentes sistemas aquíferos da Bacia do Rio Dão.....	92
Figura 5.7 - Perfil longitudinal com as características dos isótopos referenciados nos vários tipos de circulação (chuva, não sulfúrea e sulfúrea).....	93
Figura 6.1 - Marcação/delimitação do contorno da área que se pretende modelar (já com algumas singularidades delineadas) - Bacia do Rio Dão.....	99
Figura 6.2 - Malha de elementos finitos para o modelo 2D de escoamento subterrâneo da Bacia do Rio Dão.	100

Figura 6.3 - Distribuição dos níveis hidroestáticos na Bacia do Rio Dão, com base nos pontos de água inventariados.....	101
Figura 6.4 - Definição das condições de fronteira de 1.º nível (indicado a azul) e de 4.º nível (pontos a vermelho) para a modelação da Bacia do Rio Dão.	102
Figura 6.5 - Distribuição da condutividade em m/s ($\times 10^{-4}$) ao longo da Bacia do Rio Dão. ...	103
Figura 6.6 - Distribuição da relação recarga/deficit em m/dia ($\times 10^{-4}$) ao longo da Bacia do Rio Dão.	103
Figura 6.7 - Distribuição do coeficiente de armazenamento ao longo da Bacia do Rio Dão...	104
Figura 6.8 - Distribuição da porosidade ao longo da Bacia do Rio Dão.	104
Figura 6.9 - Projeção dos principais elementos de descontinuidade litológica na Bacia do Rio Dão.	105
Figura 6.10 - Resultado da simulação inicial do <i>software</i> para o escoamento subterrâneo da Bacia do Rio Dão: a) aspeto geral da bacia, com as captações de água sulfúrea; b) Visualizações em detalhe do fluxo nas zonas de intermédia (jusante- b.1) e de jusante (b2).	106
Figura 6.11 - Resultado gráfico das linhas de fluxo para as nascentes sulfúreas da Bacia do Rio Dão.	107
Figura 6.12 - Resultado gráfico das linhas de fluxo para as nascentes sulfúreas da Bacia do Rio Dão, considerando o modelo como aquífero confinado.	108
Figura 6.13 - Resultado gráfico das linhas de fluxo para as nascentes sulfúreas da Bacia do Rio Dão, considerando a circulação preferencialmente vertical (como aquífero confinado).	108
Figura 6.14 - Resultado gráfico das linhas de fluxo para as nascentes sulfúreas da Bacia do Rio Dão, considerando a circulação assimétrica (como aquífero confinado).	109
Figura 7.1 - Comparação do resultado gráfico das linhas de fluxo para as nascentes sulfúreas da Bacia do Rio Dão, considerando o modelo como aquífero livre (a) e confinado (b).	116
Figura 7.2- Contributo para o modelo geohidráulico das águas sulfúreas da Bacia de Rio Dão, sobre a Carta Geológica de Portugal (SPG, 1992). Elementos da legenda referentes à geologia constam na Figura 2.10.	117

Figura 7.3- Contributo para o modelo geohidráulico das águas sulfúreas da Bacia de Rio Dão, em perfil longitudinal desde a zona de montante até jusante (Souto de Aguiar- Aguiar da Beira até à Albufeira da Barragem da Aguieira); a partir das Cartas Militares (IGeoE,2005) e da Carta Geológica de Portugal (SPG, 1992). Elementos de legenda referentes à geologia constam na Figura 2.12. 118

Lista de Tabelas

Tabela I.1 - Métodos de ensaio praticados pelo LNEG.	8
Tabela II.1- Características das estações meteorológicas com importância para avaliação de aspectos hidrológicos na área em estudo.	26
Tabela II.2 - Parâmetros registados nas estações meteorológicas com importância para avaliação de aspectos hidrológicos na área em estudo, adaptado de SNRIH, 2016.	28
Tabela II.3 - Balanço Hidrológico sequencial mensal para as várias zonas da bacia do Rio Dão.	30
Tabela III.1 - Síntese das principais características das águas minerais naturais da Bacia do Rio Dão. Adaptado de Frederico Teixeira (<i>in</i> Pereira <i>et al.</i> , 2012).	40
Tabela III.2- Parâmetros característicos de base das águas sulfúreas.	50
Tabela III.3- Parâmetros característicos de base da água da chuva.	51
Tabela III.4- Parâmetros característicos de base da água não sulfúrea-1/2 (continua).	51
Tabela III.4- Parâmetros característicos de base da água não sulfúrea-2/2 (continuação). ...	53
Tabela IV.1- Dados estatísticos dos cátions típicos das águas sulfúreas alcalinas de ambientes graníticos e comparação com os obtidos para as águas sulfúreas da Bacia do Rio Dão.	64
Tabela IV.2 - Dados estatísticos dos aniões típicos das águas sulfúreas alcalinas de ambientes graníticos e comparação com os obtidos para as águas sulfúreas da Bacia do Rio Dão.	65
Tabela IV.3 - Classificação das águas em análise em função da projeção do Diagrama de Piper, da temperatura, da mineralização total e da dureza.	68
Tabela IV.4 - Análise Univariada- características gerais.	69
Tabela IV.5 - Abreviaturas aplicadas no programa Andad.	70
Tabela IV.6- Matriz de correlação através do coeficiente de Pearson e do coeficiente de Spearman.	70
Tabela IV.7 - Matriz de correlação através do coeficiente de Pearson e do coeficiente de Spearman, aplicada como sendo variáveis as águas.	71

Tabela IV.8 - Matriz resultante da aplicação da técnica de ACP para a matriz inicial.	72
Tabela IV.9 - Resultado da ACP: coordenadas das variáveis ativas nos 7 eixos.....	72
Tabela IV.10 - Elementos secundários para 21 amostras da água sulfúrea do Granjal recolhidas entre maio de 2010 e outubro de 2012.	72
Tabela IV.11 (a) - Elementos secundários, em varias amostragens, para as águas sulfúreas. .	75
Tabela IV.11(b) - Elementos secundários, em algumas das águas não sulfúreas da Bacia do Rio Dão.	76
Tabela V.1 - Equações de geotermómetros químicos utilizadas por Ferreira Gomes <i>et al.</i> (2014).	80
Tabela V.2 - Temperaturas de reservatório (T), em °C, estimadas obtidas a partir da composição química aplicada às equações da Tabela V.1.	80
Tabela V.3 - Elementos geotérmicos calculados para as águas sulfúreas e não sulfúreas da bacia.	82
Tabela V.4 - Elementos de estimativa da profundidade máxima (Dr) a partir do método de Rybach (1990).	83
Tabela V.5 - Resultados dos parâmetros de Alfa total e Beta total referentes a águas sulfúreas da bacia em estudo (água de montante e de jusante)	84
Tabela V.6 - Resultados da amostragem isotópica efetuada no âmbito do presente estudo, incluindo alguns resultados de alguns recursos referenciados na bibliografia para a bacia do Rio Dão.....	87
Tabela V.7 - Relação entre a composição isotrópica das águas não sulfúreas e a cota média das zonas de recarga (teórica)	89
Tabela V.8 - Resultados da amostragem de Trítio - ³ H, incluindo alguns resultados de alguns recursos referenciados na bibliografia para a Bacia do Rio Dão.....	91
Tabela VI.1 - Valores característicos da porosidade e porosidade efetiva para alguns tipos de litologia (Lencastre e Franco, 1992).....	95
Tabela VI.2 - Infiltração (I) obtida a partir de vários parâmetros envolvidos no balanço dos cloretos para as várias áreas da Bacia do Rio Dão.	98

Lista de Acrónimos

A	área
a_s	quantidade de cloretos lixiviados do solo ou de origem artificial
a_v	retenção de cloretos pela vegetação
a'_v	devolução de cloretos pela decomposição da vegetação que morre
b	espessura do aquífero
C	condutividade
C_p	teor de cloretos na água da chuva
C_i	teor de cloretos nas águas subterrâneas
DH	défice hídrico
ETP_0	evapotranspiração potencial média
ETP	evapotranspiração potencial
ETR	evapotranspiração real
E_s	escoamentos superficiais
E_{sub}	volume de excedentes que se infiltra para recarregar o aquífero
F	recarga do aquífero
G	escoamentos subterrâneos
h	carga hidráulica
I	infiltração
IDW	interpolação do inverso do quadrado da distância
i	Índice de calor mensal
K	condutividade hidráulica
L	distância
L	perda potencial de água, em cada intervalo de tempo do período seco
P	precipitação
P_m	precipitação mensal
Q	caudal
q	caudal específico
Q_0	caudal da nascente no início da recessão
R	escoamentos superficiais
R^2	coeficiente de correlação
S	coeficiente de armazenamento
SH	superavit hídrico
S_0	coeficiente de armazenamento específico
S_{so}	armazenamento de água que fica no solo de capacidade utilizável pelas plantas
SIG	sistema informação geográfica
T	temperatura
t	tempo

T_0	temperatura de referência
TDS	total de sólidos dissolvidos
V	volume total
V_0	volume de água armazenado
V_D	volume de água drenada graviticamente
V_v	volume de vazios
V_t	volume total
V	volume total
Δh	variação de carga hidráulica
ΔS_s	variações do armazenamento de água à superfície
ΔS_{so}	variações do armazenamento de água no solo arável
ΔS_{sso}	variações do armazenamento de água no subsolo
η_e	porosidade eficaz
η	porosidade

Capítulo 1

Introdução

1.1. Enquadramento

Desde os primórdios do Império Romano que o culto da água se difunde em Portugal, em que desde então se lhe associam os múltiplos benefícios da água na promoção da saúde e no bem-estar. Julga-se que será neste contexto que surgiu o setor das águas (minerais naturais e de nascente) como sendo uma atividade com valor económico, social e ambiental significativo.

Tendo em conta a excecional qualidade (e diversidade) das águas portuguesas, em associação com os comprovados efeitos benéficos, leva a que as águas nacionais estejam muito valorizadas dentro das águas europeias. Note-se que a indústria associada ao engarrafamento (com 32 unidades em 2014) gerou riqueza superior a 208 milhões de euros, assegurando direta e indiretamente cerca de 10 000 postos de trabalho (APIAM, 2015).

Apesar da condição económico-financeira de Portugal recentemente estar associada a recuperação de situação económica menos favorável, a arte de bem-receber, associada ao imensurável património natural e paisagístico e cultural, que é reconhecido mundialmente encaminham o setor do turismo para um crescimento sustentado de proveitos.

Não sendo exceção, o turismo associado aos recursos naturais também tem captado a atenção de alguns nichos de mercado, em especial os utilizadores com elevado estatuto financeiro, dinamizando a economia local, regional, e como um todo, contribuindo para o crescimento económico-financeiro do País, principalmente na promoção de zonas economicamente mais fragilizadas como o interior.

O setor do turismo termal tem conseguido transformar todas as suas valências em crescimento sustentado, não só na resposta à procura e utilização de espaços termais, mas também na vertente clássica e sobretudo graças à promoção do lazer e do bem-estar.

A rede de termalismo de utilização clássica está instalada em todo o País, mas a regeneração do tecido termal da bacia do Rio Dão poderá diferenciar os serviços prestados, quer em termos da utilização dos recursos que afloram (em função do tipo de água), quer pela aposta clara no termalismo de lazer e bem-estar (cosmética, relaxamento, massagens), ou até na aplicação personalizada da água mineral.

Segundo os dados publicados pelo Instituto de Turismo de Portugal (Termas de Portugal, 2015) revelam que em 2014 registou-se um decréscimo de utentes na utilização clássica de

termalismo (aplicação de serviços terapêuticos indicados e praticados a um termalista, após prescrição médica de acordo com as indicações terapêuticas reconhecidas para aquela água), mas em sentido positivo evoluiu a procura de aplicações de lazer e de bem-estar (serviços de melhoria da qualidade de vida, com fins de prevenção da doença, em associação à estética, beleza e relaxamento).

Note-se que os proveitos diretos afetos à Região Centro, em 2014, foram da ordem de 8 milhões de euros, justificados por cerca de 57 mil utilizadores (Termas de Portugal, 2015). Com estes fatos facilmente se depreende que os proveitos ilíquidos associados à dinâmica termal-hotelaria, restauração, pequenos comércios e serviços multiplicam-se repetidamente, impulsionando a economia local e regional.

Por outro lado, a aposta nas energias alternativas, merece referência o potencial que algumas das ocorrências apresentam sob o ponto de vista do aproveitamento geotérmico. Em Alcafache por exemplo, os registos de temperatura do recurso rondam os 50°C, o que à semelhança do sistema inovador implementado em S. Pedro do Sul (Ferreira Gomes e Albuquerque, 1997; Afonso de Albuquerque *et al.*, 2013) que poderia estar implantado um sistema de aproveitamento da temperatura da água mineral para aquecimento de unidades hoteleiras, configurando uma fonte de rendimento acrescida, além dos aspetos benéficos para o ambiente. A geotermia em Portugal Continental, ainda pouco desenvolvida começa a dar os primeiros passos, aliando o crescimento económico em perfeita harmonia com a sustentabilidade ambiental.

Ainda sobre a importância do tema, Ferrari de Almeida (2010) desenvolveu um estudo intitulado “Turismo no Vale do Rio Dão”, onde descreve as diversas potencialidades de cada ocorrência mineral ao longo daquele Rio, mas também identifica as oportunidades que todo o conjunto gera para o desenvolvimento económico-social de toda a Região Centro. Segundo aquele autor, o crescimento económico sustentado assenta na necessidade de adotar estratégias de exploração inovadoras, associadas à utilização do recurso como elemento de lazer e de bem-estar, promovendo essencialmente a frequência termal regular. Neste sentido é necessário, otimizar e rentabilizar os recursos minerais existentes, dotar os espaços existentes de melhores infraestruturas de apoio, e é nessa vertente que a conceptualização do modelo geohidráulico se torna um instrumento imprescindível.

Por sua vez, Nunes (2012) devido ao potencial já demonstrado para o Granjal, chega a avançar com a proposta de 2 balneários para a zona do Granjal, um no âmbito do termalismo clássico e o outro no âmbito do termalismo de bem-estar, do tipo Resort Termal, propondo um esboço conceptual da ocupação do território (Figura 1.1) para a zona de Santa Comba Dão e do Granjal.

Salienta-se que são este tipo de estudos que servem como indicadores da importância dos modelos conceptuais geohidráulicos estarem bem definidos, não só para a preservação do recurso, como para a exploração do mesmo em condições adequadas e de acordo com os fundamentos da hidrologia.

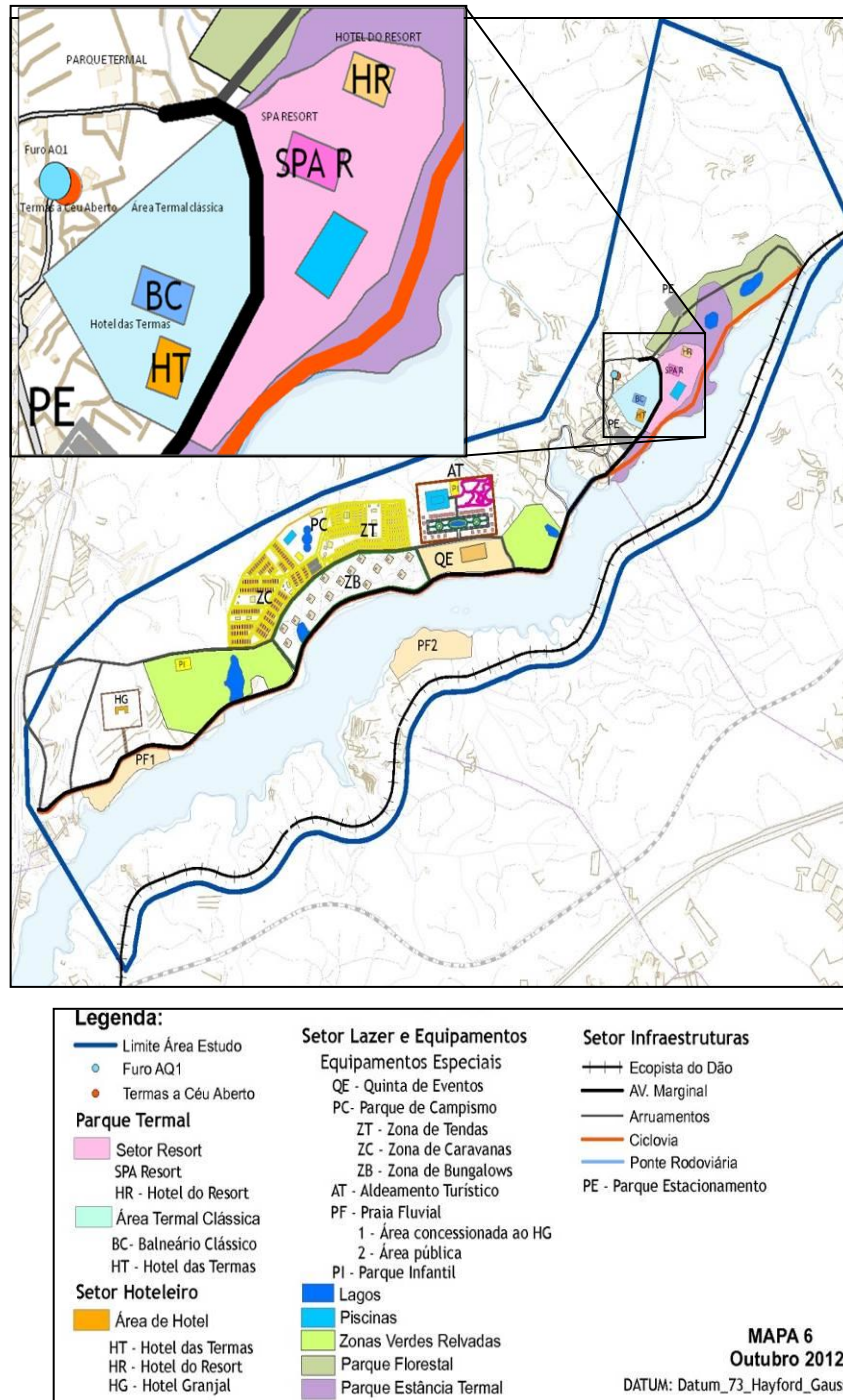


Figura 1.1 - Proposta para o Ordenamento do Território, tendo em vista a implantação de equipamentos de apoio necessários ao desenvolvimento das Termas do Granjal (Nunes, 2012).

Em termos genéricos, a localização das nascentes minerais são frequentemente associadas à proximidade de grandes falhas; vários autores evidenciam o percurso retilíneo do Rio Dão associado a um extenso sistema de falhas, ao qual relacionam as várias ressurgências.

O desenvolvimento do presente trabalho pretende contribuir para o estudo detalhado do modelo do sistema hidrogeológico do Rio Dão, por forma a clarificar a existência de um número tão significativo de sistemas hidrominerais naquela bacia (Figura 1.2).

O presente contributo de modelação geohidráulica da Bacia do Rio Dão visa também desenvolver um instrumento que esclareça a circulação dos recursos minerais naturais naquela bacia e possíveis correlações entre sistemas aquíferos.

A simulação do comportamento geohidráulico será desenvolvida através do equacionamento de vários elementos pretendendo-se que o modelo resultante seja uma representação aproximada o mais possível da realidade.

1.2. Objetivo

O objetivo geral da presente tese é contribuir para o conhecimento do modelo geohidráulico da Bacia do Rio Dão, para que haja mais conhecimento das ocorrências existentes naquela Bacia, bem como perspetivar para novas zonas potenciais de exploração.

Assim sendo, esta abordagem contempla, em particular, a caracterização da geomorfologia, geologia e estudos hidrogeoambientais, inclui também o estudo das principais nascentes da bacia (sulfúreas e não sulfúreas), estudos hidroquímicos e de geoquímica isotópica tendo sido estruturada da seguinte forma:

- Capítulo 1. INTRODUÇÃO
- Capítulo 2. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO DÃO
- Capítulo 3. RECURSOS HIDROLÓGICOS DA BACIA DO RIO DÃO
- Capítulo 4. HIDROQUÍMICA
- Capítulo 5. GEOQUÍMICA APLICADA
- Capítulo 6. ELEMENTOS DA MODELAÇÃO NUMÉRICA
- Capítulo 7. CONCEPTUALIZAÇÃO DOS SISTEMAS AQUÍFEROS DAS ÁGUAS SULFÚREAS DA BACIA DO RIO DÃO
- Capítulo 8. CONCLUSÕES

Como objetivos específicos podem ser considerados os seguintes:

- i) inventariação com caracterização química e térmica dos pontos de água que estejam na dependência direta ou aparente com os vários setores com a particularidade de serem águas sulfúreas;
- ii) analisar os resultados analíticos sobre a qualidade da água das várias nascentes de água sulfúrea e de água não sulfúrea;

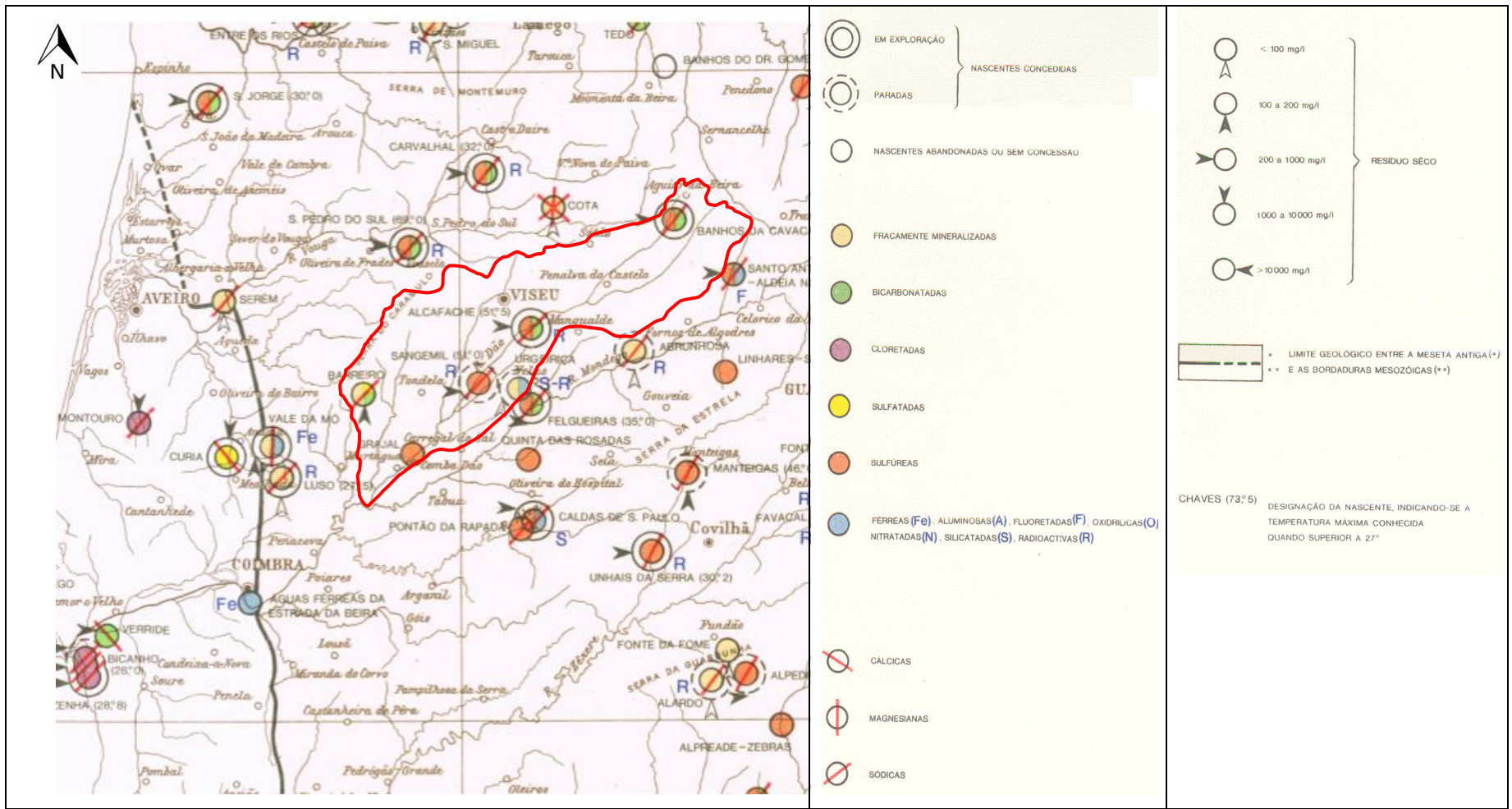


Figura 1.2 - Enquadramento da bacia hidrográfica do Rio Dão, com pontos de água inventariados como nascentes minerais em mapa à Escala 1 / 1 000 000. Extrato da Carta de Nascentes Minerais de Portugal (DGMSG, 1970).

- iii) analisar eventuais relações entre o quimismo das águas subterrâneas com as características geomorfológicas, geológicas e outras da Bacia Hidrográfica do Rio Dão;
- iv) estimativa de reservas hídricas subterrâneas do tipo sulfúreo e seu potencial geotérmico para aproveitamentos múltiplos;
- v) representação gráfica das linhas de fluxo na envolvente das captações de água sulfúrea;
- vi) estimativa das temperaturas máximas das águas sulfúrea e a que profundidade correspondem;
- vii) análise isotópica dos componentes radioativos de ^{18}O , ^2H e trítio;
- viii) apresentar o modelo geohidráulico da bacia.

1.3. Metodologia

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram previstos vários estudos e organizados pelas seguintes fases:

- Fase 1 - Pesquisa Bibliográfica

Apesar de já se ter efetuado uma considerável pesquisa bibliográfica que serviu de base aos vários documentos entretanto desenvolvidos (Gomes da Costa *et al.*, 2013; Gomes da Costa 2011; etc.), salienta-se que a pesquisa bibliográfica foi completada em especial com pesquisas para toda a bacia do Rio Dão, incluindo elementos sobre aspetos geomorfológicos, geológicos, hidrogeológicos, de hidro e litoquímica isotópica, entre outros.

Além das pesquisas em bibliotecas clássicas, e ainda *on-line*, consultaram-se também alguns dos elementos disponíveis nos arquivos da Direção-Geral de Energia e Geologia e ainda dos concessionários das várias unidades termais.

Salienta-se desde já que as tarefas associadas à pesquisa bibliográfica são transversais a todas as outras fases posteriores.

- Fase 2 - Estudos de Gabinete Iniciais

Nesta fase, com base em elementos da literatura, são analisados mapas geomorfológicos e geológicos à escala regional, de modo a contribuírem nomeadamente para a definição dos principais sistemas de fraturas e definição de fronteiras dos principais sistemas aquíferos a estudar.

São efetuadas análises a escalas de maior detalhe de modo a permitir integrar as estruturas com significado mais local no contexto da estruturação regional. O estudo litoestrutural é efetuado de modo a caracterizar as diferentes unidades litológicas, bem como as principais famílias de fraturas dos maciços rochosos da bacia do Rio Dão.

- Fase 3 - Estudos de Campo

Os estudos de campo revelaram-se muito importantes e fisicamente exigentes não só pela diversidade de parâmetros que se pretende analisar e colher, mas também pelo fato de se distribuírem por uma extensa área geográfica a que este trabalho abrange.

Nestes estudos abordam-se os seguintes aspetos:

- Identificação e levantamento de elementos geológico-estruturais específicos;
- Levantamento de pontos de água (sulfúreas e não sulfúreas) e sua caracterização física e registo de parâmetros físico-químicos (condutividade elétrica, pH, temperatura, Eh e caudal);
- Amostragem de águas da chuva, sulfúreas e não sulfúreas para estudos de hidroquímica clássica e isotópica, assim como para aplicação de metodologias associadas à geotermometria.

Todos estes elementos serão fundamentais para o conhecimento da geometria dos maciços, de suas heterogeneidades e de suas singularidades, bem como contribuir para a noção dos circuitos geohidráulicos das águas subterrâneas da região, de modo a possibilitarem uma adequada base de trabalho para prosseguir as fases seguintes.

- Fase 4 - Estudos de Laboratório

Além da análise dos parâmetros físico-químicos básicos como o pH, condutividade, temperatura e Eh, o estudo incide também sobre a hidroquímica de elementos maiores e alguns menores, e ainda sobre a hidroquímica e litoquímica isotópica.

Foi recolhido um conjunto de amostras (de água sulfúrea, não sulfúrea e água da chuva) que foram encaminhadas para laboratórios da especialidade.

Na análise isotópica as amostras foram entregues no Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares do Instituto Superior Técnico, em especial no Centro de Ciências e Tecnologias, da Universidade de Lisboa. Segundo Carreira *et al.*, (2015) a metodologia para a determinação da composição isotópica das águas da Bacia (^2H - deutério, ^{18}O e ^3H - trítio) são definidos pelos autores Friedman (1953), por Epstein e Mayeda (1953) e pelo protocolo descrito em I.A.E.A. (1976) respetivamente. As análises isotópicas (^2H - deutério e ^{18}O) foram realizadas no espectrómetro de massa SIRA 10 da VG ISOGAS. Para a obtenção do teor em trítio o método consiste na destilação, enriquecimento eletrolítico, neutralização e medição por espectrometria de cintilação líquida (Carreira *et al.*, 2015).

No âmbito do presente trabalho foi feita a recolha de dez amostras para análise isotópica (^{18}O e ^2H) em que também se analisaram o teor em Trítio: duas águas sulfúreas- Sezures e Granjal, três amostras de água da chuva (zonas de montante e a jusante da bacia, e no “meio” da bacia) e cinco amostras de água não sulfúrea (zonas de montante, intermédia e de jusante).

Para a caracterização físico-química as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Análises do Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P. (LNEG, ex-INETTI) sobre as quais se aplicaram metodologias que constam na Tabela I.1.

Tabela I.1 - Métodos de ensaio praticados pelo LNEG.

Parâmetro resultante	Métodos
Elementos Organoléticos (cheiro, cor, sabor)	Inspeção visual e olfativa.
pH	Determinação do pH. Potenciometria.
Condutividade	Determinação da condutividade. Condutimetria.
Alcalinidade, Hidrogenocarbonato	Determinação da alcalinidade. Potenciometria.
Dureza	Determinação da dureza. Volumetria de complexação.
Cloreto no Reg. 150	Determinação de cloreto. Volumetria.
Sílica	Determinação de sílica. Espectrometria de Abs. Molecular VIS.
Nitrito	Determinação de nitrito. Espectrometria de Abs. Molecular VIS (Naftil Etileno Diamina e sulfonamida).
Fluoreto, Cloreto exceto no Reg.150, Nitrato, Fosfato, Sulfato	Determinação de fluoreto, cloreto, nitrato, fosfato e sulfato. Cromatografia Iónica.
Amónio	Determinação de amónio. Potenciometria.
Sódio e Potássio	Determinação de sódio e potássio. Espectrometria de Abs. Atómica- Chama.
Cálcio, Magnésio, Lítio, Ferro, Manganês	Determinação de cálcio, magnésio, lítio, ferro, manganês. Espectrometria de Abs. Atómica- Chama.
Resíduo Seco a 180°C	Por Cálculo.
Metais Vestigiários	Análise multielementar. Espectrometria de Massa acoplada a Plasmas Indutivos (ICP-MS).

- Fase 5 - Tratamento e Interpretação de Dados

A compilação da informação obtida pelos estudos de gabinete, de campo e de laboratório foi tratada com recurso a ferramentas informáticas com *software* de aplicação geral e específica, de natureza estatística e de processamento de imagem.

No tratamento dos dados dos pontos de água da bacia, foi desenvolvida uma extrapolação para todos os pontos da bacia através do método de interpolação do inverso do quadrado da distância (IDW). Da extrapolação para cada parâmetro (pH, Condutividade, Eh) resultaram várias representações gráficas daquela iteração, que se georreferenciaram pelo sistema de Coordenadas Retangulares Planas no sistema Hayford-Gauss, referidas ao Ponto Central. Esta metodologia foi obtida por aplicação de ferramentas tecnológicas de SIG (Sistemas de Informação Geográfica) através do software ArcMap (ESRI, 1999).

Um dos parâmetros que importa estimar na caracterização do modelo é quantidade de água disponível. Neste sentido utilizou-se a metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (*in* Lencastre e Franco, 1992) que estabelece que a precipitação é uma função em que relaciona

a evapotranspiração (ETR), os escoamentos (R e G os escoamentos superficiais e subterrâneos, respetivamente) e as variações de armazenamentos de água (ΔS_s , ΔS_{so} e ΔS_{sso} as variações do armazenamento de água, à superfície, no solo arável e no subsolo, respetivamente):

$$P(\text{mm}) = f(\text{ETR}, R, G, \Delta S_s, \Delta S_{so}, \Delta S_{sso}) \quad (1.1)$$

No item 2.2. é desenvolvida esta metodologia em detalhe para a bacia em estudo.

Outra metodologia complementar utilizada na estimativa da quantidade de água afeta à recarga dos aquíferos subterrâneos foi através do balanço dos cloretos (Custodio e Llamas, 2001) que se apresenta em detalhe no capítulo 6.1.

A representação gráfica do modelo foi obtida graças a alguns trabalhos prévios de preparação e adaptação dos mapas topográficos (cartas militares) da bacia do Rio Dão à escala 1:50000 através do software ArcGIs (ESRI, 1999), e quando ultimado o processo, foi exportado um ficheiro único (vários mapas como um elemento só) para o software QCAD (2009) para a projeção posterior em “DXF” para que posteriormente se utilizasse de base para aplicação do método dos elementos finitos.

Uma vertente desenvolvida do presente trabalho foi a análise estatística dos parâmetros físico-químicos. A análise estatística foi conseguida através da aplicação do software “Andad” (versão 7.10), desenvolvido e disponibilizado *on line* pelo Centro de Recursos Naturais e Ambiente do Instituto Superior Técnico (CERENA, 2007).

Para a simulação do modelo do escoamento subterrâneo da Bacia do Rio Dão foi utilizada uma das ferramentas tecnológicas existentes no mercado, o programa Feflow (Finite Element Subsurface Flow & Transport Simulation System), desenvolvido pelo DHI-WASY (2009).

- Fase 6 - Redação da Tese

Redação da Tese que seguirá a estrutura apresentada no item 1.2.

Á semelhança da pesquisa bibliográfica, trata-se de uma etapa transversal a todas as outras, uma vez que frequentemente foi desenvolvida em simultâneo com outras etapas referidas.

1.4. Estado da Arte e Estudos Anteriores

Pretende-se que a modelação de um sistema aquífero seja a representação das características (todas ou em parte) da circulação da água em profundidade.

Os circuitos dos recursos hidrominerais estimam-se que sejam longos e com elevados tempos de circulação (com milhares de anos). Tendo em conta que os sistemas são complexos, para a

conceptualização do modelo de um sistema aquífero será necessário conhecer dados de base referentes à geometria da bacia, balanço hidrológico, geomorfologia, geologia, parâmetros geohidráulicos, entre outros. De salientar que a percepção do modelo terá que ser consistente ao ponto de definir se “uma falha funciona hidráulicamente como dreno ou como uma barreira” Carvalho (2006).

De uma forma geral, é frequente que aos sistemas de circulação profunda se associem grandes acidentes tectónicos, ainda que sejam as estruturas locais que favoreçam localmente a ascensão dos fluidos hidrominerais e geotérmicos (Calado, 2001). As evidências que os modelos de circulação profunda estão associados às grandes estruturas tectónicas são segundo Carvalho (2006):

- Enquadramento geomorfológico e estrutural;
- Grandes anomalias geoeletricas (evidentes em diagrfias resultantes de ensaios geofísicos);
- Caudais superiores aos normais (em relação a outras águas na envolvente);
- Transmissividades altas (comparativamente a outros sistemas aquíferos “freáticos”);
- Temperaturas superiores (em relação a outras águas na superfície).

Um modelo é tanto mais representativo quanto mais informação conseguir sintetizar (Barreiras, 2009). Se por um lado, compilar os dados não é tarefa fácil, a consulta de várias fontes resultará num modelo mais consistente.

Por forma a minimizar a complexidade na representação dos sistemas é frequente iniciar-se pela idealização do modelo conceptual. Este modelo que consiste na simplificação do modelo real e que é aplicado quando se dispõem poucos elementos do sistema (Custodio e Llamas, 2001). Ainda assim, no modelo conceptual deverão estar contemplados os principais fenómenos físicos do sistema, como por exemplo: fronteiras, enquadramento geológico e hidrológico, tipo de aquífero e eventualmente fatores que representam a ação humana no uso e ocupação do solo (Barreiras, 2009).

Assim, entende-se que a representação gráfica do sistema é determinante para a compreensão global do modelo (Figura 1.3), que geralmente é apresentado sob a forma gráfica de um mapa ou corte (2D) ou em “bloco” (3D).

É do senso comum, que a água apresenta-se na Natureza em constante movimentação. Assim como a água que circula em profundidade depende diretamente da forma como se infiltra no subsolo, logo se entende que a taxa de infiltração é um fator preponderante na recarga do aquífero subterrâneo.

A velocidade e o volume de infiltração dependem essencialmente do tipo de litologia (maciço mais ou menos permeável, mais ou menos fraturado), da cobertura vegetal (as raízes da

vegetação favorecem a circulação de água), da topografia (em declives suaves o escoamento superficial é menos veloz, logo a infiltração é favorecida), do volume de precipitação (chuva mais espaçada no tempo promove uma maior infiltração), e da ocupação e uso de solo (pavimentação, desmonte de vertentes, desmatação são exemplos de intervenções da ação humana que limitam a infiltração, ainda que em alguns casos possa haver recarga artificial).

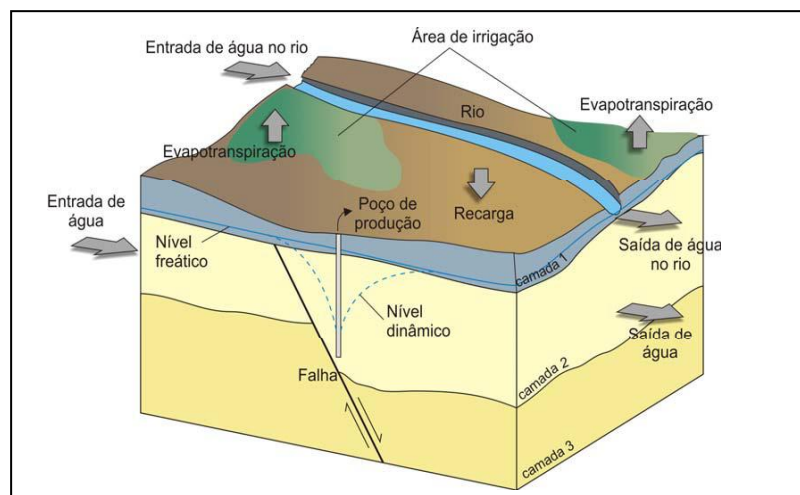


Figura 1.3 - Exemplo de representação do modelo conceitual sob a forma de bloco de diagrama (modelo genérico, adaptado de Barreiras, 2009).

Para além da força gravitacional, o movimento da água em profundidade rege-se também pelas diferenças de pressão entre dois pontos (potencial hidráulico), exercida pela coluna de água sobrejacente aos pontos. A união de pontos com o mesmo potencial hidráulico define linhas equipotenciais do nível freático (Figura 1.4).

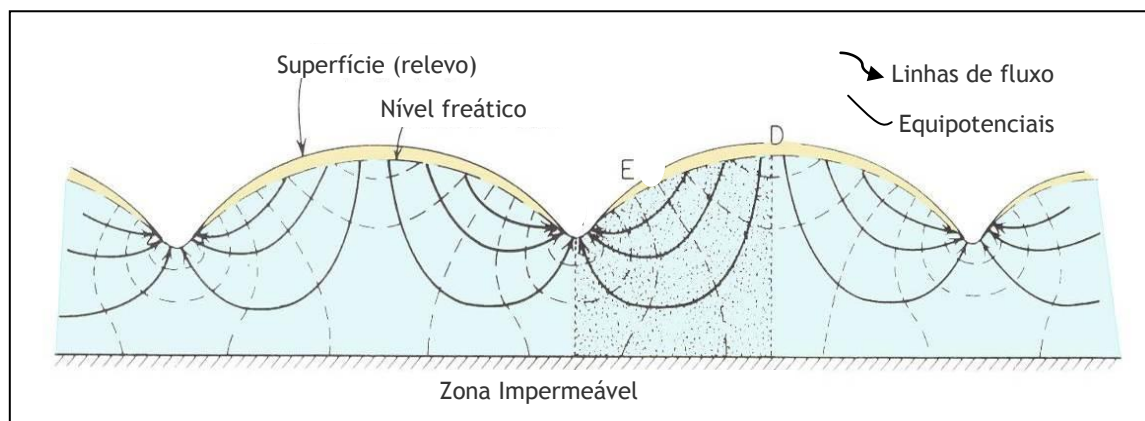


Figura 1.4 - Exemplo de representação de um modelo conceitual geohidráulico a partir de linhas de fluxo e potencial hidráulico em maciços de materiais homogêneos (adaptado de Doménico, 1990).

Segundo Custodio e Llamas (2001), o movimento das partículas da água ao longo do sistema aquífero traduz-se pela seguinte equação diferencial:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) + F = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1.2)$$

em que:

- F representa a recarga do aquífero;

- h é nível piezométrico;
- t traduz o tempo;
- k representa a condutividade hidráulica;
- S_s é o coeficiente de armazenamento específico.

Nesse sentido, da equação 1.2 depreende-se que para idealizar um modelo geohidráulico, para além da aplicação das leis que regulam o escoamento, é necessário a compilação de vários elementos característicos, em especial a geometria do sistema, os seus parâmetros hidráulicos (coeficiente de armazenamento, permeabilidade, porosidade, etc.), as áreas de recarga/descarga, possível relação com outros sistemas aquíferos (com águas de superfície, condições de fronteira/limite), balanço hidrológico e controlo de níveis piezométricos (Barreiras, 2009).

A evolução constante das tecnologias, em associação à necessidade de visualizar novas perspetivas do modelo, permite que se atualizem as metodologias e se criem novas tendências na representação gráfica (por exemplo com recurso a projeções 3D).

De uma forma genérica, podem ser considerados 3 grandes tipos de modelos: Modelos Físicos, Modelos Analógicos e Modelos Matemáticos. Estes distinguem-se entre si essencialmente pela forma como solucionam a equação diferencial (1.2):

- Modelos Físicos (com reprodução à escala de sistemas aquíferos simples Figura 1.5);
- Modelos Analógicos - consistem na resolução da equação diferencial aplicando o princípio de semelhança entre vários fenómenos da natureza que obedecem ao mesmo princípio físico (ainda que a escalas diferentes), logo matematicamente são semelhantes: Lei de Darcy, Lei de Ohm e Lei de Fourier (Custodio e Llamas, 2001);
- Modelos Matemáticos - aplicam complexas expressões matemáticas. Podem ser agrupados, quanto ao tipo de solução em Métodos Analíticos e Métodos Numéricos (apresentam soluções por aproximação iterativa; existem vários tipos de modelos entre os quais se destacam os de diferenças finitas, elementos finitos, volumes finitos, elementos de contorno).

No presente estudo, a simulação do modelo da Bacia do Rio Dão foi desenvolvida também através da metodologia do software- FEFLOW que se enquadra nos métodos numéricos através de soluções por iterações de elementos finitos.

A técnica do método dos elementos finitos baseia-se em substituir a equação diferencial de fluxo por outra função $\Omega(h)$, aplicada para cada nível piezométrico, sendo a minimização desta função a solução aproximada da equação de fluxo inicial (Custodio e Llamas, 2001).

Na Figura 1.6 apresenta-se uma representação da malha de elementos finitos aplicada a um aquífero (genérico).



Figura 1.5 - Exemplo de modelos físicos, representando um aquífero livre e confinado (Alencão *et al.*, 2012).

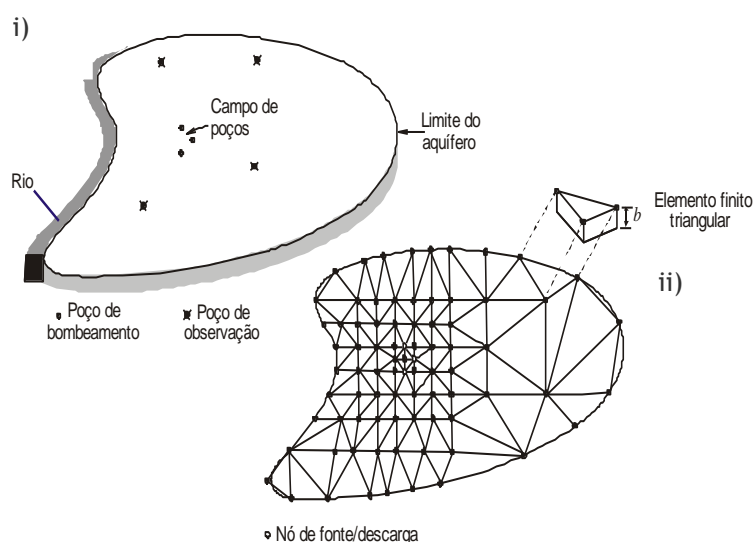


Figura 1.6 - Representação esquemática da aplicação de uma malha de elementos finitos de um aquífero: i) mapa do aquífero com o campo de poços de observação e seus limites; ii) malha de elementos triangulares em que b representa a espessura do aquífero (adaptado de UNESP, 2010).

A pesquisa bibliográfica resultou no compêndio de vários documentos que com temática semelhante (modelação hidrogeológica) mas de aplicação a outros sistemas hidrográficos e que possibilitaram otimizar as metodologias a aplicar no modelo em estudo. Neste sentido, para a conceptualização do modelo da Bacia do Rio Dão foram tidos em consideração os seguintes contributos (por ordem cronológica):

- i) Calado (2001) em que desenvolveu um estudo em que apresentou considerações sobre as ocorrências de água sulfúrea alcalinas no Maciço Hespérico, em especial as que afloram em associação às rochas ígneas intrusivas. Apresentou também uma análise sobre a presença e origem das formas do enxofre (e outras anomalias químicas)

estabelecendo comparações entre as estruturas químicas entre as águas em estudo e as que afloram em outras regiões europeias;

- ii) Sousa Oliveira (2001) apresentou contributos sobre os sistemas hidrominerais da Zona Geotectónica da Galiza-Trás-os-Montes, em que foram caracterizadas as águas minerais gasocarbónicas que ocorrem naquela Província Hidromineral. No estudo foi desenvolvida também uma abordagem integrada sobre os elementos de natureza geomorfológica, litoestratigráfica, tectónica, hidrogeológica, geofísica e hidrogeoquímica da área em estudo. A interpretação dos dados hidroquímicos de cada polo permitiu apontar correlações entre a litologia e o circuito hidromineral;
- iii) Carvalho (2006) organiza vários trabalhos científicos com ênfase na Zona Centro-Ibérica, da temática da prospeção e pesquisa de água subterrânea, de águas minerais e de recursos de baixa entalpia. Neste estudo é apresentada uma sistematização à escala regional da informação sistematizada, em que são abordados a avaliação de recarga, recursos e produtividades dos aquíferos e das captações;
- iv) Barreiras (2009) desenvolveu um estudo hidrogeológico para o concelho do Seixal, apresentando a modelação hidrogeológica e caracterização de cenários de exploração. A modelação hidrogeológica foi desenvolvida através do método das diferenças finitas, através do código Modflow inserido no programa Processing Modflow for Windows;
- v) Mendes (2010) estabeleceu um modelo de fluxo do escoamento subterrâneo do sistema aquífero da Serra da Gardunha, que serve de base às captações na produção da água de Nascente, Fonte da Fraga. A modelação do aquífero foi desenvolvida através do modelo matemático FEFLOW (Finite Element Subsurface Flow & Transport Simulation);
- vi) Brito (2011) que apresenta o modelo de escoamento subterrâneo do sistema aquífero do Sector do Ribeiro Frio da água de Nascente, Fonte da Fraga, no sentido de otimizar os mecanismos de proteção do recurso. A modelação do escoamento subterrâneo foi desenvolvida com base no software FEFLOW (Finite Element Subsurface Flow & Transport Simulation);
- vii) Morais (2012) apresenta um estudo detalhado da composição química elementar e isotópica em 13 sistemas hidrominerais das Beiras (Figura 1.7). Em associação à análise hidroquímica clássica adicionaram-se as relações isotópicas dos recursos permitindo relacionar os processos biogeoquímicos que estão na génese dos recursos hidrominerais.

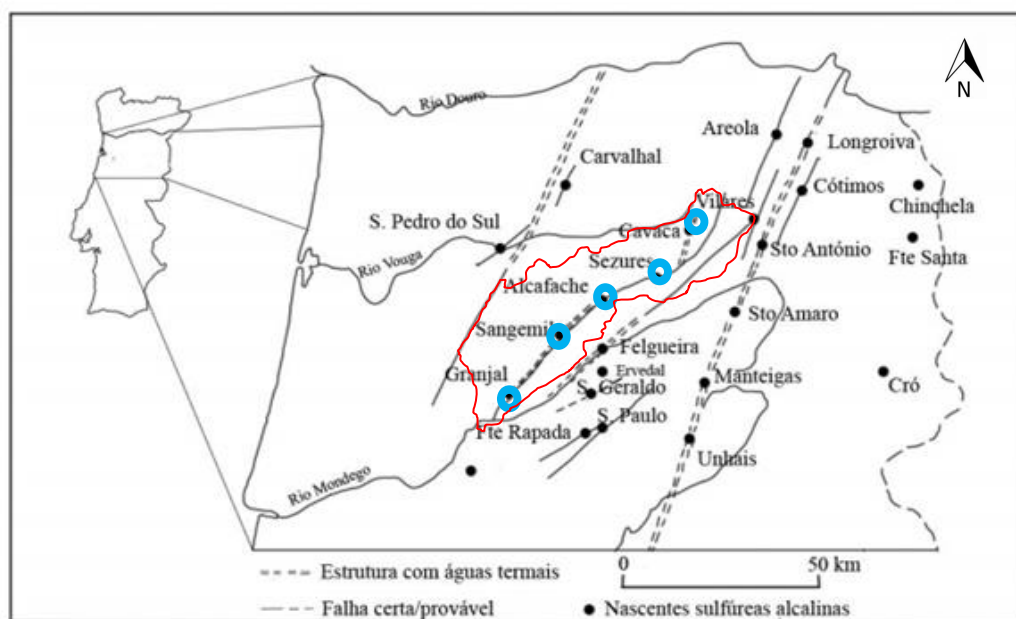


Figura 1.7 - Enquadramento regional das nascentes sulfúreas da região das Beiras analisadas por Morais (2012) com o realce das que afloram na Bacia do Rio Dão, estudadas em detalhe no presente trabalho (Granjal, Sangemil, Alcafache, Sezures e Cavaca). Adaptado de Morais (2012).

Capítulo 2

CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO DÃO

2.1. Elementos Básicos

2.1.1. Localização geográfica

O Rio Dão é o principal afluente da margem direita do Rio Mondego, com nascente em Eirado (próximo de Aguiar da Beira) a uma altitude aproximada de 840 m, em que a linha de água principal percorre ao longo de 92 km, até que desagua no Rio Mondego à cota média de 120 m (cota variável, controlada pela Barragem da Aguieira- PBH-Rio Mondego, 2000).

A Bacia do Rio Dão desenvolve-se na parte norte da Zona Centro do País (Figura 2.1) desde as imediações do marco geodésico de Cabesteiros, junto à povoação de Barranha, na freguesia de Eirado, no concelho de Aguiar da Beira (distrito da Guarda), percorrendo vários concelhos até confluir com o Rio Mondego na albufeira da Barragem da Aguieira (imediações de Santa Comba Dão (no distrito de Viseu)

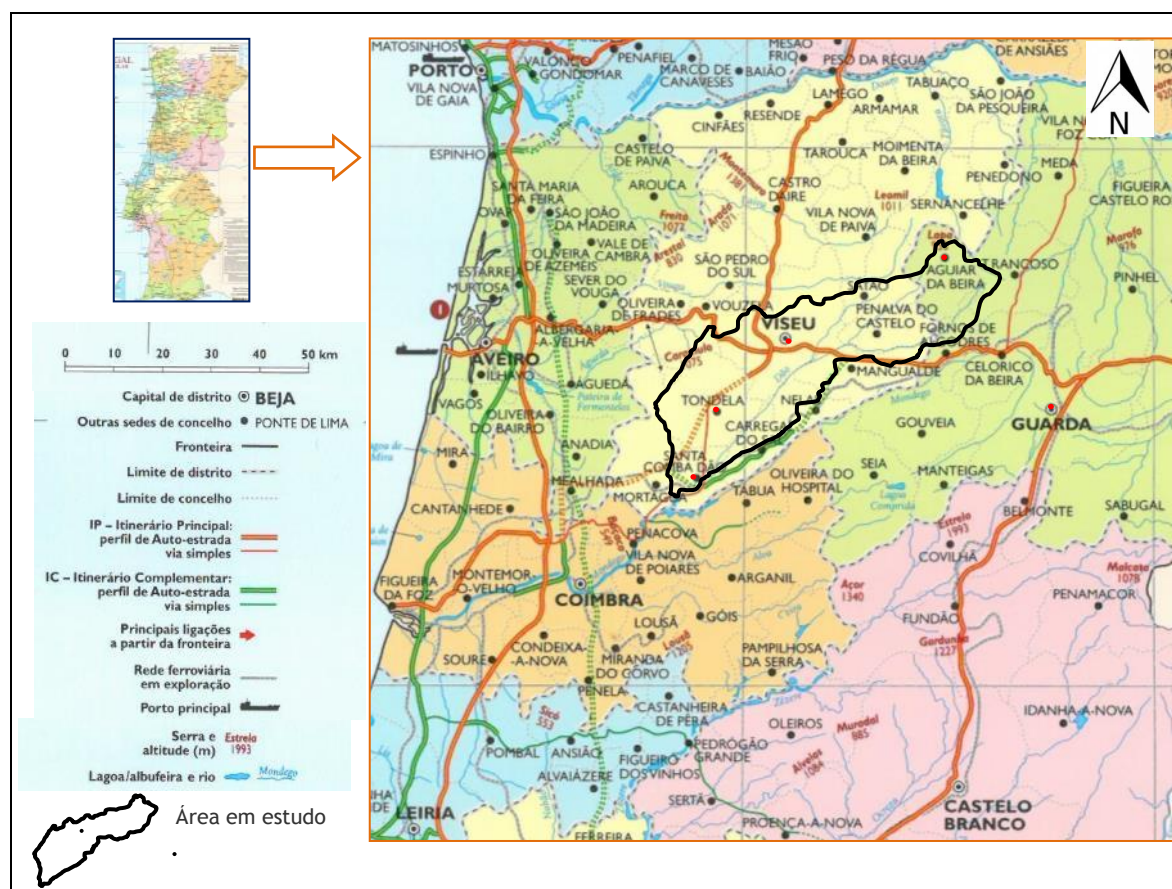


Figura 2.1 - Enquadramento regional da área em estudo. Esboço da Bacia do Rio Dão. Adaptado de Mapa Escolar de Portugal (2011).

O Rio Dão percorre ao longo do seu curso, por entre o “Planalto Beirão”, de montante para jusante, os concelhos de Aguiar da Beira, Sátão, Penalva do Castelo, Fornos de Algodres, Mangualde, Nelas, Viseu, Carregal do Sal, Tondela e Santa Comba Dão (Figura 2.2).

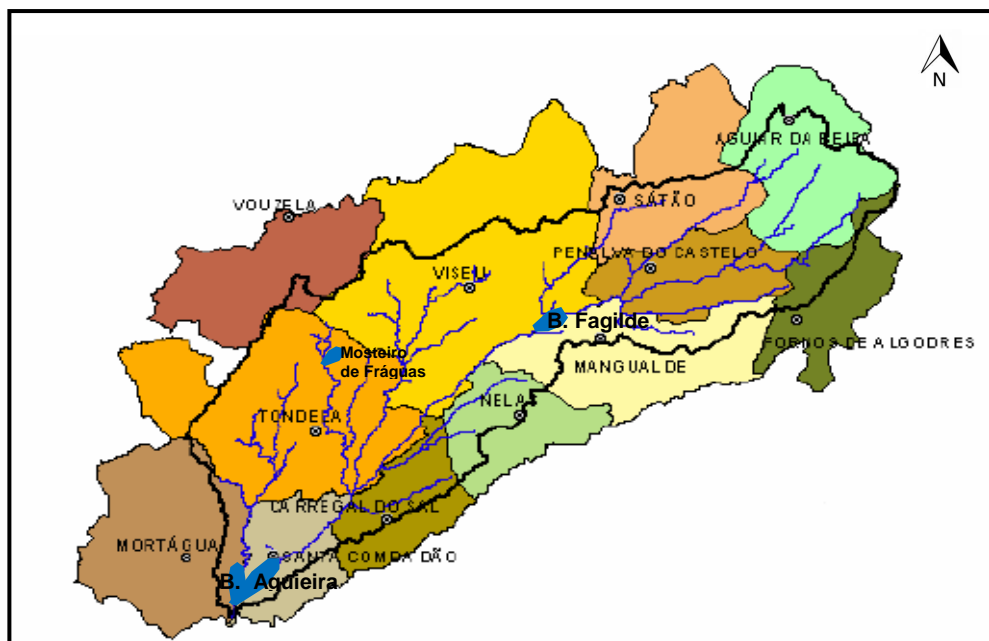


Figura 2.2 - Enquadramento administrativo do território da Bacia do Rio Dão. Esboço sem escala. Adaptado de Carvalho e Cardoso (2004).

Em termos de acessibilidades, na região do Dão é possível aceder às principais povoações através de rede rodoviária de Estradas Municipais e de várias Estradas Nacionais de relevância: o IP3, a N234, N229, além de que a zona central da bacia pode também ser acedida pela A25 (direção OE).

Destaca-se ainda a acessibilidade da envolvente em termos ferroviários, uma vez que na margem esquerda (junto à zona limite) desenvolve-se a linha da Beira Alta que faz ligação entre o entroncamento ferroviário da Pampilhosa (perto de Coimbra) até Vilar Formoso, permitindo o acesso através das estações de Mortágua (pouco a sul da zona de jusante), Santa Comba Dão, Carregal do Sal, Nelas, Mangualde e Fornos de Algodres (zona de montante).

2.1.2. Geomorfologia

2.1.2.1. Enquadramento geomorfológico regional

Conforme referenciado o Rio Dão é afluente da margem direita do Rio Mondego (Dec. Reg. n.º 9/2002), que se nasce na zona de Aguiar da Beira, na fronteira com a bacia do Rio Távora (que converge para norte, para o Rio Douro).

Em termos de infraestruturas de escoamento (Figura 2.2), no Rio Dão destaca-se a existência de duas barragens que condicionam o escoamento da bacia: a de Fagilde (na proximidade de Viseu) e a da Agueira (na foz do Rio Dão com o Rio Mondego). No Rio Dinha (junto à povoação de Mosteiro de Fráguas) foi construída uma infraestrutura de armazenamento de água, com o

objetivo de capacitar a rede de abastecimento público para os concelhos de Carregal do Sal, Tondela, Santa Comba Dão e Mortágua.

Em termos regionais, a Bacia do Rio Dão geomorfologicamente situa-se na Zona Centro - Ibérica onde ocorrem a maioria das águas sulfúreas (Figura 2.3). A área em estudo enquadra-se entre os acidentes de Bragança-Unhais da Serra e Verin-Penacova de orientação NNE-SSW, identificando-se desde já como grandes unidades geomorfológicas na envolvente: a Serra da Lousã, Açor e Estrela (a Sul), as Serras da Freita, Caramulo e Buçaco (a Oeste) e pelas Serras de Montemuro, Leomil e Lapa (Norte).

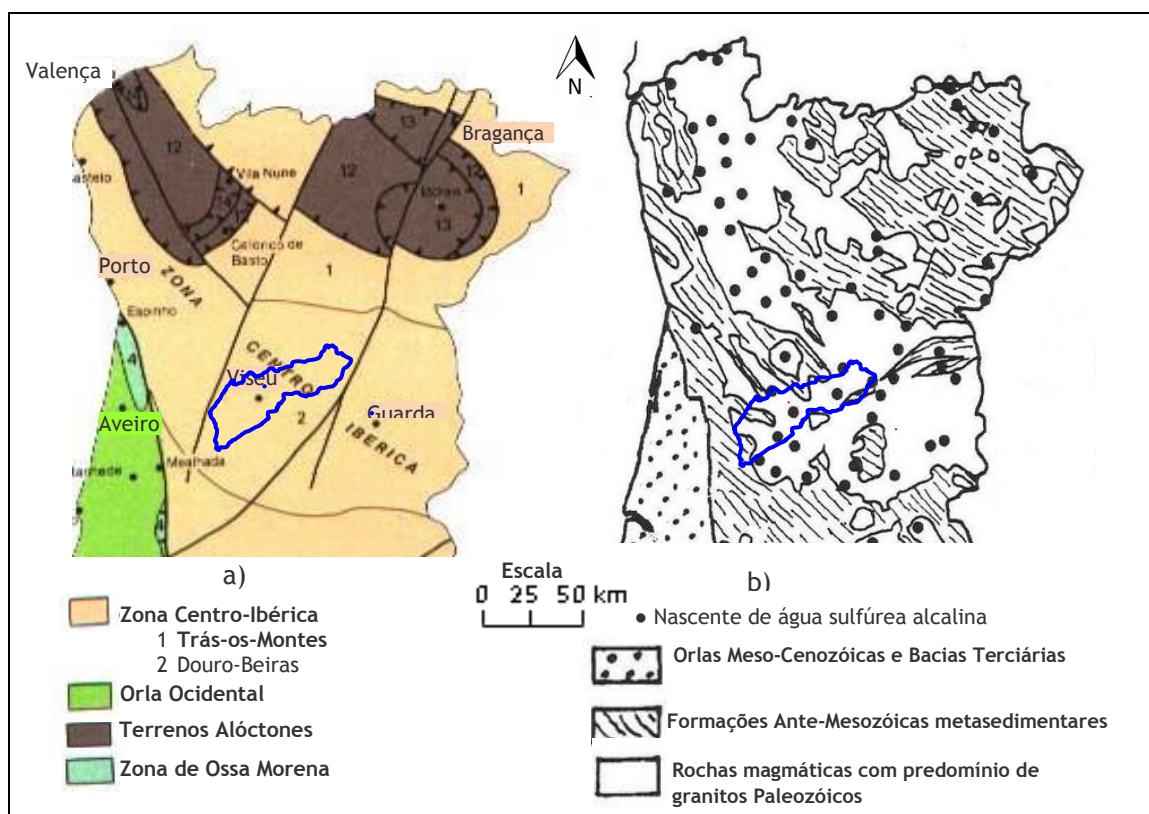


Figura 2.3 - Enquadramento geomorfológico da envolvente à Bacia do Rio Dão: a) Zonas paleogeográficas e tectónicas; b) Unidades geológicas com a distribuição das águas minerais sulfúreas alcalinas. Adaptado de Morais (2012).

Morfologicamente a bacia está inserida no Maciço Antigo em que o relevo caracteriza-se por áreas aplanadas e por fortes declives em que encaixam as principais linhas de água (POAA, 2005). Ainda que o relevo atual seja condicionado pela litologia e pela ação dos agentes erosivos, os impulsos tectónicos, em especial os reativados durante a colisão Bética, estarão na origem do delineamento do relevo atual (Ferreira, 2000).

A Bacia do Rio Dão pertence à grande superfície de aplanação localizada entre as Serras do Caramulo e da Estrela que foi rasgada profundamente pelos vales dos rios Mondego e Dão, em que os percursos são praticamente paralelos. São vales estreitos e encaixados, orientados

segundo a direção NE-SW (Teixeira *et. al.*, 1961). A bacia apresenta uma forma alongada, de relevo acentuado, com perímetro aproximado de 325 km (Dec. Reg. n.º 9/2002).

Ferrari de Almeida (2010) indica o Rio Dão como sendo um rio típico de planalto, ainda que sem grandes declives à semelhança dos afluentes da margem direita do Mondego. O ponto mais elevado de toda a bacia situa-se à cota de 1055 m, a norte de Tondela, sendo que a sua bacia drena uma área cerca de 1378 km², sendo que a linha de água principal com comprimento de 92 km, vence um desnível máximo da ordem de 800 m (Figura 2.4), o que em termos globais os declives são suaves para sudoeste, na ordem de 1 % para a linha de água e de cerca de 7% para os declives da bacia (Dec. Reg. n.º 9/2002).

O Rio Dão é classificado como Grau 3 segundo a classificação de Strahler (Figura 2.5), e tem como principais linhas de água que lhe afluem na margem direita a Ribeira de Coja, o Rio Satão, o Rio Dinha, o Rio Pavia e o Rio Criz, na margem esquerda a rede de drenagem não é tão desenvolvida, destacando-se apenas o Rio Carapito (Figura 2.4).

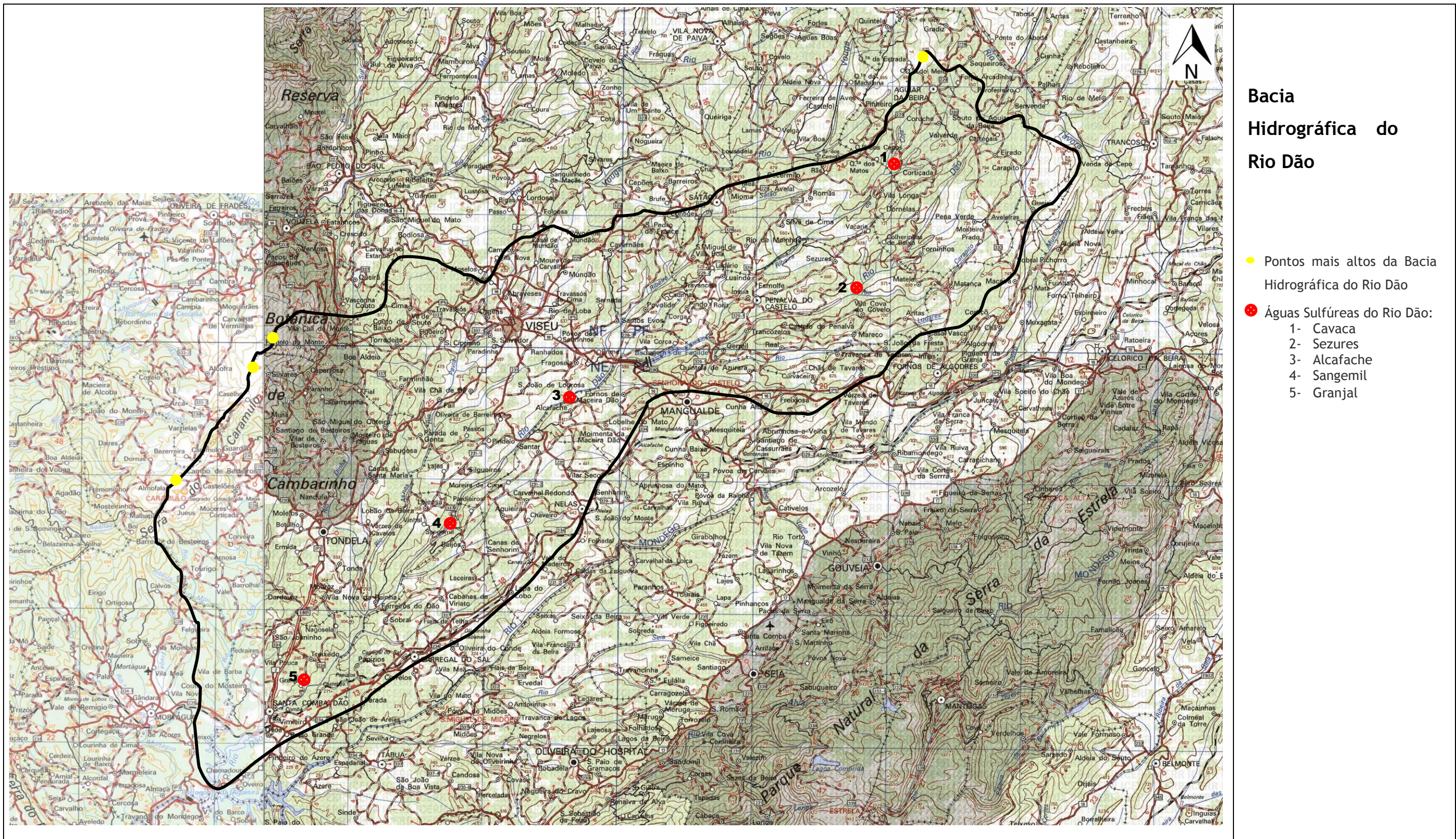
Quanto à tectónica, o vale do Rio Dão é condicionado pela Falha do Rio Dão (POOA, 2005) de orientação NE-SW, por entre os vales das Serras do Caramulo (parte oeste da Bacia) e o complexo montanhoso da Serra da Estrela (vertente poente), numa trajetória semi-parelela à do Rio Mondego.

A rede de drenagem é composta por linhas de água com troços retilíneos, que adotam direções preferenciais NNE-SSW, N-S, NE- SW e NW-SE, coincidentes com os principais estruturas tectónicas: Falha de Penacova-Régua-Verin e Falha do Rio Dão (LNEG- LGM, 2010).

Na bacia em estudo registam-se várias nascentes de águas sulfúreas em que a sua localização (junto às suas margens) indicará que a estrutura do Rio Dão contribuirá para a ressurgência da água à superfície. Ao longo da bacia, de montante para jusante ocorrem as seguintes nascentes de água de sulfúrea: Cavaca (Rio Coja); Sezures /Campina (Rio Dão); Alcafache (Rio Dão), Sangemil (Rio Dão) e Granjal (Rio Dão).

Uma particularidade que dificultou a observação de outras ressurgências é o fato dos maciços graníticos se apresentarem por vezes muito alterados (e com vegetação frondosa) dissimulando a possível existência de outras nascentes (inclusive na envolvente das nascentes conhecidas).

Em geral, as águas sulfúreas surgem associadas a falhas hercínias que condicionam a circulação e promovendo a ascensão dos recursos (DGMSG, 1970). Além de que Calado (2001) e Morais (2012) referenciam a possibilidade de ocorrência de uma extensa fratura ao longo da Bacia do Rio Dão, de direção global N45°E (NE-SW), com alguns ressaltos, mas com continuidade na horizontal, que provavelmente provocará a ascensão das águas sulfúreas.



Bacia Hidrográfica do Rio Dão

- Pontos mais altos da Bacia Hidrográfica do Rio Dão
- Águas Sulfúreas do Rio Dão:
 - 1- Cavaca
 - 2- Sezures
 - 3- Alcafache
 - 4- Sangemil
 - 5- Granjal

Figura 2.4 - Enquadramento geomorfológico da Bacia do Rio Dão, em mapa à escala ≈ 1/230 000 (a partir de extrato das Cartas n.º 3 e 4 do IGeoE, 2005).

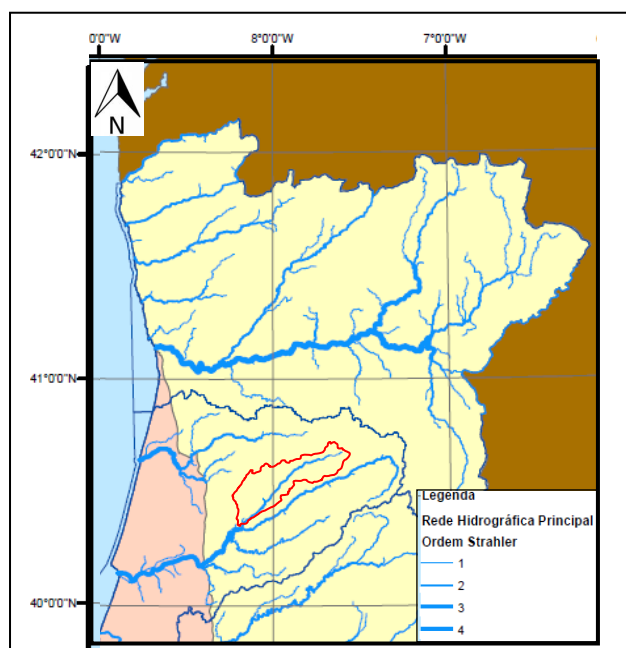


Figura 2.5 - Enquadramento da classificação do Rio Dão face à Rede Hidrográfica Principal. Adaptado de SNRIH (2016).

A água que ocorre em algumas dessas nascentes é relativamente quente, como é o caso de Alcafache e Sangemil (com cerca de 50°C) o que poderá ser indicador da influência desta extensa fratura na circulação subterrânea.

Algumas das nascentes afloram em acidentes/nós tectónicos ativos ou inativos, alguns reativados no Quaternário, e que tendem a repetir-se à escala local. Para além dos desligamentos NNE-SSW (falha Verin-S. Pedro do Sul e a falha de Bragança), “o vale do Rio Dão, parece também condicionado por uma falha deste tipo” (Carvalho *et al.*, 1990).

Importa ainda salientar que a zona de confluência com o Rio Mondego, coincide geologicamente com a zona de contato entre os granitoides e as rochas xistentas. Entende-se que este sincronismo geológico condiciona a circulação em profundidade, uma vez que os elementos do Complexo Xisto-Grauváquico se apresentam quase impermeáveis em relação aos granitoides.

Alguns elementos da bacia, sob o ponto de vista geomorfológico e geológico, foram também apresentados por Ferreira Gomes (2004), aluindo que o modelo geohidráulico da água sulfúrea do Granjal, baseia-se na existência de uma grande falha geológica, que se desenvolve ao longo de cerca de 90 km segundo um alinhamento NE-SW, e que será a responsável pelas ressurgências que servem várias unidades termais (águas sulfúreas), ou seja, as Caldas da Cavaca a norte, depois para sul, as Termas de Alcafache, as Termas de Sangemil e por fim ainda mais a sul, junto a Santa Comba Dão (Granjal).

Na bacia ocorre ainda uma água sulfúrea na margem direita do Rio Dão, nas imediações da povoação de Campina, freguesia de Sezures no concelho de Penalva do Castelo. Na bibliografia a nascente é denominada por Sezures.

No item seguinte serão apresentados os aspetos geomorfológicos para cada uma dessas ocorrências.

2.1.2.2- Geomorfologia local

Ao longo da Bacia do Rio Dão são estudados em detalhe os aspetos geomorfológicos para cada água sulfúrea por forma a compilar os vários elementos geohidráulicos que ocorrem na bacia.

Na zona mais a norte da bacia, na freguesia de Cortiçada, concelho de Aguiar da Beira, nas margens do Rio Coja, a cerca de 2 km da povoação Cavaca, ocorrem as nascentes das Caldas da Cavaca, no fundo do vale moderadamente encaixado com orientação geral de NNE-SSW (Bastos *et al.*, 2002), com altitude aproximada de 580 m.

A envolvente da captação da Cavaca caracteriza-se por desníveis topográficos pouco acentuados (Ferrari de Almeida, 2010). Os principais sistemas de fraturação na envolvente das Caldas da Cavaca tomam as direções de NNE-SSW a NE-SW e NW-SE (Morais, 2012). Calado (2001) classifica a envolvente como reprodução de um campo sujeito a controlo estrutural, em que a linha de água contígua inflete de forma pronunciada a sua direção de NNE-SSW para SE-NW, tornando ao NNE-SSW um pouco mais a jusante.

Avançando no sentido do escoamento, um pouco mais a sul, na margem direita do Rio Dão, ocorre uma pequena nascente de água sulfúrea denominada na bibliografia como “água de Sezures” com altitude aproximada de 420 m. Calado (2001) que faz referência à sua localização associada a um “vale de fratura, num troço de rio com a direção NE-SW” e que a poucos metros muda de direção para NW-SE e retoma a direção de NE-SW.

A partir de Sezures percorrendo cerca de 30 km o Rio Dão delimita os concelhos de Viseu e Mangualde, sendo que a zona da nascente de Alcafache ocorre também na envolvência desta divisão administrativa.

A povoação de Alcafache na margem esquerda pertence ao concelho de Mangualde (freguesia de Alcafache), contudo o parque Termal desenvolve-se na margem direita que pertence ao concelho de Viseu na freguesia de S. João de Lourosa. O recurso das Termas de Alcafache emerge em pleno leito do Rio Dão a uma cota aproximada de 230 m.

No Catálogo de Recursos Geotérmicos (LNEG, 2006) o modelo geohidráulico de Alcafache é traduzido pelo sistema de fraturação NE e NW do maciço granítico, em que lhe é atribuída como zona de recarga o Alto Dão e Alto Mondego. A circulação subterrânea após infiltração

ocorre preferencialmente pelo sistema de falhas do vale do Rio Dão (orientação NE) que condiciona e enriquece o recurso em mineralização e temperatura. Perpendicularmente a esta fendilhação, o sistema de fraturação local (NW) favorece a ascensão do recurso resultando nas emergências conhecidas.

Avançando para jusante no Rio Dão, a cerca de 14 km de Alcafache, na pequena aldeia de Sangemil, da freguesia da Lajeosa (concelho de Tondela) ocorre em pleno leito do rio as nascentes das Caldas de Sangemil, a uma altitude de 195 m aproximadamente.

Segundo o Catálogo de Recursos Geotérmicos (LNEG, 2006) a área das nascentes foi fortemente afetada pelo sistema de fraturação N50°-60°E, e que em simultâneo ter-se-ia implantado a fraturação N-S conjugada com o sistema de fraturação de “alívio” N30°E.

A poucos quilómetros da Foz do Rio Dão com o Rio Mondego, na povoação do Granjal - Santa Comba Dão (distrito de Viseu), ocorre uma pequena mina de água do tipo sulfúrea à altitude de 180 m associada a uma pequena linha de água com uma direção de NW-SW passando para NNE-SSW a seguir à zona da nascente.

2.1.3. Enquadramento Geológico

Tendo em conta a dimensão da bacia em estudo, importa alargar numa primeira etapa o enquadramento geológico para a dimensão da Península Ibérica sendo constituída por um fragmento do soco hercínico, chamado Maciço Hespérico (Ferreira, 2000).

Este maciço com cerca de 200 milhões de anos e estende-se nas partes oeste e central da Península, formado por terrenos antigos, que incluem rochas eruptivas (graníticas), sedimentares e metamórficas (Sousa Real, 1987). O Maciço Hespérico foi organizado em Zona Cantábrica, Zona Asturocidental-Leonesa, Zona Centro Ibérica, Zona de Ossa-Morena e Zona Sul Portuguesa (Ferreira, 2000).

Consultando a Carta Geológica de Portugal (Sousa Real, 1987) a Bacia do Rio Dão desenvolve-se na Zona Centro-Ibérica, constituída essencialmente por granitoides da idade Hercínica (Figura 2.6), em que predominam os maciços graníticos *sin-tectónicos* relativamente a F3 e em especial os da Série intermédia (γ_{112b}) nas áreas de confluência com o Rio Mondego e ainda os *tardi a pós-tectónicos* em relação a F3 e em especial os da Série Tardia (γ_{113b}) nas zonas para montante.

Ocorrem ainda, na zona mais a jusante, na zona do Rio Criz, os maciços de rochas xistentas, do Complexo Xisto-Grauváquico (do Grupo das Beiras, representado pelas formações do Rosmanihal - CBR), constituídas por rochas xistentas resultantes de turbiditos finos e conglomerados da Série média do Câmbrico.

Note-se que o maciço granítico foi sujeito a ações tectónicas hercínicas e tardi-hercínicas (Carvalho *et al.*, 1990), resultando em dobramentos, metamorfismos e falhas (evidências de fraturas com orientações gerais de NNE-SSW e NE-SW, por vezes preenchidas por filões).

Da vasta rede de filões e estruturas lineares que ocorrem no maciço granítico, destacam-se os alinhamentos de direção global NE-SW (Figura 2.6), que correspondem a fraturas antigas e que foram preenchidas por filões de microgranitos, de quartzo, e de rochas básicas. Estas estruturas lineares chegam a atingir mais de uma dezena de metros na sua espessura. Entende-se que estes elementos poderão contribuir na recarga e água subterrânea em profundidade e, por vezes, no condicionamento da direção e sentido das linhas de fluxo da água subterrânea da região (Ferreira Gomes, 2004).

Em termos de geologia local, tendo como ponto de partida a zona de montante da bacia, a envolvente da nascente de água sulfúrea das Caldas da Cavaca emerge numa zona composta essencialmente por granitoides e rochas filonianas e numa área exígua composta por aluviões das Caldas da Cavaca (Cerqueira *et al.*, 2006).

Na zona da Cavaca o granito é do tipo porfiroide, de duas micas, de grão médio a grosseiro, que por vezes se encontra medianamente alterado a alterado. Naquela envolvente ocorrem também fácies de rochas graníticas, no seio das quais se instaram filões e massas de quartzo orientadas, regra geral segundo a direção NE-SW e mais raramente, segundo N-S ou SW-SE (Carvalho *et al.*, 2005).

Nas imediações das Termas de Alcafache o granito porfiroide apresenta grandes cristais de feldspato e de biotite e são frequentes as inclusões de granito rosáceo ou avermelhado.

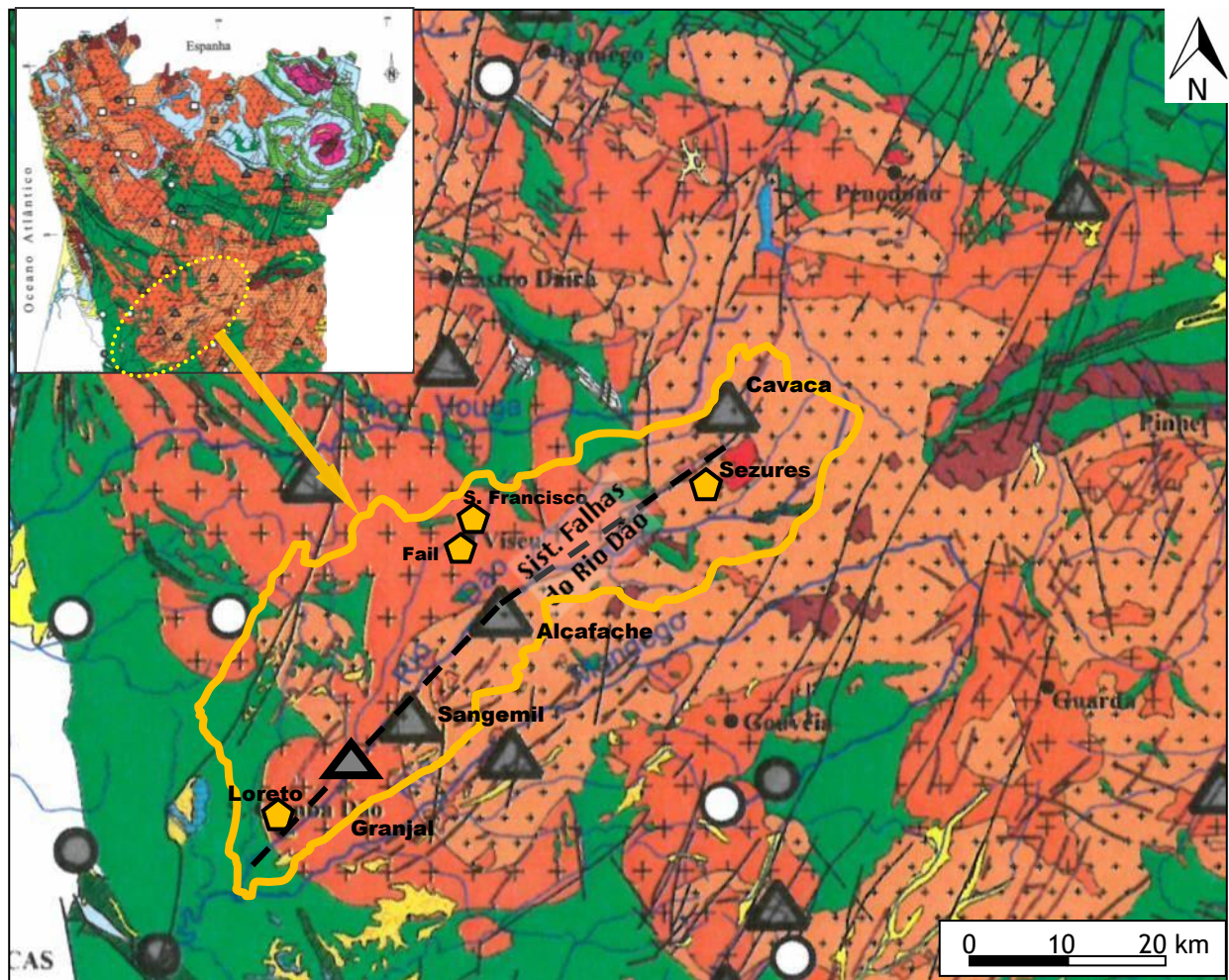
As nascentes das Caldas de Sangemil ocorrem em pleno vale do Rio Dão, em que na envolvente das nascentes aflora granito porfiroide de duas micas, de idade hercínica (Ferrari de Almeida, 2010).

Na zona mais a sul, na envolvente da nascente do Granjal afloram elementos do maciço granítico, porfiroide, “muito são” (Ferreira Gomes, 2004).

2.2. Aspetos Hidrogeoambientais

2.2.1. Elementos climáticos e hidrológicos

Por forma a caracterizar a Bacia do Rio Dão foram analisados alguns dos elementos climáticos e hidrológicos, recorrendo-se aos dados disponíveis *on line* no Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH, 2016).



LEGENDA:

UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS:

Depósitos de cobertura (Meso-Cenozóico)

- Areias de dunas e de praia, aluviões
- Terraços flúvio-marinhos e depósitos conglomeráticos
- Arcoses e conglomerados
- Grés e calcários

Rochas Metassedimentares

- Quartzo-filitos, filádios, xistos carbonosos com intercalações de ampelitos e liditos, complexo greso-quartzítico, argilitos e conglomerados
- Quartzitos maciços, quartzitos xistoides e xistos ardosíferos intercalados

- Xistos, grauvaques, níveis metaconglomeráticos e complexo migmatítico-gnaissico (C_{BR})

Rochas Graníticas

- Granito de grão médio a grosseiro de duas micas (γ^{II}_{2b})
- Granito de grão médio a fino essencialmente biotítico (γ^{II}_{3b})
- Gnaisses, migmatitos e granitos gnaissicos

Rochas Filoneanas

- Rochas básicas
- Filões e massas de quartzo

Outras estruturas

- Falhas e/ou lineamentos tectónicos
- Albufeiras/ Linhas Água
- Localidades
- Cavalcamento e/ou carreamento

ÁGUAS DE NASCENTE

- ÁGUAS REFERENCIADAS
- NÃO CLASSIFICADAS

ÁGUAS MINERAIS:

- Hipossalinas
- Sulfúreas

Figura 2.6 - Enquadramento da envolvente à Bacia do Rio Dão com os principais alinhamentos estruturais e unidades geológicas: a) Unidades Hidrogeológicas; b) Localização das ocorrências de água mineral natural e águas de nascente. Adaptado de Carvalho (2006).

Na Tabela II.1 apresentam-se as características das estações meteorológicas e udométricas que se localizam na área da bacia (ou se situam muito próximas), com pelo menos um período de amostragem de 30 anos.

Tabela II.1- Características das estações meteorológicas com importância para avaliação de aspetos hidrológicos na área em estudo.

Zona da Bacia	Estação	Localização (*)		Altitude (m)	Freguesia (Concelho)	Parâmetro	Período amostragem
		Coord. X (m)	Coord. Y (m)				
Montante	Aguiar da Beira (AGB)	2500054,000	428058,000	776	Aguiar da Beira (A. da Beira)	PM	1931-2009
	Forninhos (FRN)	248410,499	415172,013	498	Forninhos (A. Beira)	PM	1980-2009
	Satão (STA)	233556,346	418945,946	570	Satão (Satão)	PM	1960-2015
Intermédia Montante	Mangualde (MNG)	227537,198	403312,149	512	Fornos M. Dão (Mangualde)	PM	1931-2015
	Fornos de Algodres (FRA)	251028,486	406582,713	473	F. de Algodres (F. Algodres)	PM	1917-2009
	Fragosela de Baixo (FRB)	224045,123	407045,123	376	Viseu (Viseu)	PM TM ⁽¹⁾	1980-2009 1931-1960
	Penalva do Castelo (PNC)	235278,472	412074,794	420	Ínsua (Pen.do Castelo)	PM	1980-2008
Intermédia Jusante	Caramulo (CMR) ⁽¹⁾	196900,340	400402,410	810	Guardão (Tondela)	PM TM ⁽¹⁾	1931-1960
	Ermida (ERM)	202735,028	393082,198	293	Tondela (Tondela)	PM	1942-2009
	Vilar de Besteiros (VLB)	204519,691	400825,573	348	V. de Besteiros (Tondela)	PM	1980-2009
Jusante	Carregal do Sal (CRS)	211460,535	384052,606	275	Currelos (C. do Sal)	PM	1980-2007
	Almaça (ALM)	192167,639	374423,920	116	U.F. Mortágua (Mortágua)	PM	1959-2009
	Alagoa (ALG)	195800,43	370657,924	182	S. P. Alva (Penacova)	PM TM	1982-1992 2002-2008
	Santa Comba Dão (SCD)	201300,293	384938,420	289	S. Joaquinho (S. C. Dão)	PM	1932-2015
	Oliveira do Hospital (OLH)	222656,289	376798,475	468	O. do Hospital (O. do Hospital)	PM TM	1931-2015

(*) Coordenadas planimétricas de cada estação apresentadas no sistema "Hayford Gauss Militar Datum Lisboa" (SNIRH, 2016). (1) Adaptado de Ferreira Gomes (2004) através de Ferreira, 1970, em "O Clima de Portugal", Fasc.XIII).PM-precipitação Mensal. TM- Temperatura Mensal.

No sentido de parametrizar as diferentes zonas da bacia, seccionaram-se as estações em quatro zonas: montante (Aguiar da Beira Satão, Forninhos), intermédia de montante (Fragosela de Baixo, Penalva do Castelo, Mangualde e Fornos de Algodres), intermédia de jusante (Caramulo, Vilar de Besteiros e Ermida) e jusante (Santa Comba Dão, Carregal do Sal, Oliveira do Hospital, Almaça e Alagoa).

Na Figura 2.7 representa-se em mapa a localização de todas as estações, em função da zona da bacia, com a indicação das águas sulfúreas da bacia.

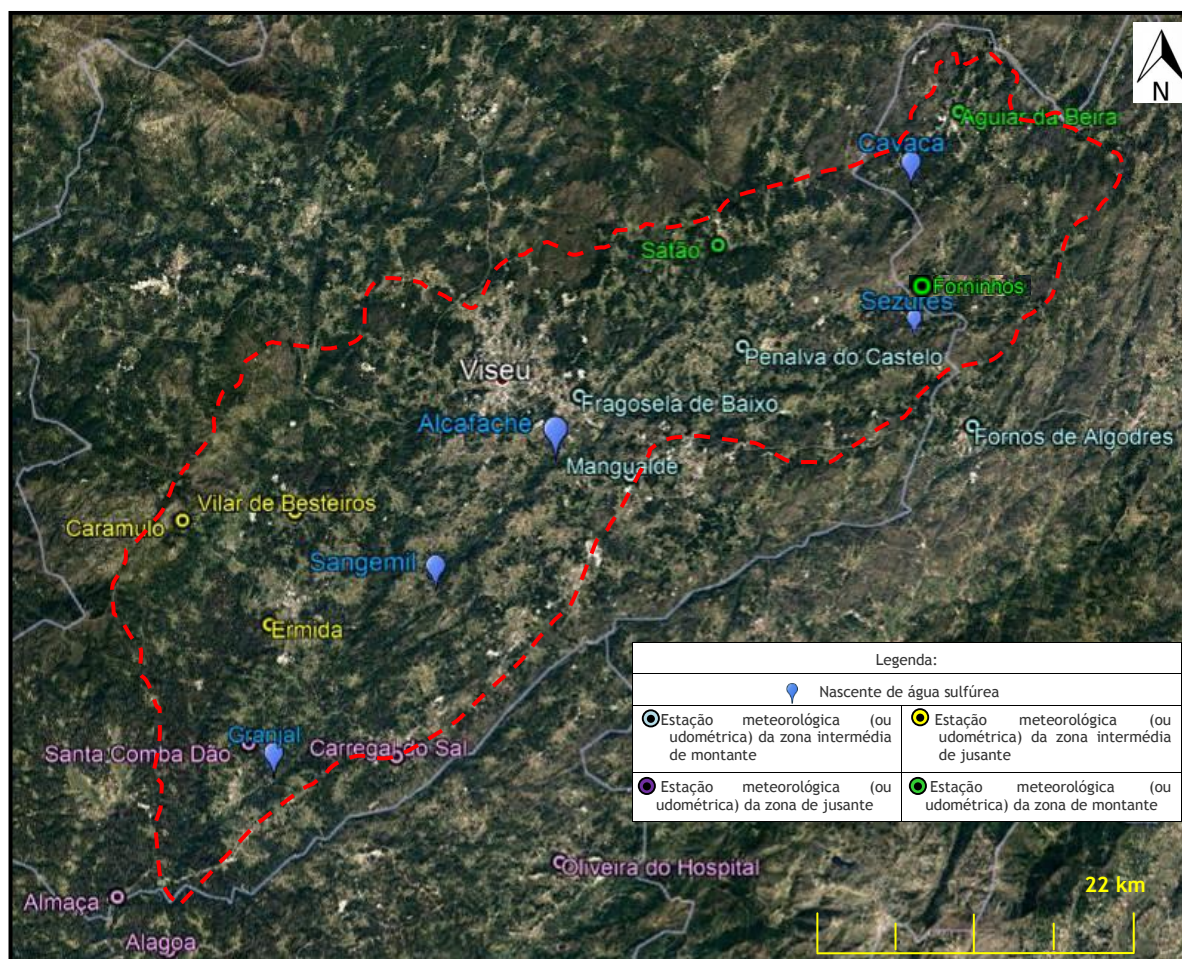


Figura 2.7- Localização das várias estações com registos de parâmetros climáticos na Bacia do Rio Dão nas várias zonas da Bacia (a partir de Google Earth, 2017).

Na base de dados do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH, 2016), as estações que se encontram na bacia não dispõem de registos para o parâmetro Temperatura. Contudo, dada a proximidade da estação climatológica de Oliveira do Hospital com a área em estudo, entende-se que esta estação poderá contribuir para o Balanço Hidrológico, uma vez que dispõe de leituras para aquele parâmetro para um período de retorno superior a 30 anos (contrariamente à de Alagoa em que os elementos foram registados em determinados períodos).

Na Tabela II.2 apresentam-se os parâmetros registados pelas diferentes estações implementadas na Bacia do Rio Dão. Os valores da precipitação referem-se à média da registada naquele mês (em mm), para os diferentes anos de amostragem, enquanto os valores característicos da temperatura são relativos à temperatura média do ar, em termos mensais (em °C).

Por forma a complementar os dados apresentados na Tabela II.2, recorreu-se também à consulta dos elementos gráficos disponíveis no Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (base *on line*) para a Bacia do Rio Mondego (Figura 2.8).

Da comparação entre os valores tabelados pelo SNIRH (Tabela II.2) e a representação gráfica da Figura 2.8, denota-se que os parâmetros das estações apontam para valores mais conservadores (temperaturas médias das estações abaixo dos intervalos indicados na Figura 2.8). Ainda assim, entende-se que a distribuição gráfica pode ser útil em especial no complemento dos dados numéricos.

Tabela II.2 - Parâmetros registados nas estações meteorológicas com importância para avaliação de aspetos hidrológicos na área em estudo, adaptado de SNRIH, 2016.

Est	Parâm.	Mês												Ano
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
AGB	P (mm)	179,8	143,2	130,6	99,8	88,9	49	16,6	19,1	57	116,4	150,2	172,5	1223,1*
FRN	P (mm)	118,7	85	45,2	75,7	70,5	35,7	14,9	17,9	44,6	105,1	118,6	128,8	860,7*
STA	P (mm)	162,6	144	85,9	93,9	84,0	46,9	17,5	22,3	51,3	132,6	137,8	151,1	1129,9*
MNG	P (mm)	152,1	120,9	116	81,2	78,3	42,2	16,2	18,7	50,3	104,2	124,6	142,6	1047,3*
FRA	P (mm)	133,4	105,2	97,3	78,3	72,3	37,9	12,6	15,6	41,0	92,1	109,2	138	932,9*
FRB	P (mm)	109,0	85,0	51,1	89,0	65,2	34,5	8,0	19,0	39,1	124,1	115,6	110,9	850,5
	T (°C)	6,2	7,2	9,8	11,9	14,3	18,1	20,2	20,0	17,8	13,7	9,6	6,8	13,0**
PNC	P (mm)	110,3	90,3	47,5	81,3	74,5	36,4	15,0	16,4	40,9	107,8	107,2	133,2	860,8*
CMR	P (mm)	330,7	254,9	316,2	153,1	155,9	63,3	23,9	34,2	79,9	172,5	271,3	309,9	2165,8*
	T (°C)	5,8	6,7	8,8	11,0	12,8	16,8	19,4	19,8	17,4	13,6	9,5	6,5	12,4**
ERM	P (mm)	184,8	169,8	124,7	96,2	95,7	48,4	13,5	18,8	59,3	134,9	150,7	176,4	1273,2*
VLB	P (mm)	153,4	138,9	77,8	110,6	90,0	45,9	11,3	27,3	57,8	158,1	153,7	178,8	1203,6*
CRS	P (mm)	118,5	105,6	57,1	84,2	77,3	38,3	13,0	20,4	47,2	120,3	113,4	147,4	942,7*
SCD	P (mm)	143,6	121,6	107,1	91,7	76,8	37,1	14,6	16,9	48,6	106,1	125,3	148,7	1038,1*
ALM	P (mm)	154,3	140,4	95,9	95,0	76,3	38,4	9,4	12,8	51,2	110,4	132,7	148,1	1064,9*
ALG	T (°C)	7,3	8,4	10,1	11,6	13,8	17	18,7	18,9	18,2	14,9	11,0	8,9	13,23**
	P (mm)	136,2	114,6	86,7	112,9	82,2	43,9	15,0	25,5	63,3	135,6	153,7	141,0	1110,6*
OLH	T (°C)	7,8	9,0	11,2	12,3	15,5	18,8	21,4	21,7	19,7	15,6	11,3	9,0	14,44**
	P (mm)	143,5	114,4	109,4	90,6	77,9	42,0	15,0	17,3	46,2	101,9	121,8	142,8	1022,8*

(*)- total em mm; (**)- média em °C

Por exemplo, na zona de montante, as estações naquela zona não dispõem dados para o parâmetro da temperatura, o que para o cálculo do Balanço Hidrológico poderia ser um fator restritivo. Contudo, analisando a distribuição gráfica pode estimar-se que a temperatura na zona de montante é mais baixa que a zona intermédia de montante em 1° C (sobre a qual já se dispõe dados numéricos).

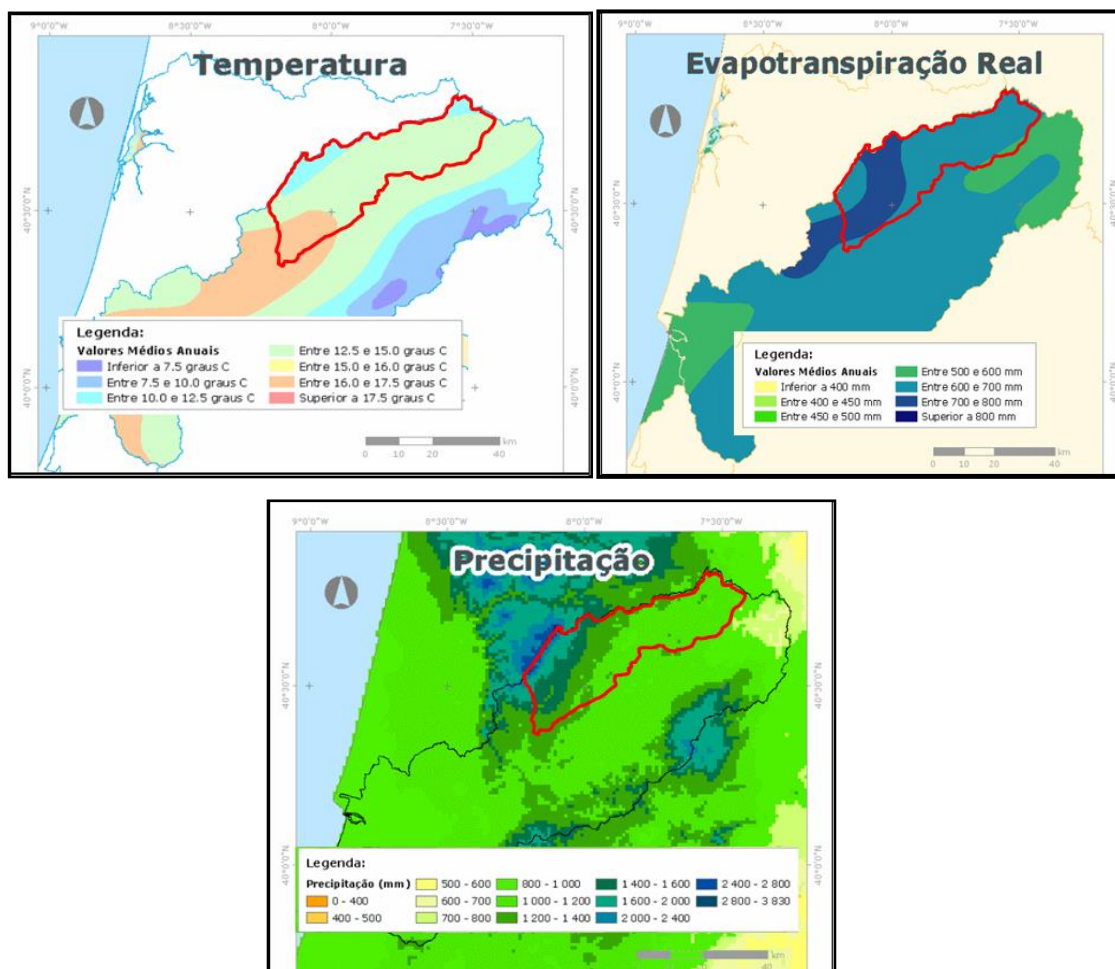


Figura 2.8 - Enquadramento em mapa dos valores de temperatura média diária do ar, precipitação total anual e de evapotranspiração real (quantidade de água devolvida à atmosfera) da Bacia do Rio Dão em relação à Bacia do Rio Mondego (a partir de SNIRH, 2016).

2.2.2 Balanço hidrológico

Com o objetivo de analisar o potencial da recarga em cada uma das zonas da bacia, será desenvolvida a metodologia utilizada por Gomes da Costa em 2011 (tendo-se estimado naquele trabalho o balanço hidrológico para a envolvente do Granjal- zona de jusante).

De uma forma genérica, a metodologia consiste na aplicação do método de Thornthwaite e Mather (1957, *in* Lencastre e Franco, 1992) através da equação:

$$P - (ETR + \Delta S_s) = R + \Delta S_s + G + \Delta S_{sso} \quad (\text{mm}) \quad (2.1)$$

sendo:

- P a precipitação;
- ETR a evapotranspiração real;
- R e G os escoamentos superficiais e subterrâneos, respetivamente;
- ΔS_s , ΔS_{s0} e ΔS_{sso} as variações do armazenamento de água, à superfície, no solo arável e no subsolo, respetivamente.

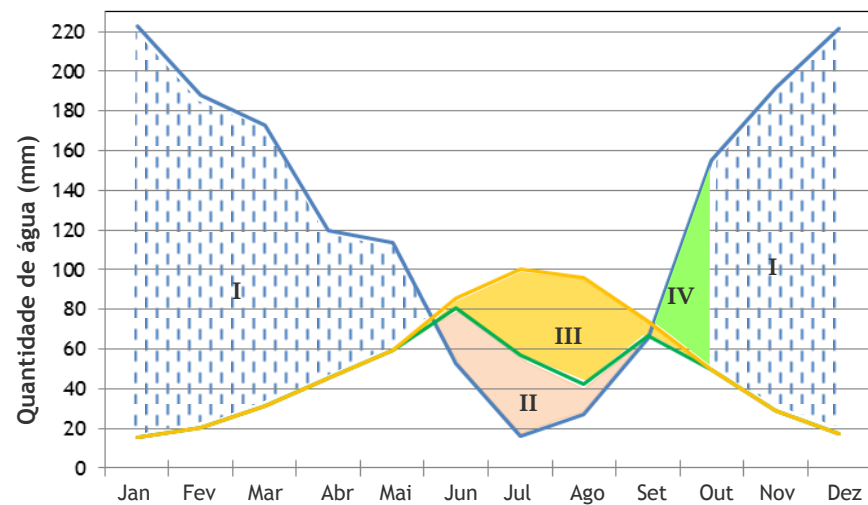
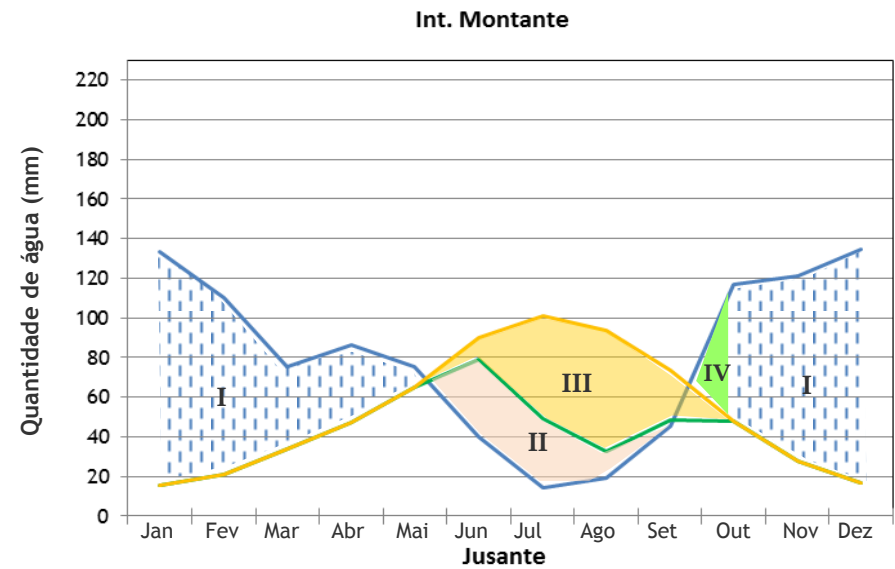
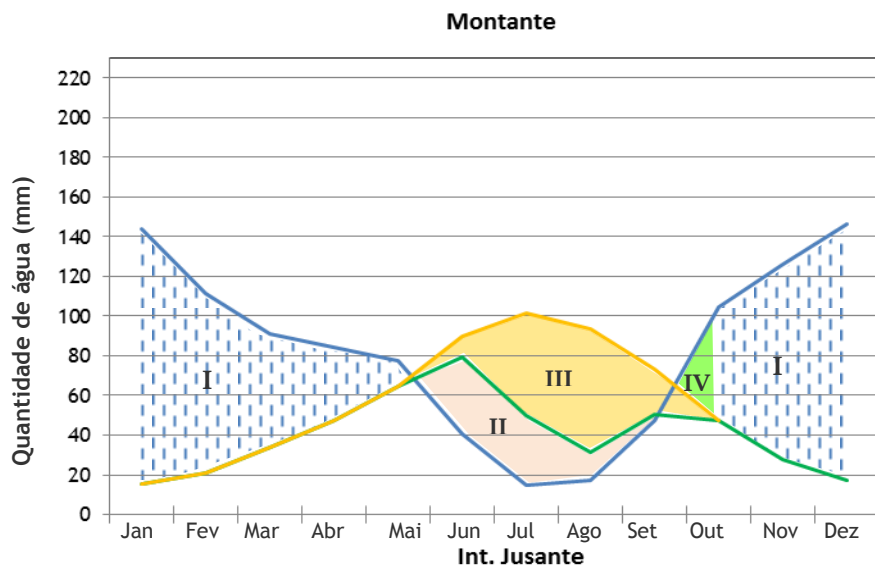
Na Tabela II.3 apresentam-se os parâmetros do balanço hidrológico da equação (2.1) para cada zona da bacia, representados em termos gráficos na Figura 2.9.

Tabela II.3 - Balanço Hidrológico sequencial mensal para as várias zonas da bacia do Rio Dão.

	(mm)	Meses												Ano
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Montante	ETP	14,39	19,89	34,11	49,37	68,88	97,87	111,12	102,56	79,67	50,42	27,80	16,06	672,14
	P-ETP	139,31	104,17	53,12	40,43	12,26	-54,01	-94,79	-82,80	-28,70	67,61	107,74	134,74	399,10
	L						-54,01	-148,80	-231,59	-260,29				-694,69
	Sso	100	100	100	100	100	58,27	22,58	9,87	7,41	75,02	100	100	
	ΔSso						-41,73	-35,69	-12,72	-2,46	67,61	24,98	0,00	
	ETR	14,39	19,89	34,11	49,37	68,88	85,59	52,02	32,48	53,43	50,42	27,80	16,06	504,44
	DH						12,28	59,10	70,08	26,24				167,70
	SH	139,31	104,17	53,12	40,43	12,26					0,00	82,76	134,74	566,80
Intermédia Montante	ETP	15,80	21,41	35,79	51,38	71,45	101,59	115,56	106,64	82,68	52,32	29,20	17,40	701,22
	P-ETP	108,96	77,97	38,32	31,90	1,18	-63,87	-102,54	-88,85	-39,49	57,72	85,94	112,41	219,65
	L						-63,87	-166,41	-255,26	-294,75				-780,30
	Sso	100	100	100	100	100	52,80	18,94	7,79	5,25	62,96	100	100	847,73
	ΔSso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-47,20	-33,86	-11,15	-2,54	57,72	37,04	0,00	0,00
	ETR	15,80	21,41	35,79	51,38	71,45	84,92	46,88	28,94	45,73	52,32	29,20	17,40	501,22
	DH						16,49	69,10	79,89	39,14				204,62
	SH	117,60	83,79	61,51	26,92	0,85					-17,94	42,97	120,60	436,30
Intermédia Jusante	ETP	15,74	21,02	33,01	48,64	64,28	94,46	111,51	106,98	82,16	53,79	30,49	17,73	679,80
	P-ETP	207,23	166,85	139,89	71,32	49,59	-41,93	-95,27	-80,22	-16,49	101,38	161,41	203,97	867,73
	L						-41,93	-137,20	-217,42	-233,91				
	Sso	100	100	100	100	100	65,75	25,36	11,37	9,64	100	100	100	
	ΔSso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-34,25	-40,39	-13,99	-1,73	90,36	0,00	0,00	
	ETR	15,74	21,02	33,01	48,64	64,28	86,78	56,63	40,76	67,40	53,79	30,49	17,73	536,25
	DH						14,31	59,81	65,69	22,63				162,45
	SH	137,66	117,88	44,79	61,96	25,72					13,95	123,21	161,07	686,25
Jusante	ETP	18,75	25,40	37,44	48,82	70,70	97,32	112,12	106,65	87,65	57,94	33,45	23,16	719,40
	P-ETP	120,47	93,92	53,80	46,06	7,40	-57,38	-98,72	-88,07	-36,35	56,92	95,93	122,44	316,42
	L						-57,38	-156,10	-244,18	-280,53				-738,18
	Sso	100	100	100	100	100	56,34	20,99	8,70	6,05	62,97	100	100	855,05
	ΔSso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-43,66	-35,35	-12,29	-2,65	56,92	37,03	0,00	0,00
	ETR	18,75	25,40	37,44	48,82	70,70	83,60	48,75	30,87	53,95	57,94	33,45	23,16	532,83
	DH						13,72	63,38	75,78	33,70				186,57
	SH	120,47	93,92	53,80	46,06	7,40					0,00	58,90	122,44	502,99

Notas: P- Precipitação, foram aplicados os valores de cada estação (da Tabela II.2), através o método dos Polígonos de Thiessen (in Lencastre e Franco, 1992), obteve-se para cada zona o valor da precipitação ponderada; ETP- evapotranspiração potencial (calculada pelo método de Thornthwaite, in Lencastre e Franco, 1992); L- perda de potencial de água em cada intervalo de tempo do período seco, Sso - armazenamento de água que fica no solo de capacidade utilizável pelas plantas, admite-se que a capacidade utilizável pelas plantas se encontra integralmente satisfeito no início do período seco; ΔSso- variação de armazenamento de água; ETR- evapotranspiração real; DH - Déficit hídrico; SH- superavit hídrico.

Através dos parâmetros do balanço hidrológico é possível estimar a recarga aquífera; no item 6.1 será apresentada essa estimativa recorrendo a várias metodologias para avaliação do potencial da recarga aquífera.



— P (mm)
— ETR
— ETP

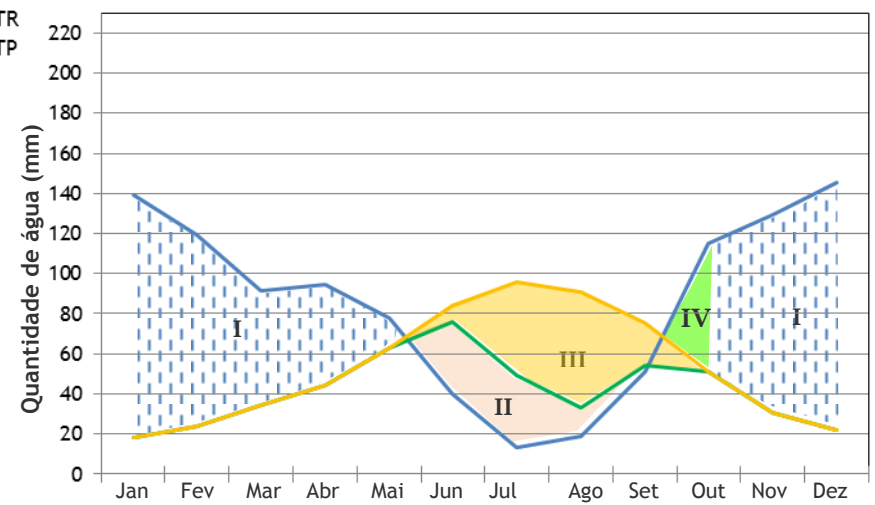


Figura 2.9 - Representação gráfica dos resultados do balanço hidrológico sequencial mensal, para a envolvente da Nascente Sulfúrea do Granjal. P- Precipitação; ETR- Evapotranspiração real; ETP- Evapotranspiração potencial. Zona I- Superavit hídrico (SH); Zona II- Consumo das reservas; Zona III- Défice hídrico (DH); Zona IV- Restituição das reservas. Adaptado de Gomes da Costa em 2011.

Da Figura 2.9 é perceptível que a precipitação é o parâmetro diferenciador entre as várias zonas da bacia, distinguindo-se a zona intermédia de jusante pelas precipitações mais significativas. Recorde-se que é nesta zona em que ocorrem altitudes superiores, correspondendo à vertente nascente da Serra do Caramulo, pelo que será esta estrutura um elemento geoestrutural importante para a recarga dos sistemas aquíferos (da Tabela II.3 a zona intermédia de jusante destaca-se também pelo menor deficit hídrico- DH- 162 mm e o maior superavit hídrico SH -686 mm). Nas restantes zonas da bacia, verifica-se que não há variações nos parâmetros do Balanço Hidrológico, em que os parâmetros da zona de montante são similares aos da zona de jusante, inclusive em termos de relação DH/SH foram obtidos resultados anuais da mesma ordem de grandeza.

Destaca-se ainda que na zona intermédia de montante ocorrem as precipitações mais baixas, o que em associação à evapotranspiração mais significativa, resulte que naquela zona corresponda o maior défice hídrico e o menor o *superavit* hídrico, logo por consequência corresponderá à zona que menos contribui para a restituição das reservas aquíferas.

2.3. Elementos hidrogeológicos

Ao longo de toda a bacia ocorrem essencialmente estruturas geológicas do maciço de granitoides (muito fraturados e por vezes alterados), e estruturas filoneanas, que associados a declives, em geral, suaves e cobertura vegetal significativa, promovem o processo de infiltração e posterior circulação profunda.

Como referenciado nos itens anteriores, na Bacia do Rio Dão ocorrem várias nascentes de água mineral sulfúrea. No sentido de montante para jusante afloram as águas sulfúreas da Cavaca, de Sezures, de Alcafache, de Sangemil e do Granjal.

De acordo com a metodologia apresentada em Gomes da Costa (2011) para a área do Granjal, ocorrem dois tipos de aquíferos:

- um aquífero semi-confinado a confinado do tipo fissural (muito localizado), de água mineral sulfúrea, com valores de pH entre 8,0 e 9,5 e condutividade acima de 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$;
- um aquífero freático de águas pouco mineralizadas, de circulação superficial, predominantemente do tipo fissural, mas também com algumas zonas do tipo intersticial (onde o maciço granítico apresenta grande grau de alteração), a água deste aquífero, caracteriza-se por valores de pH entre 5,5 a 6,5 e de condutividade inferior a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (quando não contaminada).

Às águas minerais, cuja circulação seja do tipo semi-confinado a confinado, associam-se um extenso circuito geohidráulico. Segundo Ferreira Gomes (2004) a circulação de água mineral no Granjal deve-se à ocorrência da grande estrutura geológica denominada por Falha Termal do Rio Dão, ou segundo Calado (2001) à grande fratura do Rio Dão (Figura 2.10).

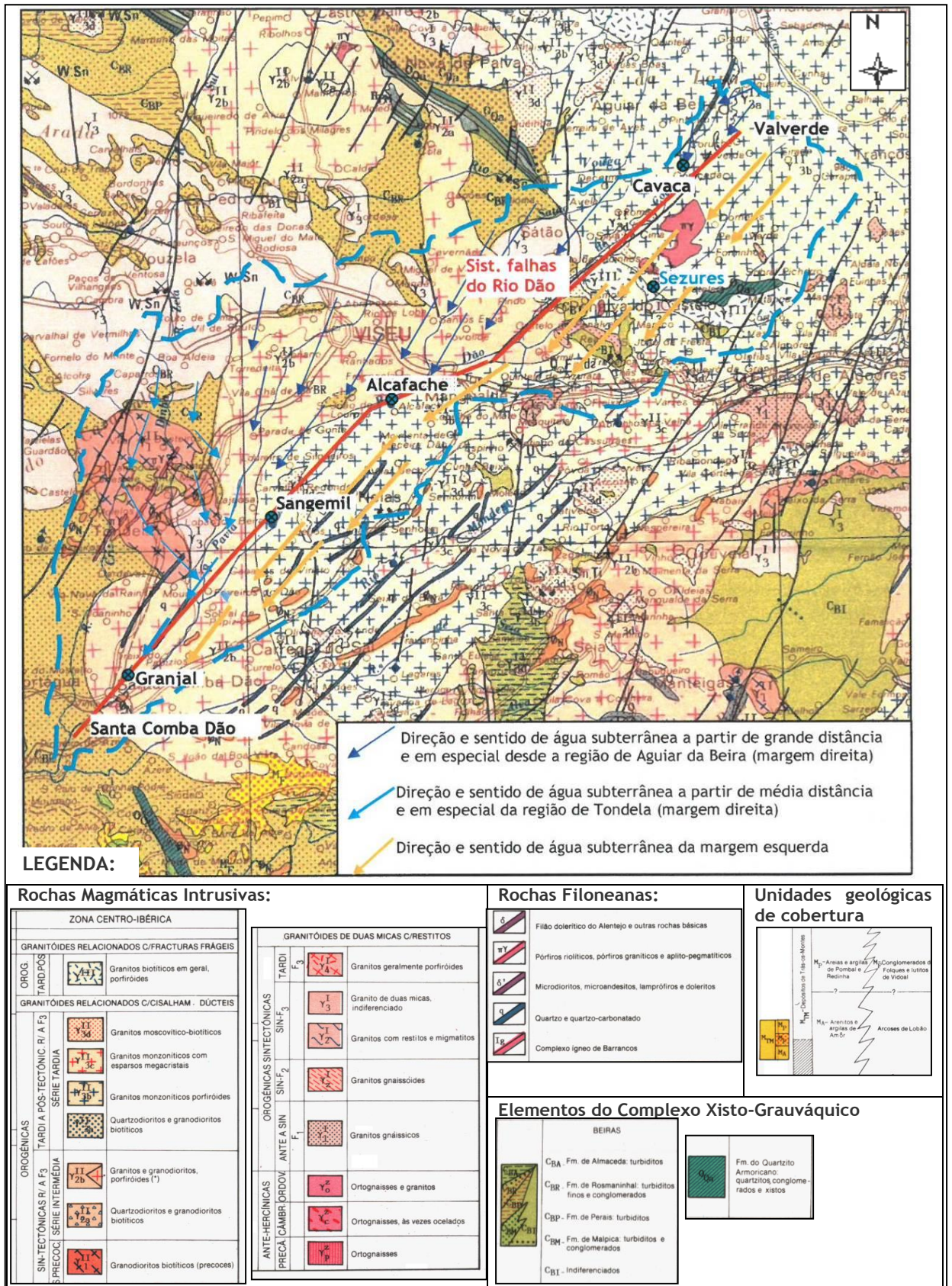


Figura 2.10 - Esboço do modelo geohidráulico apresentado para a água sulfúrea do Granjal, com a referência às outras águas sulfúreas (⊗). Adaptado de Ferreira Gomes, 2004). Escala: ≈ 1 / 260 000.

Entende-se que, possivelmente a Falha Termal do Rio Dão condiciona o sentido dos fluxos que se infiltram nas zonas a Oeste da Falha, e em simultâneo servirá de caminho preferencial, junto a si, desses mesmos fluxos, de NE para SW, até à zona de Santa Comba Dão, e em particular até às zonas de contacto granitoides/rochas xistentas (Figura 2.10).

De destacar ainda as estruturas filoneanas, com orientação similar à do Rio Dão, promovem a circulação subterrânea preferencial naquela direção, conduzindo, em especial que parte da água infiltrada em zonas mais a Oeste da bacia conflua para a envolvente do Granjal.

Para a melhor compreensão do modelo de Ferreira Gomes (2004), traçaram-se perfis transversais e um perfil longitudinal (com projeção em mapa na Figura 2.11), e que são apresentados nas Figuras 2.12 e 2.13.

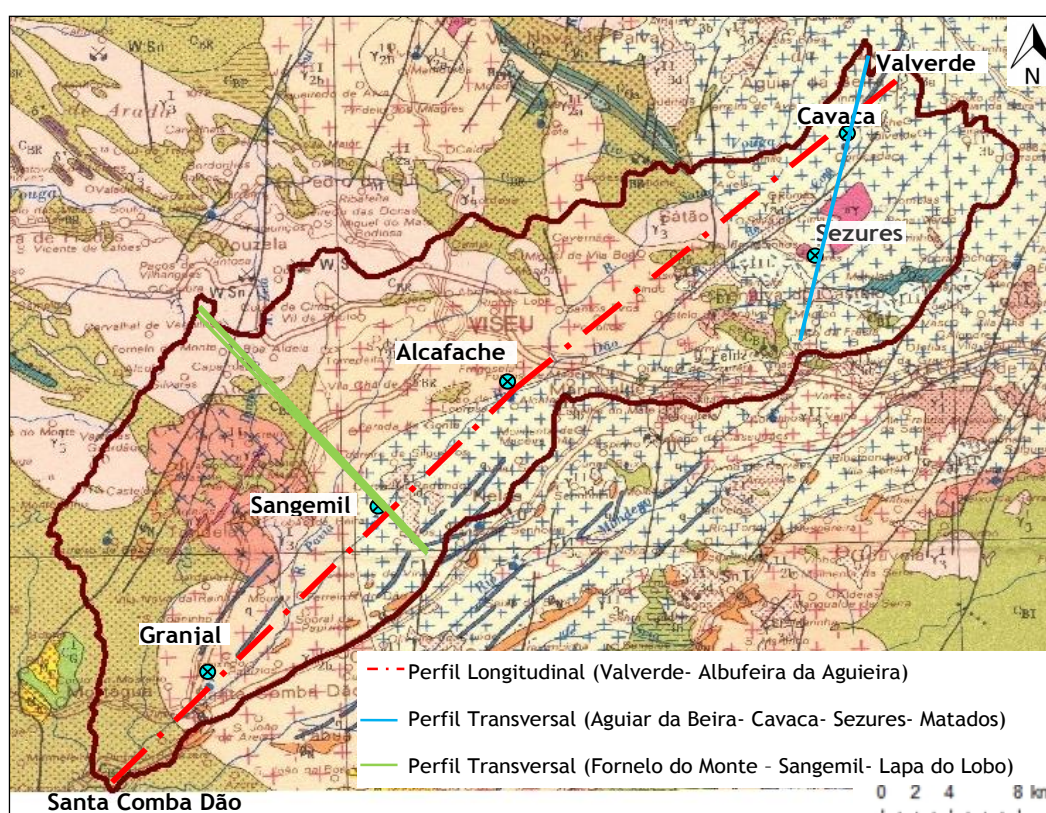
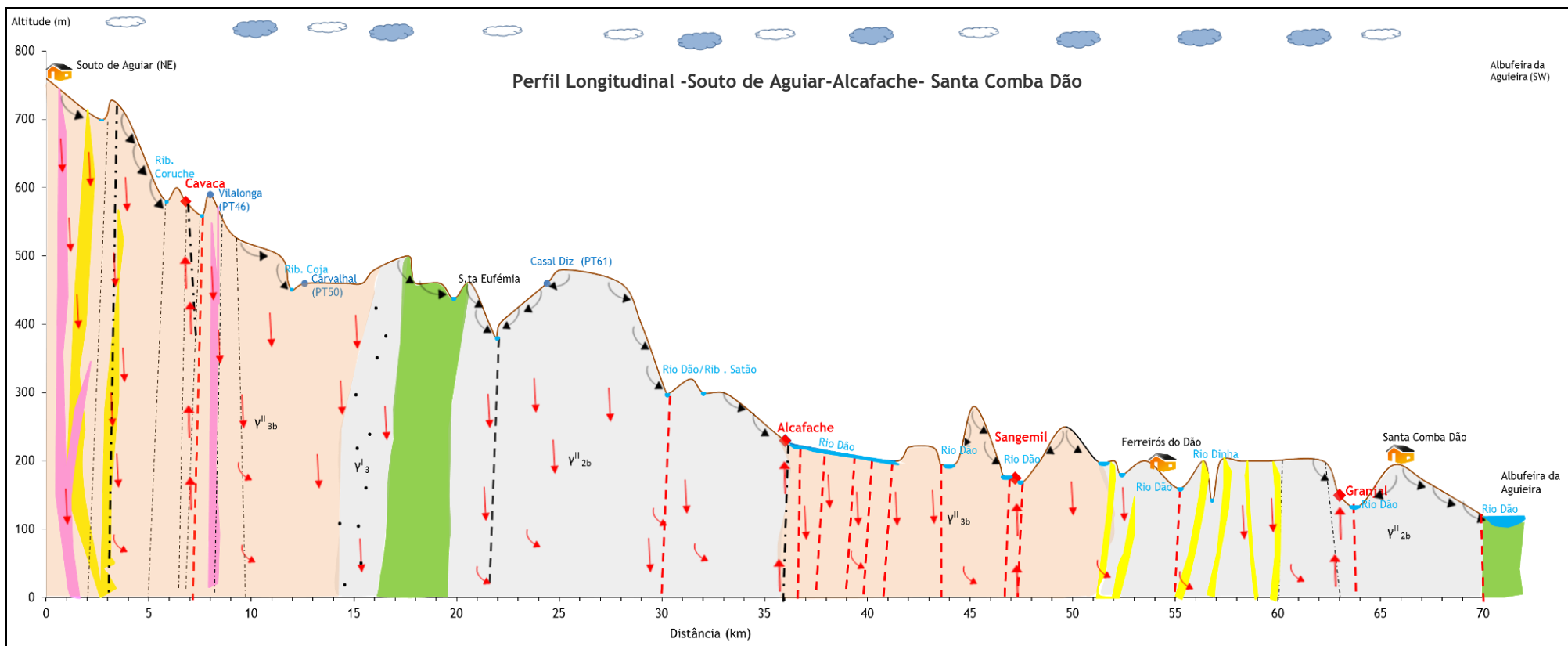


Figura 2.11 - Representação em mapa dos perfis litológicos executados na bacia em estudo.

A materialização dos vários perfis ao longo da bacia permitiu a visualização dos elementos estruturais e desligamentos referenciados nas várias cartas geológicas (com especial destaque na Carta 17 B- Fornos de Algodres e na Carta 17 C- Santa Comba Dão).

Na realização dos perfis (longitudinal e transversais) incluíram-se também algumas nascentes cartografadas aquando dos trabalhos de campo (com leituras de parâmetros principais). Aplicando a metodologia expressa por Gomes da Costa (2011), esboçaram-se, em cada perfil, os fluxos da circulação subterrânea que se julgam ocorrer na bacia (a aferir na conceptualização do modelo geohidráulico).



Granito monzonítico porfiroide (γ^{II}_{3b})

Granito de duas micas indiferenciado (γ^I_3)

Granito porfiroide (γ^{II}_{2b})

Elem. Complexo Xisto-Grauváquico (Form. Rosmanihal)

Estruturas filonianas (quartzo e doleríticos)

Nascentes de água sulfúrea (ex: Cavaca)

Nascentes de água superficial (com referencia ao levantamento de pontos de água ex: Casal Diz - PT 61- "ponto n.º 61")

Fluxo provável de água de circulação profunda
Fluxo de água superficial

Falhas e/ou lineamentos tectónicos

Figura 2.12 - Esboço perfil longitudinal da litologia da Bacia do Rio Dão desde a zona de montante até jusante (Souto de Aguiar- Aguiar da Beira até à Albufeira da Barragem da Agueira); a partir das Cartas Militares (IGeoE,2005) e da Carta Geológica de Portugal (SPG, 1992).

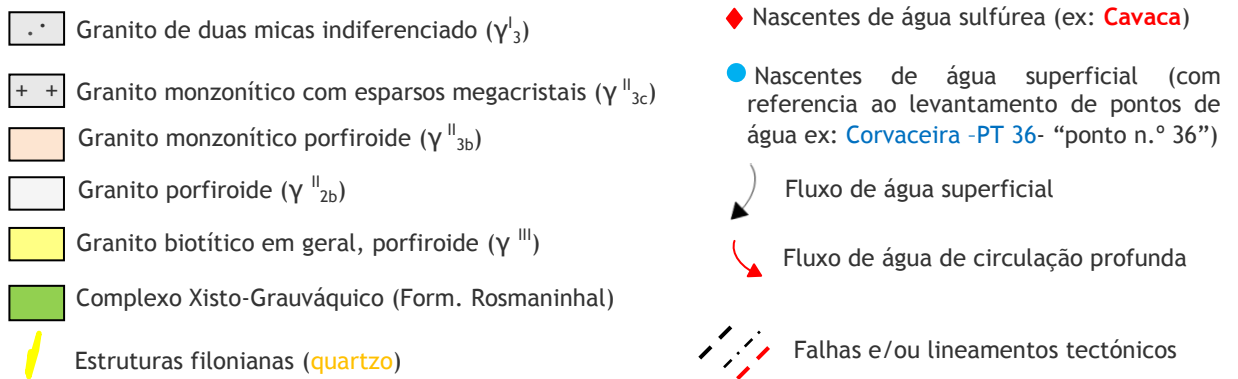
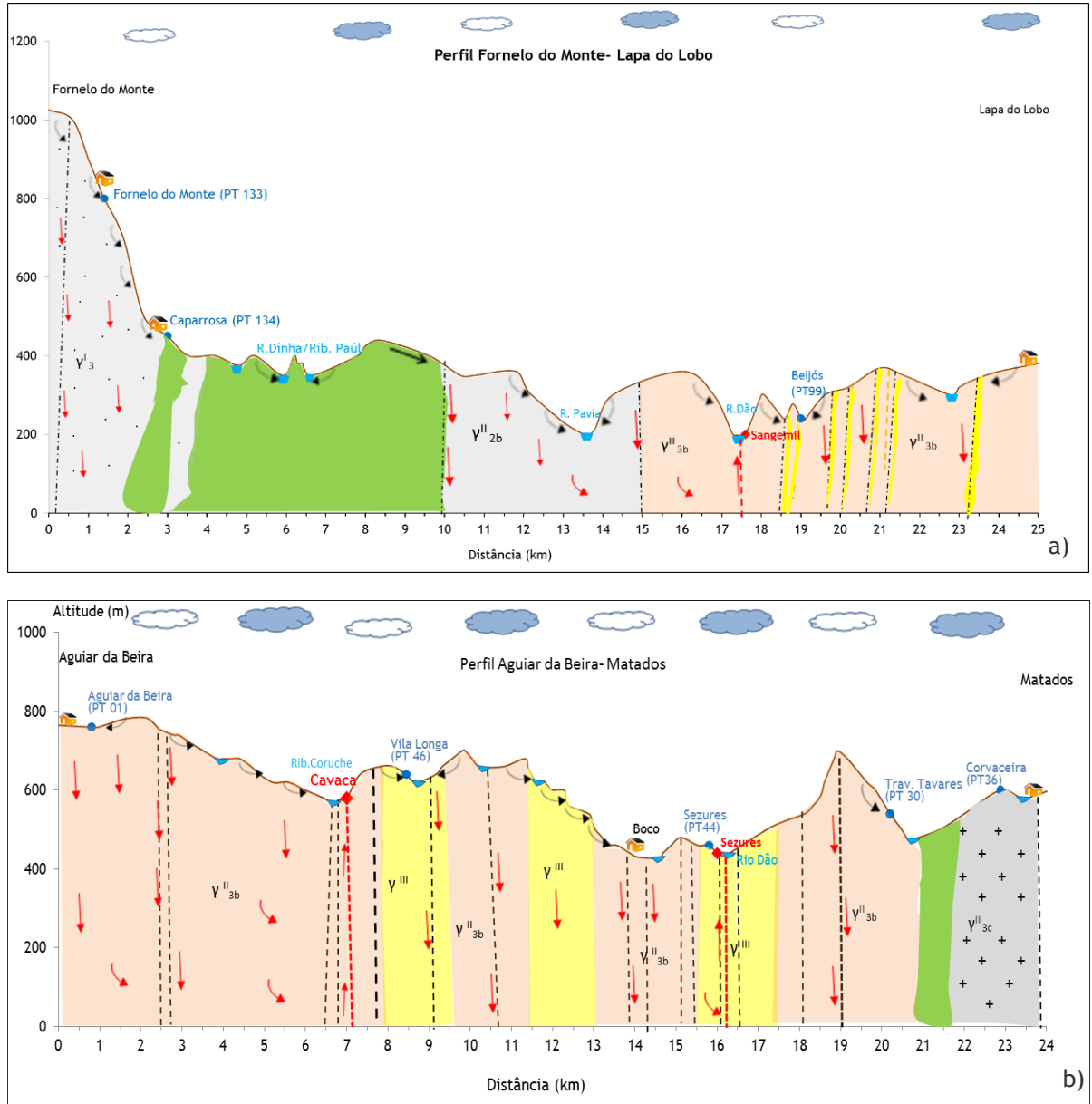


Figura 2.13 - Esboços de perfis transversais da litologia da Bacia do Rio Dão: a) Zona de cotas superiores (vertente da Serra do Caramulo); b) zona de montante intercetando as águas sulfúreas de Cavaca-Sezures. A partir das Cartas Militares (IGeoE,2005) e da Carta Geológica de Portugal (SPG, 1992).

Da análise das Figuras 2.12 e 2.13 constata-se o que foi referenciado no enquadramento geológico, isto é que na Bacia do Rio Dão predominam essencialmente elementos do maciço granítico, sendo os elementos do Complexo Xisto-Grauváquico predominantes na zona de confluência com o Rio Mondego (jusante).

O perfil longitudinal estendeu-se ao longo de 70 km paralelamente ao curso do Rio Dão. Das Figuras 2.12 e 2.13 destacam-se também a existência de planaltos semi-horizontais que potenciam a infiltração e conseqüente recarga dos aquíferos (veja-se perfil longitudinal ao km 58 do perfil, que corresponde à envolvente da margem do Rio Dinha seguinte e um pouco mais a montante a cerca de 12 Km de Aguiar da Beira).

Capítulo 3

RECURSOS HIDROLÓGICOS DA BACIA DO RIO DÃO

Na Bacia do Rio Dão ocorrem vários tipos de água, algumas dessas águas estão classificadas pela Direção-Geral de Energia e Geologia (sob alçada do Ministério da Economia) como “água mineral natural”.

Por definição, a água mineral é “uma água bacteriologicamente própria, de circulação subterrânea, com particularidades físico-químicas estáveis na origem” (Lei n.º 54/2015 de 22 de junho). As águas minerais naturais que afloram na Bacia do Rio Dão, de montante para jusante, são as seguintes: Cavaca (Aguiar da Beira, com utilização termal), Alcafache (Mangualde, com utilização termal), Sangemil (Tondela, com utilização termal) e Granjal (Santa Comba Dão- em desenvolvimento para aplicação termal).

A compilação das características de cada ocorrência (de cada água mineral natural) foi feita essencialmente através da pesquisa bibliográfica e cada uma delas terá uma seção correspondente nos itens seguintes. Há a particularidade da água mineral do Granjal, ter sido resultado do acompanhamento e interação em todas as ações desenvolvidas, pela autora desde as técnico-científicas inéditas, aos aspetos burocráticos necessários ao processo de legalização (incluindo as sondagens para a nova captação, o acompanhamento dos trabalhos de perfuração que resultaram na captação profunda com 670,6 metros de profundidade, seguido do processo de amostragem para classificação do recurso como água mineral natural).

Para complemento da caracterização dos recursos hidrológicos da bacia do Rio Dão foi feito um levantamento das nascentes de água com circulação freática em cada povoação (aldeias, vilas e cidades). Nesse trabalho de campo, o reconhecimento de cada nascente foi através da abordagem de um ou mais habitantes, em cada povoação, solicitando indicações para uma “fonte especial” com água “corrente” que não secasse durante o verão (caudal perene). Ainda que o levantamento seja baseado nas indicações sugeridas localmente (em cada aldeia), não deva ser encarado como um inventário exaustivo, entende-se terem sido registadas as nascentes mais representativas da bacia e que estão representadas em mapa na Figura 3.1.

Salienta-se que na parte mais a sul da bacia - concelhos de Carregal do Sal, Mortágua, Santa Comba Dão e Tondela, o sistema público de abastecimento e distribuição de água para consumo está concessionado à empresa Águas do Planalto, S.A., que a pedido dos municípios foi substituindo muitas das captações existentes (“fontes”) por ligações ao sistema de abastecimento público, pelo que nessa condição o “recurso” não foi analisado.

Ao todo, desde montante a jusante, foram cartografados e analisados *in loco* 143 pontos de água (nascentes). Em cada ponto foi registada a localização exata (através de GPS), o caudal e registaram-se também alguns parâmetros físico-químicos: pH, temperatura, condutividade, resistividade, potencial do elétrico-padrão (Eh- elétrico de hidrogénio) e total de sólidos dissolvidos (TDS) utilizando um equipamento específico, mais precisamente um medidor multiparamétrico portátil (equipado com duas sondas individuais acopladas a um aparelho da marca Eutech Instruments modelo PC650).

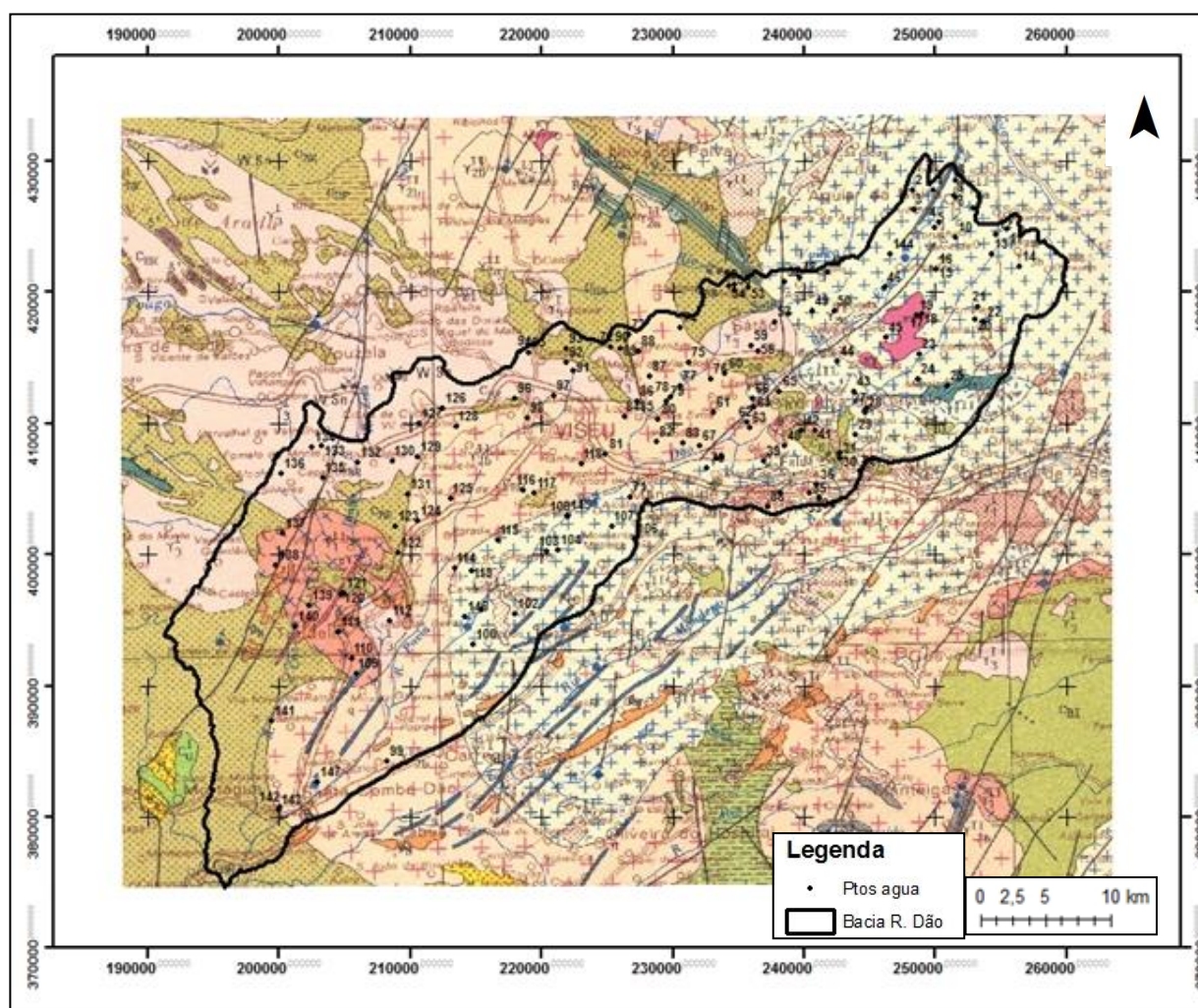


Figura 3.1 - Enquadramento dos pontos de água analisados com os principais alinhamentos estruturais e unidades geológicas da região Cento de Portugal, em mapa a partir de Extrato da Carta Geológica de Portugal 1:500 000 (SPG, 1992). Legenda sobre os elementos da geologia constam da Figura 2.10.

Em anexo, apresentam-se os registos detalhados de todos os pontos de água inventariados.

Para além dos recursos que afloram ao longo da bacia, entendeu-se primordial o estudo físico-químico da água da chuva em vários locais da bacia. Neste sentido, foi feita recolha de algumas amostras conforme será especificado no item 3.3.

Em complemento utilizaram-se também outros registos bibliográficos para alguns pontos de água (classificada ou não) e cujas características são apresentadas nos itens seguintes.

Numa situação ideal, a cada ponto de água corresponderia uma caracterização detalhada, com análises aos parâmetros físico-químicos e componentes radiológicas. Contudo devido a constrangimentos de várias naturezas, foram recolhidas amostras apenas dos recursos com menos referências bibliográficas e que no levantamento dos pontos de água se tenham registado parâmetros atípicos para o tipo de água (quer das nascentes, quer das amostras da água da chuva).

3.1. Os Recursos Classificados

Neste item serão apresentados os recursos que perante a Direção de Geologia e Energia estão classificados como água mineral natural. Assim sendo, neste capítulo estão referenciadas como águas minerais naturais as ocorrências das Caldas da Cavaca, Termas de Alcafache, Caldas de Sangemil e Termas do Granjal.

Uma síntese de algumas das características das águas minerais naturais foi utilizada por Frederico Teixeira (*in* Pereira *et al.*, 2012.) e que é apresentada na Tabela III.1.

Tabela III.1 - Síntese das principais características das águas minerais naturais da Bacia do Rio Dão. Adaptado de Frederico Teixeira (*in* Pereira *et al.*, 2012).

Parâmetro		Cavaca	Alcafache	Sangemil	Granjal
Classificação		Hipotermal	Hipertermal	Mesotermal	Fria
Temperatura na emergência (°C)		29	51	48	22
Mineralização total (mg/L)		Fracamente mineralizada (360)	Fracamente mineralizada (360)	Fracamente mineralizada (469)	Fracamente mineralizada (499)
Composição química (mg/L)	Classificação	Sulfúrea (8,5)	Sulfúrea (1,2)	Sulfúrea (20)	Sulfúrea (51,8)
		Fluoretada (14,6)	Fluoretada (14,0)	Fluoretada (17,0)	Fluoretada (27,7)
	Tendencialmente	Sódica (87)	Sódica (92)	Sódica (114)	Sódica (155)
	Potencialmente	Bicarbonatada (163)	Bicarbonatada (187)	Bicarbonatada (171)	Bicarbonatada (168)

Das várias tipologias de classificação apresentada na Tabela III.1 sobressaem as semelhanças entre as águas minerais naturais da bacia (com a exceção da temperatura), quer em termos de mineralização total ou resultado da sua composição química, isto é, são águas fracamente mineralizadas, sulfúreas, fluoretadas, tendencialmente sódicas e potencialmente bicarbonatadas.

3.1.1. Caldas da Cavaca- Aguiar da Beira

As Caldas da Cavaca situam-se na freguesia de Cortiçada, concelho de Aguiar da Beira, nas margens do Rio Coja (Figura 3.2), a cerca de 2 km da povoação Cavaca (Bastos *et al.*, 2002).

Nas Caldas da Cavaca foram feitas várias captações profundas na envolvente da Nascente N. Sra. dos Remédios (LNEG, 2006), em que a temperatura máxima registada é de 29,65 °C

tendo sido registada temperatura de 31,2 °C na captação profunda-F3) e de pH médio na ordem de 8,3 (ver item 3.4).

A água das Caldas da Cavaca é uma água sulfúrea alcalina típica do Maciço Antigo Português (Ferrari de Almeida, 2010), em que no Novo Aquilégio (Bastos *et al.*, 2002), a água classificada como fracamente mineralizada, como sulfúrea e bicarbonatada sódica.



Figura 3.2 - Complexo Termal das Caldas da Cavaca (Município de Aguiar da Beira, 2015).

As indicações terapêuticas associadas às Caldas da Cavaca são as doenças do aparelho digestivo, doenças músculo-esqueléticas e osteoarticulares, doenças da pele e doenças respiratórias (Termas de Portugal, 2015).

3.1.2. Termas de Alcafache- Viseu

Na margem direita do Rio Dão, junto à povoação de Alcafache situa-se o parque Termal de Alcafache (Figura 3.3).



Figura 3.3 - Balneário das Termas de Alcafache (Termas de Portugal, 2015).

A captação do recurso é conseguida pela Nascente Bica do Penedo e por duas captações profundas: AC1 com 75 m de profundidade e o furo AC2 com 150 m de profundidade (LNEG-LGM, 2010).

Quimicamente, a natureza da água das Termas de Alcafache é classificada como sulfúrea, bicarbonatada sódica, fracamente mineralizada (Pereira *et al.*, 2012). As indicações terapêuticas são associadas às patologias do sistema metabólico-endócrino, doenças do sistema respiratório, doenças reumáticas e músculo-esqueléticas - incluindo recuperação de dificuldades motoras por acidentes ou no pós-operatório ortopédico (Ferrari de Almeida, 2010).

Ainda que no item 3.4. sejam apresentados dos resultados físico-químicos recolhidos na bibliografia (média) indicada para o recurso das Alcafache, salienta-se desde já que a temperatura que aflora é na ordem de 50 °C, com pH de 8,4 (Pereira *et al.*, 2012).

3.1.3. Caldas de Sangemil- Tondela

Em Sangemil (Figura 3.4) o recurso pode ser classificado como sendo uma água sulfúrea, bicarbonatada sódica, fracamente mineralizada, cuja temperatura a que aflora é da ordem de 49 °C e apresenta pH de 8,4.



Figura 3.4 - Envolvente às captações das Caldas de Sangemil (Termas de Portugal, 2015).

As captações disponíveis são HN1 e HN2 (furos) com profundidade aproximada de 100 m (LNEG, 2006). As propriedades terapêuticas associadas à água das Caldas de Sangemil são associadas às doenças do sistema respiratório, doenças reumáticas e músculo-esqueléticas (Ferrari de Almeida, 2010).

3.1.4. Termas do Granjal- Santa Comba Dão

Na povoação do Granjal aflora uma água recentemente classificada como mineral natural e que quimicamente corresponderá a uma água bicarbonatada sódica, ainda que poderá ser classificada como uma água sulfúrea fluoretada, fracamente mineralizada com reação alcalina e macia (Gomes da Costa, 2011).

As captações disponíveis são a Nascente Sulfúrea do Granjal e o furo profundo AQ1 com 667 m de profundidade que sustentou a classificação do recurso como água mineral (Figura 3.5).

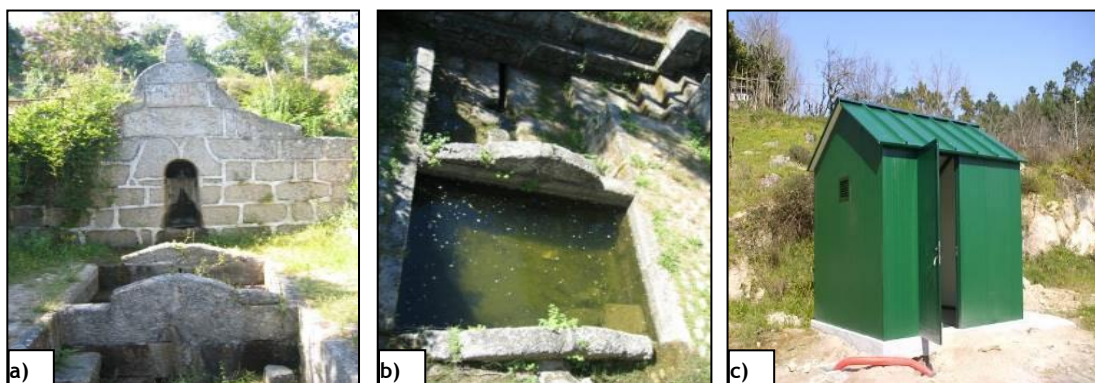


Figura 3.5 - Captações do recurso do Granjal: a) e b)- pequena bica e tanques associados à aplicação da água; c) “abrigo” de proteção à captação profunda.

A captação AQ1 constitui um furo semi-vertical (Figura 3.5), com comprimento total de 670,6 metros (Gomes da Costa, 2011), entubado em aço inox AISI 316 até aos 160m, com cimentação do seu espaço anular (finalizado com o diâmetro de 8” desde a superfície até aos 84 m, e daí até aos 160 m com o diâmetro de 6”, e em “open hole” dos 160 m para baixo).

Durante a execução da captação AQ1 registaram-se os parâmetros de pH, condutividade, temperatura e caudal em artesianismo em que os resultados apontavam para a similaridade do recurso com o da Nascente Sulfúrea (pH>9, condutividade > 400 μScm^{-1}). A síntese dos registos é apresentada graficamente na Figura 3.6.

Após os trabalhos de perfuração e limpeza do furo, desenvolveu-se o ensaio de caudal em que os resultados apontaram para um caudal admissível de 13 L/s.

No processo de classificação de recurso em que foram feitas 12 análises físico-químicas à água que aflora em AQ1, com periodicidade mensal, em que se obtiveram resultados em termos médios de pH de 9,09 e de condutividade 624 μScm^{-1} (Gomes da Costa *et al.*, 2014).

A temperatura da água que ocorre à “boca” da captação profunda é de 22,7 °C (em artesianismo), tendo sido feitas leituras em profundidade em que a temperatura do recurso é de 30,4 °C a 666 m de profundidade (Gomes da Costa, 2011).

Atualmente ainda não lhe estão atribuídas indicações terapêuticas, contudo, analisando as potencialidades de águas similares - “sulfúreas clássicas” - as indicações terapêuticas estarão relacionadas com patologias do foro reumatológico e do foro das vias respiratórias.

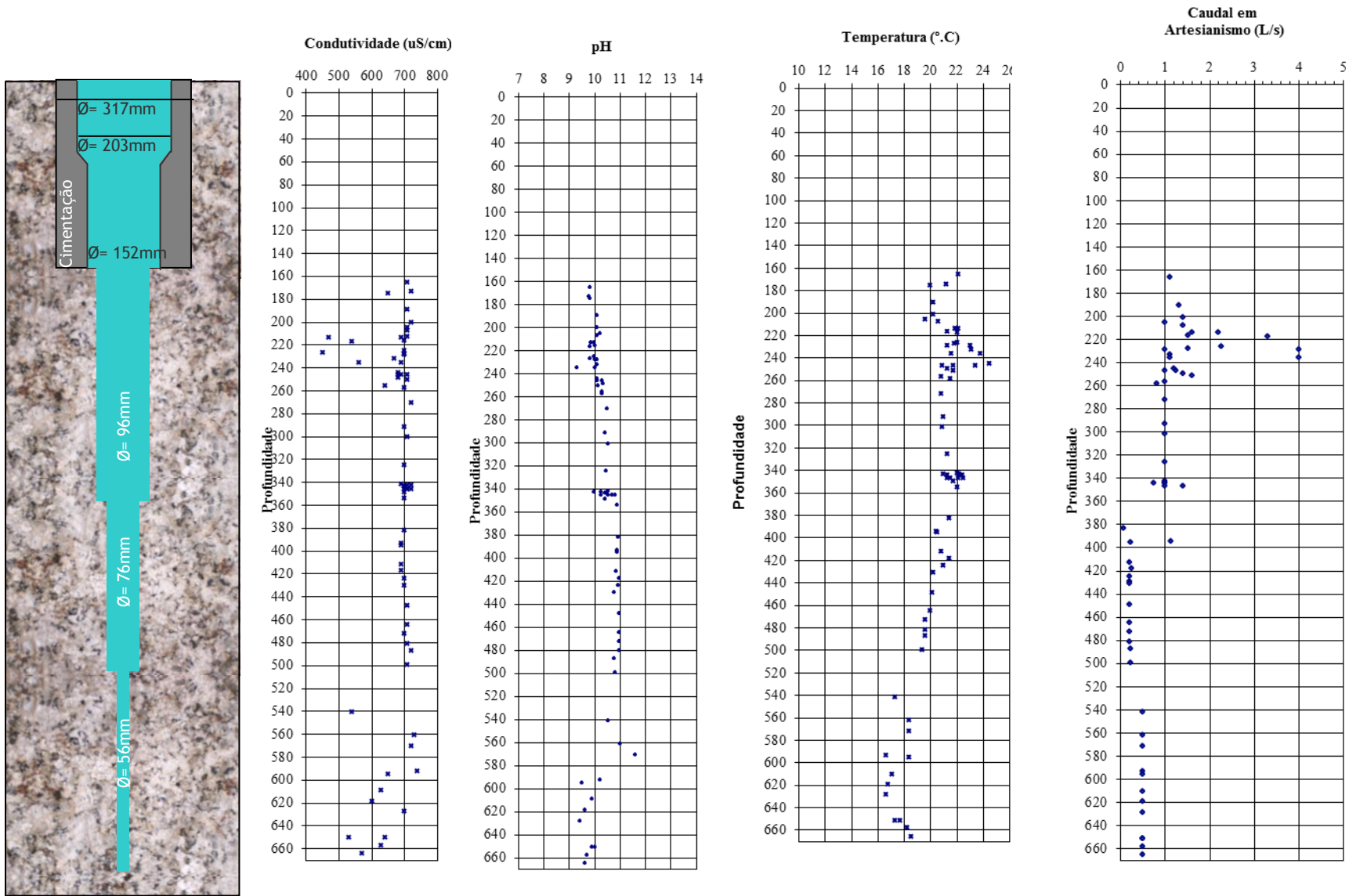


Figura 3.6 - Gráfico síntese dos parâmetros característicos da água interceptada em AQ1 (na furação com carotagem). Adaptado de Gomes da Costa, (2011).

3.2. Recursos Não Classificados

3.2.1. Águas referenciadas

Para além dos Recursos Classificados na bacia em estudo registaram-se ainda outras captações referenciadas no Novo Aquilégio como “águas especiais” (Bastos *et al.*, 2002).

Neste sentido foram identificadas as nascentes de Sezures em Penalva do Castelo (sulfúrea), a da Fonte do Loreto em Santa Comba Dão (não sulfúrea), a da Fonte de São Francisco em Viseu (não sulfúrea) e a Fonte do Fail (não sulfúrea, nas imediações da cidade de Viseu).

3.2.1.1. Sezures- Penalva do Castelo

Na margem direita do Rio Dão, junto à povoação de Campina ocorre entre um batólito de granito “muito são” ocorre uma pequena nascente. Ao longo do trajeto da “captação” a água deposita “biogeleia” similar à das sulfúreas (Figura 3.7).



Figura 3.7 - Nascente de Sezures, captação de pequeno caudal.

O acesso à nascente é possível apenas de forma pedonal e na povoação não existe qualquer indicação da nascente. A chegada à nascente foi graças a um habitante que teve a gentileza de nos acompanhar e que no trajeto ia melhorando o acesso (corte de arbustos e vegetação alta).

Em Bastos *et al.* (2002) a água de Sezures surge classificada como sulfúrea sódica. Segundo informações populares, algumas pessoas usam a água para problemas do aparelho digestivo, mas também da pele (popular-guia que indicou a nascente).

Em termos de caudal na recolha de campo realizada em 29-7-2014 registou-se um caudal de aproximado de 180 L/h (0,05 L/s), a leitura efetuada enquadra-se entre os caudais referenciados por Morais (2012) que indica caudais de 252 L/h (0,07 L/s) e de 140 L/h (0,04 L/s). Naquela data após colheita de amostra de água, registaram-se também os valores de pH (de 7,42) e de Condutividade (de 602,4 μScm^{-1} para temperatura de 15,7°C).

Tendo em conta a ordem de grandeza dos parâmetros obtidos da leitura portátil, foi feita a recolha para análise mais aprofundada/detalhada do recurso. Neste sentido, foi feita uma análise físico-química no Laboratório do LNEG, por forma a clarificar a tipologia do recurso em que os resultados constam no Item 3.4.

3.2.1.2. Fonte do Loreto - Santa Comba Dão

No centro da cidade de Santa Comba Dão surge uma água referenciada na bibliografia por Francisco Tavares em 1810 (*in* Teixeira, 2015) entre “Calçada do Calvário e a Capela da Senhora do Loreto”, uma água de “tão mau gosto que não se aproveita para uso de bebida”.

Na realidade a água da “Fonte do Loreto” (Figura 3.8) é pouco utilizada pelos habitantes de Santa Comba Dão, não só pelo seu parco caudal, mas porque “não presta, desarranja a barriga menina”- informa uma moradora na vizinhança do alto dos seus 90 anos.

A construção da “captação”- bica com data inscrita de 1873, é pouco anterior a captação do Granjal (1877), o que pode ser indicador do interesse à época, de se criarem infraestruturas que facilitassem a captação e uso das águas (nas proximidades da Fonte do Loreto, num raio de 300 metros, foram construídas pelo menos mais 3 captações na mesma época que permanecem até aos dias de hoje).

Salienta-se ainda que contrariamente às “termas a céu aberto” do Granjal, a Fonte do Loreto não dispõe de “tanques” para “banhos”, o que desde então se entenderia que o tipo de aplicações das águas seria distinto.

Em termos das características do recurso, do levantamento feito *in loco* os parâmetros de pH (6,2) e Condutividade ($266,4 \mu\text{Scm}^{-1}$) não indicaram para um recurso com extenso circuito, contudo também não se enquadra nas águas freáticas “clássicas”, pelo que para referência futura foi feita a colheita e análise detalhada em termos físico-químicos.

Relativamente ao fluxo que ocorre na captação, à data de 03-05-2015 registou-se um caudal de 0,03 L/s.



Figura 3.8 - Fonte do Loreto- Santa Comba Dão.

3.2.1.3. Fonte de S. Francisco - Viseu

A Fonte de S. Francisco (Figura 3.9) está classificada como Monumento Nacional. Alguns moradores informaram que em outros tempos a Fonte era muito frequentada e o caudal mais pronunciado, mas desde a construção do Centro Comercial na envolvente a fonte “nunca mais foi a mesma, nem no sabor”.



Figura 3.9 - Fonte de São Francisco em Viseu- detalhes arquitetónicos.

Ainda que se tenha consideração a “contaminação” do recurso, julga-se útil a inclusão dos dados para os mapas desenvolvidos nos itens seguintes, ainda que a recolha de amostra para análise detalhada tenha sido descartada.

3.2.1.4. Fonte do Fail - Viseu

A aldeia do Fail é uma das povoações do concelho de Viseu. Junto à Estrada Nacional n.º 2, foi construído um fontanário para facilitar a recolha da água que ali acorre (Figura 3.10).



Figura 3.10 - Imagem geral da Fonte do Fail em Viseu (a partir de Google Earth, 2017)

A Fonte do Fail é referenciada por Bastos *et al.* (2002) como sendo muito procurada pelos transeuntes para se abastecerem pela sua leveza e “frescura”.

Em 12 de julho de 2014, quando foi feito o levantamento dos pontos de água da bacia, registaram-se os seguintes parâmetros: caudal de 0,15 L/s, condutividade de 108,50 μScm^{-1} , pH de 5,16 e temperatura de 17 °C. A fonte do Fail corresponde ao ponto de água n.º 125 cujas características estão expressas na Tabela A1.III em Anexo.

Morais (2012) apresenta uma análise físico-química de uma “nascente usada em abastecimento público” que se julga corresponder à Fonte do Fail. Assim como Calado (2001) faz referência aos dados de uma “água comum” no Fail (com base nos dados de Almeida & Almeida, 1975) que em comparação com os registados no levantamento entende-se que será o mesmo ponto de água. Neste sentido, dada a limitação de recursos, entendeu-se não proceder à recolha de amostra para análise detalhada utilizando os dados publicados por aqueles autores.

3.2.2. Outros pontos de água

Na bacia foram cartografados 143 pontos de água que afloravam em “bicas” ou fontanários com caudal perene (nunca secam, mesmo em época de estio severo). Na Figura 3.11 apresentam-se detalhes de algumas captações.



Figura 3.11 - Registo de captações efetuado ao longo da Bacia do Rio Dão: a) exemplo de captação reabilitada; b) resultados da análise bacteriológica; c) aproveitamento do recurso para atividades paralelas (lavagens); d) captação em Mundão com caudal considerável; e) poesia popular inspirada na qualidade da água (Abraveses); f) captação parcialmente abandonada (quase revestida de vegetação); g) a i) transformação de captações em elementos arquitetónicos de referência (Esmolfe- Penalva do Castelo; Tondela e Vila Jusã- Tondela, respetivamente).

Para cada ponto, foi feita uma análise expedita com recurso a um instrumento de medição portátil, com registo dos valores de temperatura, pH, condutividade (C), total de sólidos dissolvidos (TDS), potencial redox (Eh) e resistividade (res).

Em algumas zonas da bacia, as entidades locais suprimiram os recursos naturais, resultando que em vários fontanários ocorre água de abastecimento público (principal motivo aponta para o cumprimento da legislação em matéria de água para consumo humano, reduzindo-se os custos com as análises necessárias); nesta situação, não foi feito o registo do ponto de água. A rede de abastecimento público está concessionada a empresa intermunicipal “Águas do Planalto”, que é concessionária da rede nos seguintes concelhos: Carregal do Sal, Tondela, Mortágua, e Santa Comba Dão.

3.3. Água da Chuva

Tendo em conta que se pretende contribuir para o modelo geohidráulico da Bacia do Rio Dão, considerou-se importante avaliar a qualidade da água precipitada em vários pontos da bacia. Assim sendo, foram dispostos alguns amostradores na zona de Montante- imediações das Caldas da Cavaca (a cerca de 96 km de distância em linha reta da costa marítima, à altitude aproximada de 650 m), na zona intermédia - Tondela (a cerca de 58 km de distância em linha reta do mar, à altitude aproximada de 340 m) e na zona de jusante- Granjal (a cerca de 60 km de distância em linha reta do mar, à altitude aproximada de 160 m).

Contudo, atendendo à limitação dos recursos e aos dados constantes na bibliografia, foram feitas análises químicas para as amostras de Tondela e do Granjal (zonas intermédia e jusante), mas o estudo radiológico foi efetuado para as amostras das 3 zonas da bacia.

3.4. Síntese das Características Físico-Químicas das Águas da Bacia do Rio Dão

3.4.1. Águas sulfúreas

Na bibliografia, por vezes os resultados físico-químicos obtidos para as águas sulfúreas são díspares quanto a alguns dos parâmetros referenciados. Se por um lado, a estabilidade físico-química deste tipo de recursos é uma realidade, em termos práticos é necessário estabelecer quais são os parâmetros característicos para utilizar nas metodologias indicadas nos capítulos seguintes.

Na Tabela III.2 consta a síntese de todos os parâmetros referenciados na bibliografia para cada água sulfúrea. Para parâmetros em que se dispõe mais do que um resultado, foi feita uma ponderação no sentido de utilizar o valor que melhor represente o recurso, truncando valores que apresentassem desvio face às demais amostragens. Os resultados para a captação de Sezures é a que resultou da amostragem do presente trabalho, tendo sido complementado pontualmente com elementos de Morais (2012).

Em anexo ao presente trabalho constam os dados de cada água sulfúrea que são apresentados nas diferentes referências bibliográficas. Assim, na Tabela III.2 apresentam-se os dados que

serviram de base para desenvolvimento dos capítulos seguintes e que derivam da compilação dos elementos apresentados em anexo.

Considera-se que esta metodologia no tratamento dos elementos não colide com os preceitos da hidrogeologia, na medida em que o que se pretende caracterizar é o recurso no seu conjunto e não uma determinada amostra.

Tabela III.2- Parâmetros característicos de base das águas sulfúreas.

Água sulfúrea		C. Cavaca (*)	Sezures	T. Alcafache (*)	C. Sangemil (*)	Granjal
PARÂMETRO	Código	CVC	SZR	ALC	SGM	GRJ
Zona da bacia		Montante	Montante	Intermédia	Intermédia	Jusante
Tipo de captação		Nascente	Nascente	Nascente	Furo HDN1	Furo AQ1
Temperatura (°C)		30,0	15,7	50,4	49,1	22,7
pH		8,06	8,17	8,48	8,11	9,07
Condutividade (μScm^{-1})		400	542	458 (**)	528 (**)	634
Alcalinidade (mL/L)		27,5 (**)	45,0	30,0 (**)	30,7 (**)	32,7
Dureza (p.p. 10^5CaCO_3)		1,5 (**)	1,4	1,2 (**)	1,4 (**)	0,60
Sílica (mg/L de SiO_2)		56,8	40,0	56,2	83,3	45,5
Sulfuração total (mL/L de I_2 0,01N)		4 (**)	<0,25	2,5 (**)	19,1 (**)	51,8
Eh (mV)		-12,0	-86,8	-4,0	-94	-77
O_2 dissolvido (mg/L)		0,1	1,5 (*)	0,20	<0,1	<0,1(*)
CID (mmol/L)		2,45	4,2(*)	2,77	2,86	2,79 (*)
Resíduo seco a 180°C (mg/L)		261 (**)	381	311,0 (**)	390 (**)	429,9
Mineralização Total (mg/L)		326,9	518	389,9	463,0	499,3
Aniões (mg/L)	F^-	13,7	15,9	17,8	17,5	29,00
	Cl^-	19,2	39,10	34,4	54,7	76,0
	HCO_3^-	145,4	275,00	162,0	169,0	168,10
	HS^-	0,8	0	0,1	3,7	7,70
	SO_4^{2-}	0,6	<1,0	4,2	4,5	9,60
	NO_3^-	0,15	0,42	0,35	0,3	0,20
	NO_2^-	<0,01	<0,005	<0,01	<0,01	<0,005
Catiões (mg/L)	Li^+	0,46	0,64	0,85	1,51	0,39
	Na^+	77,5	140,0	100,0	113,0	155,7
	K^+	2,6	2,9	2,3	4,3	2,90
	Mg^{2+}	0,08	0,44	0,13	0,12	0,04
	Ca^{2+}	5,4	4,8	4,4	5,1	2,30
	NH_4^+	0,06	<0,01	<0,06	0,34	0,29
Elementos Secundários ($\mu\text{g/L}$)	Dados com variações muito significativas, não é possível definir parâmetro característico.					
Isótopos- Estáveis	$\delta^{18}\text{O} (\text{H}_2\text{O}), \text{‰ VSMOW}$	-7,29	-6,86	-6,12	-5,48	-5,06
	$\delta\text{D} (\text{H}_2\text{O}), \text{‰ VSMOW}$	-46,60	-42,60	-39,8	-36,8	-32,7
Isótopos Radioativos	Tritio, U.T.	$0,85 \pm 0,8$	$0 \pm 0,6$	$0 \pm 0,7$	$0 \pm 0,6$	$0 \pm 0,4$
Cota (envolvente da captação) (m)		580	420	230	195	180
Caudal espontâneo (L/s)		0,2	0,04	1,4	2,0	1,4

Notas: (*) Dados obtidos de Morais (2012). (**) Resultados complementados com os referenciados por Ferreira Gomes (2004).

3.4.2. Águas não sulfúreas e água da chuva

À semelhança da metodologia dos recursos de água sulfúrea, na bibliografia também são referenciadas análises feitas a águas não sulfúreas.

Da mesma forma, no sentido de complementar os elementos recolhidos para o desenvolvimento do presente trabalho, as Tabelas III.3 e III.4 apresentam os dados referentes à água da chuva e da água não sulfúrea respetivamente, que resultam da compilação dos elementos apresentados em anexo e que irão servir de base no desenvolvimento dos capítulos seguintes.

Tabela III.3- Parâmetros característicos de base da água da chuva.

PARÂMETRO		Localização Código	Cavaca PAG (*)	Vilar Besteiros PVHQ	Granjal PGRQ
Zona da bacia			Montante	Intermédia	Jusante
pH			5,12	5,17	5,31
Condutividade-(μScm^{-1})			8	9	9
Alcalinidade (mL/L)			-	<0,05	0,1
Dureza (p.p. $\cdot 10^5\text{CaCO}_3$)			-	0,10	0,10
Sílica (mg/L de SiO_2)			-	<1,1	<1,1
Resíduo seco a 180°C (mg/L)			-	2	4
Mineralização Total (mg/L)			-	2	4
Aniões (mg/L)	F ⁻		-	< 0,25	<0,25
	Cl ⁻		-	1,0	1,3
	HCO ₃ ⁻		-	<0,3	0,5
	CO ₃ ²⁻		-	n.d.	n.d.
	SO ₄ ²⁻		-	<0,72	0,7
	NO ₃ ⁻		-	0,53	<0,39
	NO ₂ ⁻		-	0,01	0,05
Catiões (mg/L)	Na ⁺		-	0,68	0,69
	K ⁺		-	0,11	0,18
	Mg ²⁺		-	0,09	0,11
	Ca ²⁺		-	0,00	0,40
	NH ₄ ⁺		-	<0,1	<0,1
Elementos Secundários ($\mu\text{g/L}$)	Be		-	<0,13	<0,13
	B		-	<2,5	<2,5
	Al		-	5,8	3,6
	V		-	0,11	0,1
	Zn		-	4,1	5,5
	Se		-	<0,63	<0,63
	Rb		-	<0,63	<0,63
	Sr		-	<3,1	<3,1
	Y		-	<0,06	<0,06
	Mo		-	<0,06	<0,06
	Cs		-	0,16	<0,13
	Ba		-	<2,5	<2,5
Tl		-	<0,06	<0,06	
Isótopos- Estáveis	$\delta^{18}\text{O}$ (H ₂ O), ‰ VSMOW		-5,37	-3,58	-2,46
	δD (H ₂ O), ‰ VSMOW		-35,0	-25,3	-19,5
Isótopos- Radioativos	Tritio, U.T.		3,1 \pm 0,4	1,4 \pm 0,4	0,9 \pm 0,4

(*) Amostra não sujeita ao estudo da composição físico-química

Tabela III.4- Parâmetros característicos de base da água não sulfúrea-1/2 (continua).

PARÂMETRO	Localização Código	Alcafache ALC-FR	Fonte Loreto CVQ	S. C. Dão BBQ	Granjal GRJ-FR
Zona da bacia		Intermédia	Jusante	Jusante	Jusante
Captação		Nascente	Nascente	Nascente	Nascente
Temperatura (°C)		11,6 *	15,9	15,2	14,3 *
pH (20°C)		5,90 *	6,41	5,63	6,67 *
Condutividade-(μScm^{-1})		75 *	224	158	90 *
Alcalinidade (mL/L)		-	3,3	1,7	-
Dureza (p.p. 10^5CaCO_3)		-	3,40	4,60	-
Sílica (mg/L de SiO_2)		-	7,9	16,9	-
Eh (mV)		320 *	118,3	118,3	369 *
O ₂ dissolvido (mg/L)		5,5 *	-	-	7,2 *
CID (mmol/L)		1,53 *	-	-	1,02 *
TDS		-	245,4	187,2	-
Resíduo seco a 180°C (mg/L)		-	155	129	-
Mineralização Total (mg/L)		37,7 *	165	134	67,7 *
Aniões (mg/L)	F ⁻	-	<0,44	<0,25	-
	Cl ⁻	5,2 *	22,5	18,2	6,6 *
	HCO ₃ ⁻	21,0 *	20,3	10,6	40,2 *
	SO ₄ ²⁻	0,4 *	29,4	26,2	2,1 *
	NO ₃ ⁻	-	30,9	28,4	-
	NO ₂ ⁻	-	0,03	0,01	-
Catiões (mg/L)	Na ⁺	7,2 *	23,9	16,9	12,6 *
	K ⁺	0,3 *	17,3	2,2	0,35 *
	Mg ²⁺	0,82 *	2,9	5,5	1,47 *
	Ca ²⁺	2,80 *	8,70	9,2	4,40 *
	NH ₄ ⁺	-	<0,1	<0,1	-
Elementos Secundários ($\mu\text{g/L}$)	Be	-	<0,13	0,44	-
	B	-	33	7,1	-
	Al	-	11	16	-
	V	-	0,40	0,21	-
	Zn	-	6,3	3,7	-
	Se	-	<0,63	0,64	-
	Rb	-	9,6	2,2	-
	Sr	-	28	63	-
	Y	-	0,91	0,68	-
	Mo	-	0,16	<0,06	-
	Cs	-	0,56	0,31	-
	Ba	-	40	35	-
Tl	-	0,09	<0,06	-	
Isótopos Estáveis	$\delta^{18}\text{O}$ (H ₂ O), ‰ vs VSMOW	-5,66 **	-4,8	-5,27	-5,93
	δD (H ₂ O), ‰ vs VSMOW	-38,0**	-24,1	-27,1	-31,7
Isótopos- Radioativos	Tritio, U.T.	0,0**	0,9±0,4	14,8±0,5	0±0,4

(*) in Morais 2012. (**) in Calado 2001

Tabela III.4- Parâmetros característicos de base da água não sulfúrea-2/2 (continuação).

PARÂMETRO		Localização Código	Cavaca CVC-FR	Caramulo * CRM	Sangemil SGM-FR	Fail FAI
Captação			Nascente	Furo	Nascente	Nascente
Zona da bacia			Montante	Intermédia	Intermédia	Intermédia
Temperatura (°C)			12,5 *	15,7	14,2 *	17,0
pH			5,74 *	8,11	5,82 *	5,16
Condutividade-(μScm^{-1})			50 *	119	60 *	161,60
Eh (mV)			393 *	-	377 *	36,50
O ₂ dissolvido (mg/L)			6,2 *	1,5	5,1 *	6,2*
CID (mmol/L)			0,92 *	1,24	1,25 *	0,71
TDS			-	-	-	150,9
Mineralização Total (mg/L)			24,5 *	152,3	32,3*	73,1*
Aniões (mg/L)	Cl ⁻		6,5 *	6,2	5,7*	44,0**
	HCO ₃ ⁻		9,5 *	74,6	15,5*	22,0**
	SO ₄ ²⁻		1,0 *	6,4	1,2*	10,2**
Catiões (mg/L)	Na ⁺		4,8 *	27,1	7,3 *	34,7**
	K ⁺		1 *	0,73	0,5 *	-
	Mg ²⁺		1 *	1,26	0,61 *	3,9**
	Ca ²⁺		0,74*	5,40	1,50*	7,6**
Isótopos- Estáveis	$\delta^{18}\text{O}$ (H ₂ O), ‰ vs VSMOW		-6,11	-	-5,12 **	-
	δD (H ₂ O), ‰ vs VSMOW		-35,2	-	-29,6 **	-
Isótopos Radioativos	Tritio, U.T.		0,5 ±0,4	-	2,1±0,4**	-

(*) in Morais 2012. (**) in Calado 2001.

Capítulo 4

HIDROQUÍMICA

4.1. Introdução

A água como sendo o solvente mais abundante na natureza, é uma substância quimicamente muito ativa que dissolve e incorpora os minerais constituintes de solos e rochas (Feitosa e Filho, 2002).

A composição química de uma água é resultado das interações entre a água e o meio através do qual circula. Os elementos químicos resultam da combinação de vários efeitos termodinâmicos como por exemplo variações de temperatura, pressão, perda de vapor, introdução de gases no sistema, diluições e misturas com outras águas (Carvalho *et al.*, 1990).

Como foi referenciado, a maioria da Bacia do Rio Dão ocorre sob maciço granítico porfiroide, em que a sua composição é muito variada, com predominância dos silicatos, em que os iões Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} e K^+ ligados de forma fraca à “estrutura” silicatada “transitam” para a água (Feitosa e Filho, 2002).

Para além das formas reduzidas do enxofre as águas sulfúreas apresentam outras características diferenciadoras (Calado, 2001), tais como pH alcalino (superior a 8), teores de Eh baixos, mineralização total entre 200 e 500 mg/L, teores de fluoreto entre 10 e 20 mg/L, concentrações de SiO_2 entre 10 e 90 mg/L, além de que por vezes apresentam concentrações consideráveis de alguns oligoelementos (Boro, Bromo, Tungsténio).

Por outro lado, em termos quantitativos, as captações profundas que intercetam o recurso hidromineral de natureza sulfúrea apresentam artesianismo repuxante.

Portanto, ainda que para cada água esteja associado um circuito subterrâneo diferente (logo para cada água tem uma composição química própria) é comum fazer-se agrupamentos de classes ou tipos hidroquímicos, tendo por base algumas semelhanças entre águas (Pereira *et al.*, 2012). Nesse sentido, à semelhança do método apresentado por Sousa Oliveira (2001) procurou-se obter uma amostragem racional dos vários tipos de água existentes na bacia: as águas sulfúreas, as águas não sulfúreas e as águas da chuva.

Da análise dos registos efetuados em cada ponto de água (leitura dos parâmetros físicos através de medidor portátil) e da compilação de dados bibliográficos de alguns pontos de água, foram selecionadas as águas que teriam mais interesse para análises físico-químicas

detalhadas (em laboratório) por forma a ter-se representatividade de todas as fases de circulação da água que ocorre na bacia.

Assim sendo, no âmbito do presente trabalho foi feita recolha de cinco amostras para análises físico-químicas no laboratório do LNEG (Laboratório Nacional de Energia e Geologia):

- uma água sulfúrea- Sezures,
- duas amostras de água da chuva -zona de jusante e na zona intermédia da bacia),
- duas amostras referentes a águas de nascentes não sulfúreas (zona de jusante da bacia).

No estudo físico-químico detalhado das amostras recolhidas foram avaliados os parâmetros físico-químicos globais, assim como quantificada a componente maioritária (aniões e catiões) e a componente vestigiária (elementos secundários).

Em anexo são apresentados os resultados obtidos para as amostras de água recolhida em vários pontos da bacia (das amostras colhidas para análises detalhadas); incluíram-se também no mesmo anexo, sob a forma de tabela, os parâmetros característicos de alguns pontos de água referenciados na bibliografia, além de se apresentarem os resultados das leituras efetuadas do levantamento dos pontos de água com caudal perene.

4.2. Elementos Organoléticos (Cor, Cheiro, Depósito)

Por observação direta, “a água quando concentrada em grandes massas apresenta uma coloração azulada quando pura, em tons arroxeados quando rica em ferro, negra quando rica em manganês e amarelada quando rica em ácidos húmicos” (Feitosa e Filho, 2002).

Nas amostras colhidas para a análise química detalhada apresentam cor “nula”. Nos pontos de água analisados *in loco* esse resultado foi similar (cor nula), salvo algumas fontes de “chafurdo”, com águas paradas, em que era evidente uma tonalidade acastanhada resultante da decomposição da matéria orgânica.

A relação de cheiro/sabor com a quantidade de substâncias dissolvidas não é linear uma vez que uma água com menos sólidos totais dissolvidos pode apresentar pior cheiro/sabor que águas com mais substâncias dissolvidas (Feitosa e Filho, 2002).

Na bacia em estudo destacam-se as nascentes que apresentam odor a sulfídrico (típico a “ovos-podres”) agrupando-as como sendo “águas sulfúreas”. São elas as águas da Cavaca, de Sezures (apesar de na amostra recolhida não ser detetável em fase de análise físico-química, na aproximação ao local da nascente é evidente o cheiro), de Alcafache, de Sangemil e do Granjal.

O cheiro característico a “ovos podres” nas águas sulfúreas resulta da presença de enxofre no estado de oxidação. O gás Sulfídrico- H_2S - forma um ácido fraco tornando a água corrosiva (Feitosa e Filho, 2002).

Quanto ao depósito das amostras recolhidas para análise química detalhada apenas as que resultaram da precipitação apresentaram, em fase de análise, um depósito do tipo musgoso.

4.3. Parâmetros Globais

4.3.1. A temperatura

No geral, a temperatura dos recursos minerais profundos não depende da temperatura atmosférica, até porque a amplitude térmica anual das águas subterrâneas é baixa, na ordem de 1 a 2 °C (Feitosa e Filho, 2002).

As temperaturas das águas da bacia variam entre os 50°C e 12°C. A temperatura mais baixa foi registada num ponto de água em Valverde (Figura 4.1), no concelho de Aguiar da Beira com a temperatura de 12,4°C (denominada pelos populares de “Fonte Romana”- Ponto 10 da Figura 4.2). As temperaturas mais elevadas correspondem às nascentes de águas sulfúreas de Alcafache (50,68 °C -Ponto 145 da Figura 4.2), seguidas das de Sangemil (47,8 °C - Ponto 146 da Figura 4.2).



Figura 4.1 - Registo fotográfico da recolha de dados na “Fonte Romana” em Valverde, no concelho de Aguiar da Beira.

Na Figura 4.2 apresenta-se o mapa de temperaturas da água da Bacia do Rio Dão, a partir dos valores de temperatura registados em cada ponto de água (levantamento de campo). Constata-se também que as águas com temperaturas mais baixas ocorrem nas zonas de maiores altitudes e as águas com temperaturas mais altas em zonas de menores altitudes, com exceção das águas sulfúreas que imprimem as singularidades destacadas com tonalidades mais claras no mapa (águas sulfúreas correspondem aos seguintes pontos de água: 144 - Cavaca, 145 - Alcafache, 146 - Sangemil, 147 - Granjal).

4.3.2. O pH

Feitosa e Filho (2002) fazem referência que a maioria das águas subterrâneas tem pH entre 5,5 e 8,5. Contudo, dos registos efetuados no levantamento de pontos de água verificou-se que as águas sulfúreas que ocorrem na bacia em estudo apresentam valores de pH próximo de 8,2.

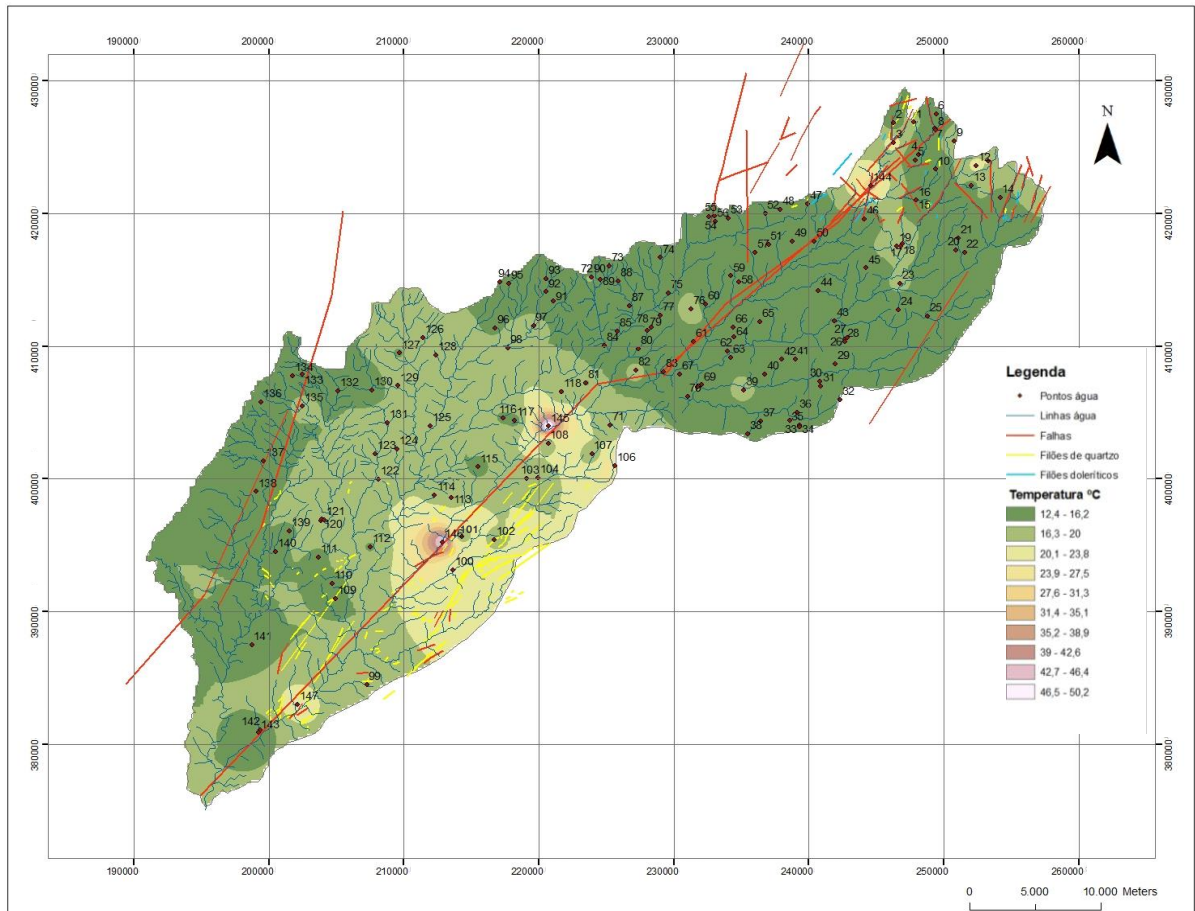


Figura 4.2 - Mapa de temperatura a partir dos registos efetuados nos pontos de água da Bacia do Rio Dão.

Por sua vez, as “águas da chuva” apresentam pH na ordem dos 5,2, enquanto nas águas referenciadas como não sulfúreas registaram-se valores de pH entre 4,34 (Ponto n.º 123 em S. Miguel de Outeiro) e 8,6 (Ponto n.º 106 em Moimenta Maceira Dão).

A Figura 4.3 representa o mapa de distribuição de pH dos pontos de água da bacia em estudo. Da análise da Figura 4.3 destacam-se as zonas de contributo das águas sulfúreas, com os valores mais elevados, seguindo-se alguns pontos de água, como os números 98 (Viseu), 106 (Moimenta Maceira Dão), 136 (Silvares) e 137 (Santiago de Besteiros); e por outro lado, os pontos n.ºs 123 (S. Miguel do Outeiro- 4,34) e 35 (Tragos- 4,43), com os valores mais baixos.

O ponto de água n.º 98 corresponde à Fonte de São Francisco, contudo por indicação de moradores a água sofreu interferências com a construção do Centro Comercial nas imediações. Ainda assim, entende-se que apesar do parco caudal de <0,001 L/s o recurso que ocorre naquele fontanário poderá ainda ter um contributo do recurso natural de outrora e que segundo Bastos, *et al.* (2002) seria uma “água cloretada”.

Os dados de cada ponto de água são detalhadamente apresentados na Tabela A1.III em anexo.

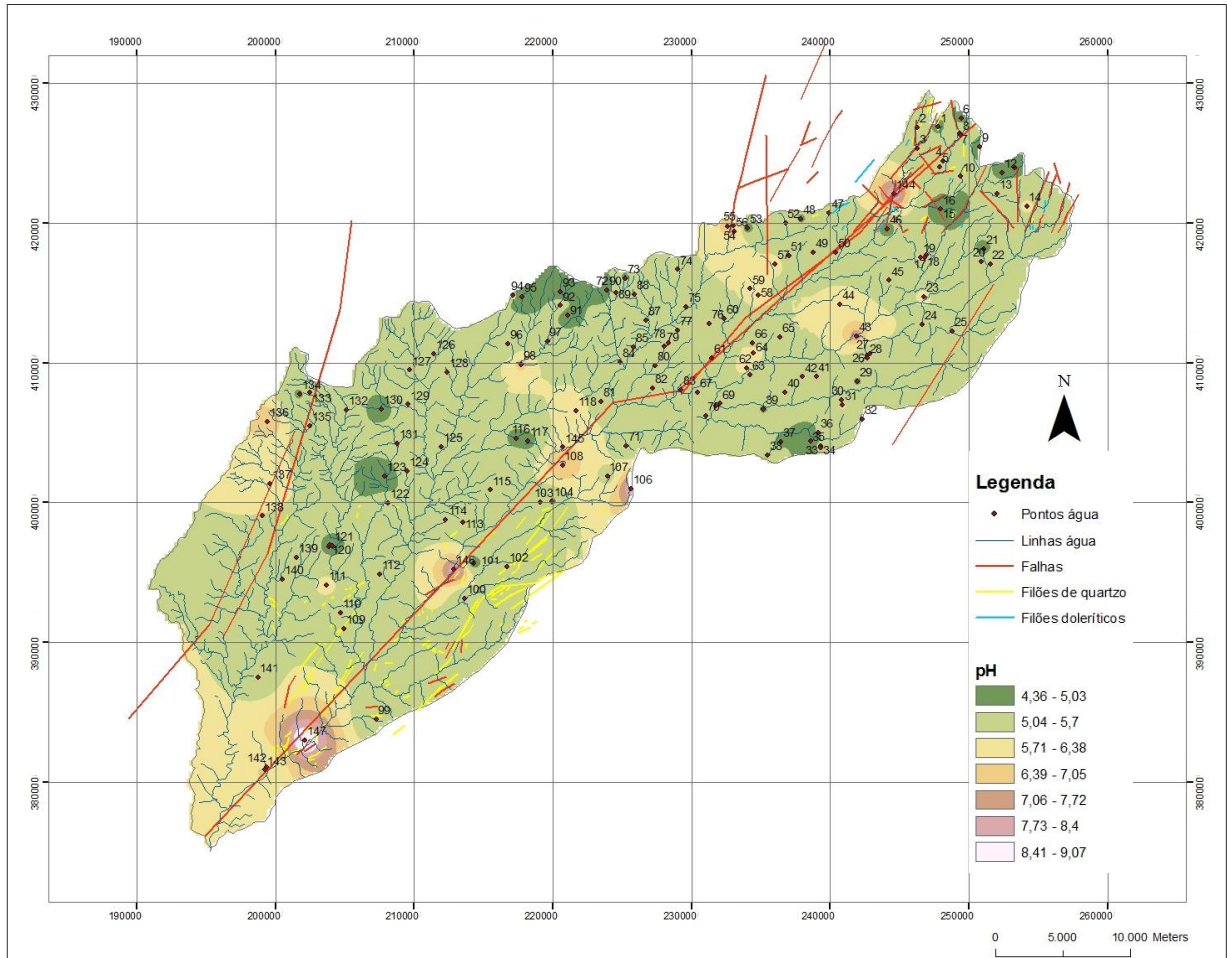


Figura 4.3 - Mapa de valores de pH a partir dos registos efetuados aos pontos de água da Bacia do Rio Dão.

4.3.3. A condutividade elétrica

Como o próprio nome indica, a condutividade elétrica resume-se à capacidade que a água tem em conduzir a corrente elétrica, o que depende diretamente do teor de sais dissolvidos e da configuração desses sais (Feitosa e Filho, 2002). Assim sendo, como se depreende que quanto maior for a condutividade elétrica maior será o resíduo seco e a mineralização total.

Analisando os resultados obtidos pela amostragem de campo (Figura 4.4), é possível apontar alguns locais em que a condutividade apresenta valores muito acima do expectável, permitindo assim estudar as potencialidades de em pontos anómalos distinguir entre um foco de contaminação pontual, ou se potencialmente estar na presença de uma água sulfúrea.

Destaca-se uma vez mais o Ponto de água n.º 98 (Viseu) que apresenta condutividade acima dos $500 \mu\text{Scm}^{-1}$, o que tendo em conta as considerações sobre os mapas anteriores poderá ser indiciador que a água se encontra contaminada.

A água que apresenta maior condutividade é a água mineral do Granjal (Ponto de água n.º 147 com Condutividade de $634 \mu\text{Scm}^{-1}$); os registos dos pontos de água com menor condutividade

foram feitos nas localidades de Coelheirinhas (31,4 μScm^{-1} - Ponto de água n.º 45) e em Sargaçais (30,59 μScm^{-1} - Ponto de água n.º 9), ambas no concelho de Aguiar da Beira.

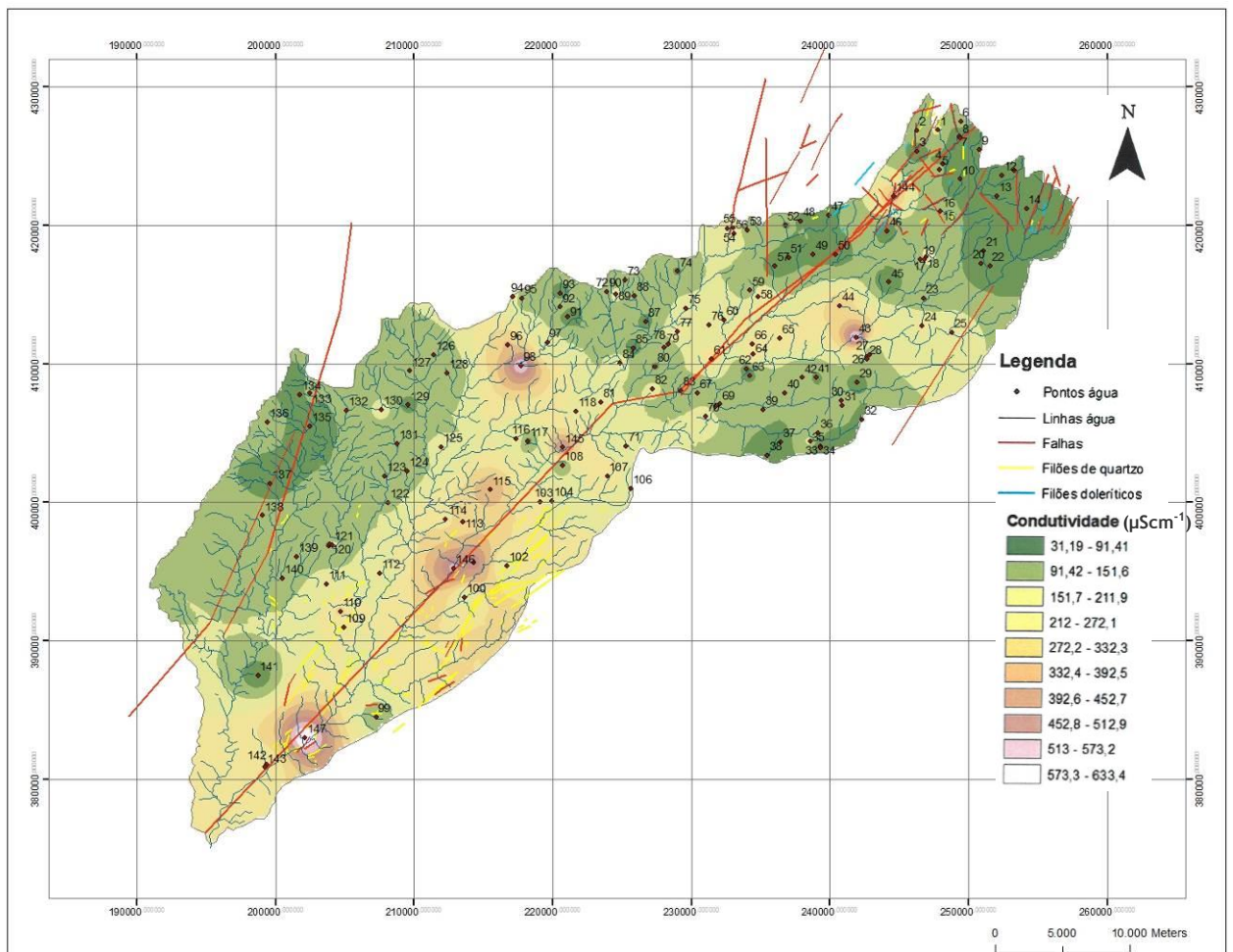


Figura 4.4 - Mapa de Condutividade Elétrica ao longo da Bacia do Rio Dão, tendo por base o registo efetuado dos pontos de água.

As amostras da água da chuva apresentam valores na ordem de 9 μScm^{-1} .

Analisando a Figura 4.4 verifica-se também as discontinuidades impostas pelas águas sulfúreas (de montante para jusante- pontos n.ºs 144, 43, 145, 146 e 147).

4.3.4. A alcalinidade

A alcalinidade indica a capacidade da água para neutralizar ácidos (Lima, 2010) e resulta principalmente da presença dos iões carbonato e bicarbonato e também dos iões OH^- , H_3SiO_4^- e F^- entre outros. Salienta-se igualmente que em águas com $\text{pH} > 8,35$ a alcalinidade pode refletir também a presença de bases fortes (Carvalho, 1961).

Atendendo à definição de alcalinidade é previsível que as águas minerais apresentem teores de alcalinidade mais expressivos (entre 45 mL/L de HCl 0,1 M em Sezures e 27,77 mL/L de

HCl 0,1 M em Alcafache) do que as águas não sulfúreas (<5 mL/L de HCl 0,1 M) e conseqüentemente do que a água da chuva (próximo de 0 mL/L de HCl 0,1 M).

4.3.5. A dureza

A dureza de uma água corresponde à concentração de iões alcalinoterrosos (essencialmente cálcio e magnésio) que são suscetíveis de reagir com o sabão sódico provocando a sua precipitação. A dureza não é um parâmetro expressivo em todas as águas da Bacia do Rio Dão uma vez que em todos os tipos de circulação os teores são inferiores a 5 p.p. 10^5 CaCO_3 classificando-se como águas brandas (Lima, 2010).

4.3.6. O teor em sílica

O silício é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre (Lima, 2010), que ocorre sob a forma de óxido de sílica (SiO_2 - muito estável, existente no quartzo e feldspato, por exemplo). As águas minerais que estão sujeitas a maior exposição à dissolução deste elemento ao longo de todo o seu trajeto, é expectável que os teores em sílica sejam superiores aos de circulação freática.

De uma forma genérica os resultados das análises químicas reportam o conteúdo em sílica dissolvida (SiO_2). Dos resultados apresentados, o teor em sílica é mais significativo na água das Caldas de Sangemil (80 mg/L de SiO_2), menos expressivo em águas não sulfúreas e abaixo de 1,1 mg/L para a amostragem feita à água da chuva.

4.3.7. A sulfuração total

A contribuição das espécies reduzidas da oxidação do enxofre dissolvidas na água resulta na sulfuração total.

Em geral, as águas sulfúreas apresentam teores de sulfuração total inferiores a 100 mg/L, em especial na forma de SO_4^{2-} e HSO_4^- (LNEG, 2010). Em termos de águas estudadas na bacia do Rio Dão, o recurso que apresenta maior sulfuração total é a água mineral do Granjal (sulfuração total- 51,8 mL/L de I_2 0,01 N).

4.3.8. O resíduo seco

De uma forma geral o resíduo seco é o peso dos sais resultantes da evaporação de um litro de água após filtragem para remoção de sais em suspensão (Feitosa e Filho, 2002).

Portanto, da teoria que uma água é resultado da dissolução de vários elementos ao longo do seu circuito, o resíduo seco é um parâmetro que poderá contribuir para a conceptualização do modelo geohidráulico (com o resíduo seco crescente no sentido do fluxo).

Para as águas em estudo na bacia do Rio Dão, a que apresenta maior resíduo seco é a que pertence ao grupo das sulfúreas- água do Granjal com 430 mg/L, e a que regista menor valor é a da precipitação 2 mg/L (zona de confluência com o Rio Mondego).

4.3.9. O total de sólidos dissolvidos (TDS)

Ainda que por vezes seja confundido com o resíduo seco, o total de sólidos dissolvidos (TDS) quantifica o peso dos constituintes minerais da água, por unidade de volume (Feitosa e Filho, 2002).

É um dos parâmetros que o leitor portátil com que foi feito o levantamento das nascentes deteta, pelo que à semelhança de alguns parâmetros anteriores, foi feita a projeção dos pontos para a área da bacia (Figura 4.5).

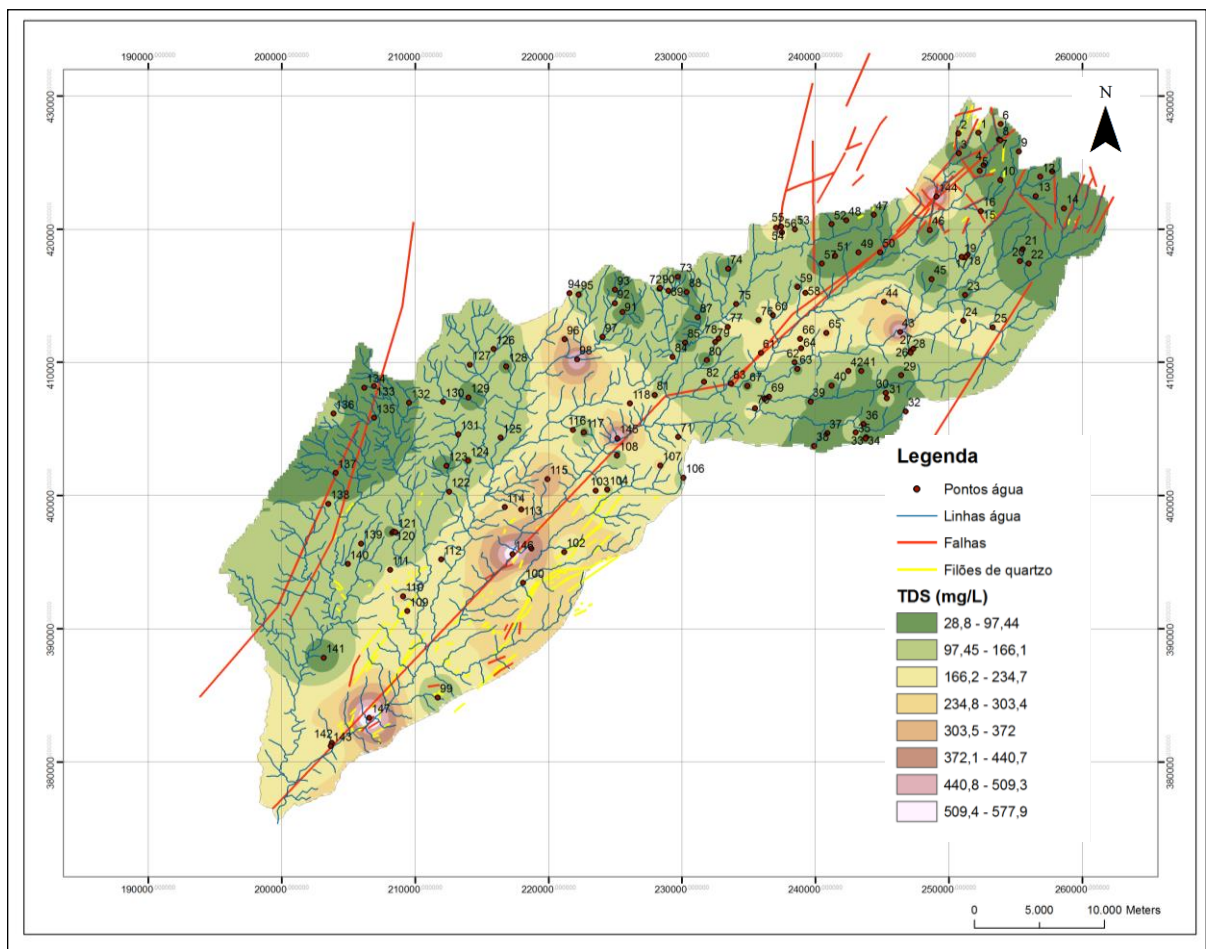


Figura 4.5 - Mapa de distribuição de TDS ao longo da Bacia do Rio Dão, tendo por base o registo efetuado nos pontos de água.

Da análise da projeção de TDS para a bacia, entende-se que nela afloram águas com TDS muito baixos (zonas a verde) e que coincidem com as zonas de pH e condutividade mais baixos, o que poderá evidenciar águas não contaminadas de qualidade. Essas zonas correspondem à zona Oeste da bacia em particular nos pontos mais altos da vertente da Serra

do Caramulo e também na envolvente de Aguiar da Beira (na zona mais a montante da bacia-Valverde, Carregais, Eirado, entre outras). Nesta última região registaram-se 15 nascentes/fontes (portanto, aproximadamente 15 aldeias) em que os teores em TDS são abaixo de 80 mg/L (veja-se resultados de pontos n.º 3,7 a 15, 19 a 23 na Tabela A.III em anexo) e que apresentam também pH entre 4,5 e 5,5.

Em contraposição, com valores muito elevados destacam-se as nascentes de águas sulfúreas e algumas das nascentes que afloram em contexto urbano: ponto n.º 98 (526,70 mg/L), ponto n.º 101 (448,30 mg/L).

4.4. Componente Maioritária

4.4.1. Catiões: Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺

O sódio (Na⁺) é um dos principais elementos da componente maioritária, sendo que estima-se que os seus minerais fonte sejam os feldspatos plagioclásicos (Feitosa e Filho, 2002).

Nas águas em estudo, o sódio Na⁺ é o elemento mais representativo no grupo dos catiões (com mais de 75% dos meq/L do grupo) independentemente do tipo de água. Ainda que frequentemente ocorram sob a forma de cloretos, as águas com elevados teores de sódio têm também concentrações significativas de flúor- F⁻ (Feitosa e Filho, 2002). Pela análise dos resultados das águas sulfúreas assim se confirma, o recurso com maior teor de F⁻ é também simultaneamente a que apresenta maior teor de Na⁺ (veja-se Figura 4.6).

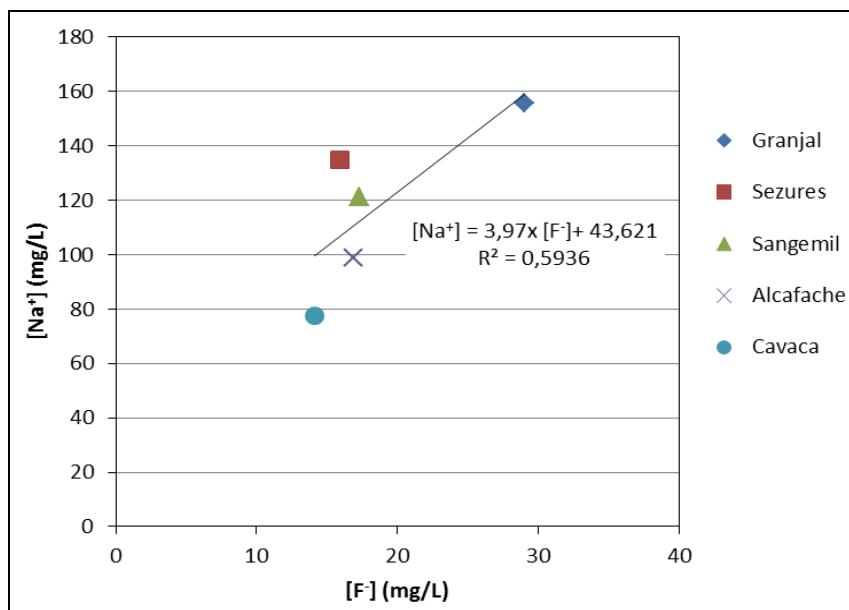


Figura 4.6 - Relação entre os íões de sódio (Na⁺) e flúoreto (F⁻) para as águas sulfúreas da bacia em estudo.

Salienta-se que se se tentar extrapolar essa análise para outras águas da bacia (não sulfúreas) a relação não é evidente uma vez que os valores obtidos para de F⁻ para aquelas águas são abaixo dos limites detetáveis para o ensaio.

Quanto ao Potássio (K^+) ainda que pouco presente nas águas subterrâneas, ocorre com abundância no maciço rochoso granítico através dos feldspatos potássicos, micas e leucitas (Feitosa e Filho, 2002).

O Potássio elemento é detetável nas águas que percolam na Bacia do Rio Dão, maioritariamente no maciço granítico, quer em águas não sulfúreas- “Fonte da Bica” em Santa Comba Dão - 2,2 mg/L, Fonte do Loreto (Santa Comba Dão) - 17,3 mg/L, quer nas águas sulfúreas-Caldas de Sangemil- 4,3 mg/L, assim como nas águas analisadas resultantes da precipitação, ainda que com valores residuais- 0,18 mg/L na zona de jusante e 0,11 mg/L na zona intermédia da bacia.

Os sais de cálcio (Ca^{2+}) quando sujeitos a agentes solventes (água) frequentemente integram a solução graças à sua moderada a elevada solubilidade (Feitosa e Filho, 2002), precipitando-se por vezes, sob a forma de Carbonato de Cálcio- $CaCO_3$. Nas águas em estudo, em especial nas sulfúreas, o Cálcio representa o segundo ião mais representativo com teores entre 2,30 mg/L (Granjal) e 5,4 mg/L (Cavaca).

Similarmente ao Ca^{2+} , o Magnésio (Mg^{2+}) apresenta elevada solubilidade, mas quando permanece em solução é mais difícil de precipitar. Os minerais do maciço que podem contribuir como fontes de magnésio são a magnesite, a biotite, a hornoblenda, alanite e olivina (Feitosa e Filho, 2002). Nas águas minerais da bacia os teores são pouco expressivos (0,50 mg/L em Sezures e Cavaca), sendo que para as águas não sulfúreas na zona de jusante (Santa Comba Dão) apresentaram teores de 5,5 mg/L e 2,9 mg/L, respetivamente, para a “Fonte da Bica” e para a “Fonte do Loreto”.

Calado, em 2001, apresentou uma análise/distribuição estatística descritiva para as águas sulfúreas alcalinas que percolam em maciços graníticos. Na Tabela IV.1 são apresentados os parâmetros referentes à componente catiónica apresentada por Calado (2001) e os dados referentes às águas sulfúreas da Bacia do Rio Dão. Da análise da tabela verifica-se que as águas em estudo se enquadram na análise feita por aquele autor.

4.4.2. Aniões: F^- , Cl^- , HCO_3^- , NO_3^-

Em águas sulfúreas é frequente o Flúor (F^-) apresentar concentrações inferiores a 1 mg/L, sendo raros os registos acima de 10 mg/L e excepcionalmente assume valores acima de 15 mg/L (Calado e Almeida, 1993). Contudo, da análise dos recursos de água sulfúrea da bacia destacam-se os teores, de 13,7 mg/L nas Caldas da Cavaca, 17,8 mg/L em Alcafache, 17,5 mg/L em Sangemil, 15,9 mg/L em Sezures e 29,0 mg/L no Granjal.

Frequentemente a presença de flúor na água é associada à dissolução da fluorite ou outros minerais ricos em flúor, mas dada a fraca solubilidade o elevado teor deste elemento terá outras origens (Calado e Almeida, 1993).

Tabela IV.1- Dados estatísticos dos cátions típicos das águas sulfúreas alcalinas de ambientes graníticos e comparação com os obtidos para as águas sulfúreas da Bacia do Rio Dão.

Parâmetro (mg/L)	Cátions “típicos” para águas sulfúreas que percolam em maciços graníticos (Calado, 2001)					Cátions das águas sulfúreas da Bacia do Rio Dão				
	Min	1.º Q	Mediana	3.º Q	Max	Cavaca	Sezures	Alcafache	Sangemil	Granjal
Li ⁺	0,13	0,22	0,38	0,54	1,50	0,46	0,64	0,85	1,51	0,39
Na ⁺	41,1	76,8	95,1	123,8	220,3	77,5	140,0	100,0	113,0	155,7
K ⁺	0,8	1,8	2,5	3,5	14,0	2,6	2,9	2,3	4,3	2,90
Mg ²⁺	0,0	0,1	0,7	1,5	11,8	0,08	0,44	0,13	0,12	0,04
Ca ²⁺	0,8	2,2	4,4	6,2	25,8	5,4	4,8	4,4	5,1	2,30
NH ₄ ⁺	0,00	0,00	0,09	0,39	1,62	0,06	-	-	0,34	0,29

Ainda que a discussão científica sobre a origem dos teores de Flúor nas águas sulfúreas ainda não esteja concluída, Calado e Almeida (1993) apresentam como possibilidade do Flúor ter origem na circulação profunda, possivelmente associado aos fenómenos de intrusão dos maciços tardi-hercínicos, ou do resultado do esmagamento do granito que libertou elementos voláteis contidos nos minerais.

O ião cloreto (Cl⁻) é muito solúvel e estável em solução e tem origem nos minerais ferromagnesianos das rochas ígneas. O fato de não precipitar e apresentar alta solubilidade tem um efeito cumulativo (aumenta gradativamente) ao longo do circuito no sentido do fluxo (Feitosa e Filho, 2002). Neste sentido, admitindo que as águas sulfúreas ocorrem no mesmo sistema aquífero, o sentido do escoamento “indicado” pelo ião Cl⁻ daquele recurso é da água da Cavaca (19,2 mg/L), Alcafache (34,4 mg/L), Sezures (39,1 mg/L), Sangemil (54,7 mg/L) e Granjal (76,0 mg/L).

Quanto ao hidrogenocarbonato HCO₃⁻ não oxida nem reduz na água, mas precipita com frequência na presença de Ca²⁺ (Feitosa e Filho, 2002). As águas sulfúreas são genericamente bicarbonatadas (Ferreira, 2013), na medida em que o ião HCO₃⁻ representa 50% da sua composição maioritária (C. Cavaca de 145,4 mg/L, Sezures 275,00 mg/L, T. Alcafache 162,0 mg/L, C. Sangemil 169 mg/L, Granjal 168,10 mg/L). Para as águas não sulfúreas a relação de HCO₃⁻ face à restante composição aniônica não é tão expressiva.

O nitrato -NO₃⁻ é indicador da oxidação da matéria orgânica (Feitosa e Filho, 2002) e pode ser considerado com indicativo da contaminação subterrânea por ação humana (esgotos, fossas, depósitos de lixo, entre outros). As águas sulfúreas apresentam teores próximos de 0 (zero), enquanto nas amostras de água não sulfúrea recolhidas em pleno meio urbano (Fonte da Bica em Santa Comba Dão- BBQ e a Fonte do Loreto- CVQ) os resultados são da ordem dos 30 mg/L (ainda que abaixo do valor paramétrico de 50 mg/L).

À semelhança da metodologia apresentada na análise da componente catiónica, na Tabela IV.2 é apresentada a análise estatística feita por Calado (2001) face às águas sulfúreas da Bacia do Rio Dão. Da análise da tabela verifica-se que as águas em estudo se enquadram na

análise feita por aquele autor com exceção do ião Fluoreto (F⁻) que no Granjal ultrapassa o máximo referenciado por aquele autor.

Tabela IV.2 - Dados estatísticos dos aniões típicos das águas sulfúreas alcalinas de ambientes graníticos e comparação com os obtidos para as águas sulfúreas da Bacia do Rio Dão.

Parâmetro (mg/L)	Aniões “típicos” para águas sulfúreas que percolam em maciços graníticos (Calado, 2001)					Aniões das águas sulfúreas da Bacia do Rio Dão				
	Min	1.º Q	Mediana	3.º Q	Max	Cavaca	Sezures	Alcafache	Sangemil	Granjal
F ⁻	3,9	10,0	14,6	19,5	28,0	13,70	17,95	17,8	17,5	29,00
Cl ⁻	5,5	20,6	38,7	56,7	146,3	19,2	39,10	34,4	54,7	76,00
HS ⁻	0,0	1,25	2,09	4,30	27,0	0,8	-	0,1	3,7	7,70
SO ₄ ²⁻	0,2	4,1	9,5	17,0	105,2	0,6	-	4,2	4,5	9,60

4.4.3. Classificações hidroquímicas

Por forma a melhor caracterizar as águas que ocorrem na bacia julga-se produtiva a classificação de cada uma das amostras em estudo, para que se sejam analisadas não só as similaridades entre tipologias (chuva, sulfúrea ou não sulfúrea) mas também expor as divergências entre tipologias. Neste sentido para a concretização dos perfis hidroquímicos das águas da bacia (para as amostras com parâmetros conhecidos), foram projetadas nos Diagramas de Piper e de Stiff as seguintes águas (em que foram atribuídos os códigos):

- da chuva:
 - zona intermédia- Tondela- PVHQ
 - zona de jusante- Granjal -PGRQ
- não sulfúreas:
 - zona de montante- Cavaca freática- CVC-FR
 - zona intermédia- Fail-FAI, Sangemil freática- SGM-FR, Alcafache freática - ALC-FR, Caramulo- CRM
 - zona de jusante- Fonte do Loreto- CVQ, Fonte da Bica- BBQ, Granjal freática- GRJ-FR
- sulfúreas:
 - zona de montante- Cavaca -CVC, Sezures -SZR
 - zona intermédia- Alcafache -ALC, Sangemil-SGM
 - zona de jusante- Granjal -GRJ

A projeção dos diferentes recursos no Diagrama de Piper é ilustrada na Figura 4.7. Tomando por base a mesma terminologia das amostras de água desenvolveram-se os diagramas de Stiff para cada amostra de água, cujos resultados gráficos são ilustrados na Figura 4.8.

Na projeção do Diagrama de Piper pretendeu-se ajustar a legendagem no sentido de estabelecer eventuais paralelismos entre zona da Bacia (montante, intermédia e jusante) e a tipologia da água (sulfúrea, não sulfúrea e água da chuva).

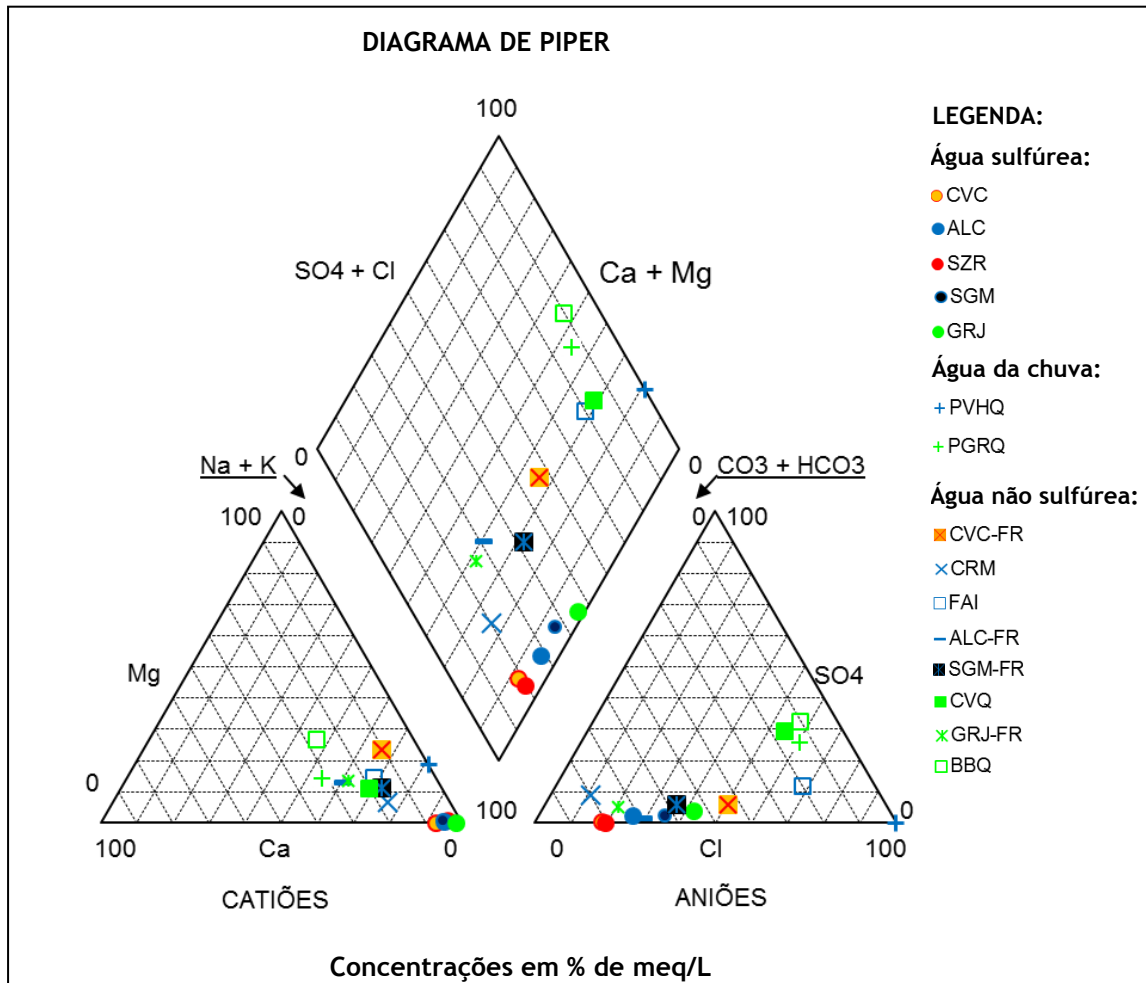


Figura 4.7 - Diagrama de Piper algumas das águas em estudo da Bacia do Rio Dão em função da tipologia (sulfúrea- simbologia “o”, da chuva simbologia- “+” e não sulfúrea- simbologia “□, X , - , e *”) nos diferentes locais de recolha (zonas de montante- simbologia vermelho/laranja, intermédia- simbologia a azul e jusante- simbologia a verde).

Da análise da Figura 4.7 denota-se a similaridade entre as águas sulfúreas, em especial na componente catiónica (Ca, Mg, Na e K), enquanto as águas não sulfúreas apresentam maior diversificação na sua composição química. Para a água da chuva destaca-se a proximidade catiónica das águas não sulfúreas.

Analisando a projeção do Diagrama de Sitff (Figura 4.8) é evidente o enriquecimento da composição química no sentido da água da chuva até à água sulfúrea.

Dos perfis traçados na Figura 4.8 destaca-se a composição “substancial” da água do Caramulo face às demais águas não sulfúreas, que tendo em conta a sua localização (no topo da Serra do Caramulo- no início de linha de água) seria expectável uma água com uma composição química mais “leve” à semelhança da água não sulfúrea da Cavaca (CVC-FR).

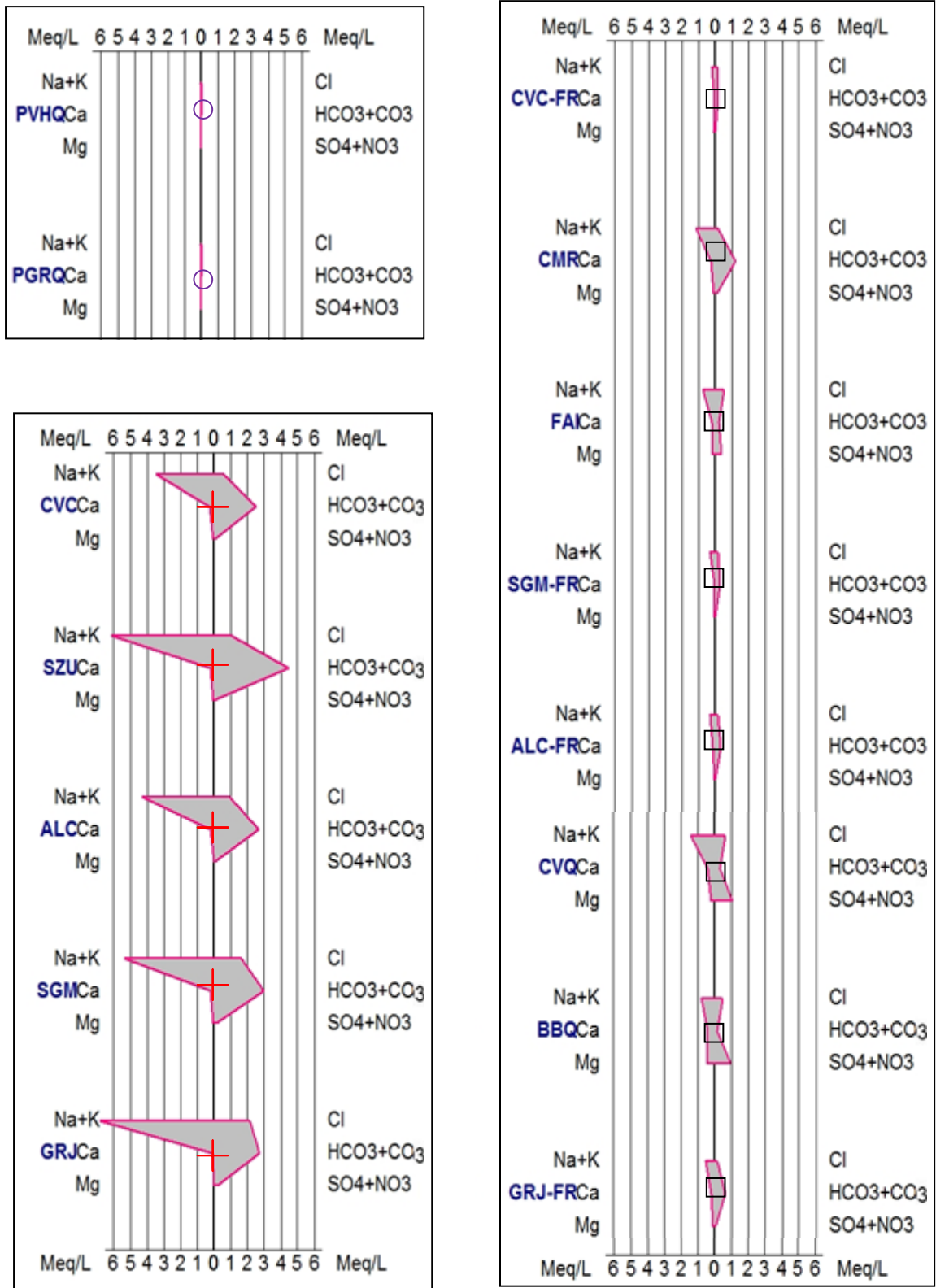


Figura 4.8 - Diagramas de Stiff para algumas águas da bacia do Rio Dão para os vários tipos de água (chuva“o”, não sulfúrea“□” e sulfúrea“+”) nos diferentes locais de recolha (zonas de montante, intermédia e jusante).

Na Tabela IV.3 apresentam-se várias classificações que têm por base alguns dos parâmetros físico-químicos das águas. Ainda que se pretenda analisar as eventuais discordâncias entre águas, as metodologias reguladas por um parâmetro podem gerar classificações redutoras

(note-se na Tabela IV.3 para classificações similares correspondem para águas distintas, por exemplo águas ALC -FR, CMR, GRJ-FR e CV classificação igual a todas as sulfúreas ALC).

Tabela IV.3 - Classificação das águas em análise em função da projeção do Diagrama de Piper, da temperatura, da mineralização total e da dureza.

Metodologias de classificação					
Tipologia de águas (Código)		Composição química (Diagrama de Piper) (*)	Temperatura (**)	Mineralização Total (***)	Dureza (4*)
Água da chuva	PVHQ	Cloretada Sódica	Não aplicável	Muito fracamente mineralizada	Branda
	PGRQ	Cloretada Sódica	Não aplicável	Muito fracamente mineralizada	Branda
Água não sulfúrea	CVC-FR	Cloretada Sódica	Fria	Muito fracamente mineralizada	(sem dados)
	FAI	Cloretada Sódica	Fria	Fracamente mineralizada	(sem dados)
	SGM-FR	Cloretada Sódica	Fria	Muito fracamente mineralizada	(sem dados)
	ALC-FR	Bicarbonatada Sódica	Fria	Muito fracamente mineralizada	(sem dados)
	CRM	Bicarbonatada Sódica	Fria	Fracamente mineralizada	(sem dados)
	CVQ	Cloretada Sódica	Fria	Fracamente mineralizada	Branda
	BBQ	Sulfatada cloretada cálcica	Fria	Fracamente mineralizada	Branda
	GRJ-FR	Bicarbonatada Sódica	Fria	Fracamente mineralizada	Branda
Água sulfúrea	CVC	Bicarbonatada Sódica	Hipotermal	Fracamente mineralizada	Branda
	SZR	Bicarbonatada Sódica	Fria	Mesomineralizada	Branda
	ALC	Bicarbonatada Sódica	Hipertermal	Fracamente mineralizada	Branda
	SGM	Bicarbonatada Sódica	Mesotermal	Fracamente mineralizada	Branda
	GRJ	Bicarbonatada Sódica	Fria	Fracamente mineralizada	Branda

(*) Segundo método apresentado por Gomes da Costa (2011). (**) Aplicando a metodologia de Lima (2010) a todas as águas. (***) Pereira *et al.* (2012). (4*) Segundo método apresentado por Feitosa e Filho (2002).

Das classificações da Tabela VI.3 é evidente a familiaridade entre as águas sulfúreas em que todas são bicarbonatadas sódicas, fracamente mineralizadas (com exceção da de Sezures) distinguindo-se entre elas no parâmetro de temperatura. Em termos de águas não sulfúreas a diversidade é maior, quer na composição química (em que maioritariamente são cloretadas sódicas mas a água BBQ é cloretada), quer em termos de mineralização em que varia entre o muito pouco mineralizadas a fracamente mineralizadas.

4.4.4. Análise estatística simples

Um dos métodos mais comuns no tratamento de resultados é a aplicação de ferramentas de estatística simples (média, moda, mediana, correlação, etc.). Nesse sentido, tomando por

base as Tabelas III.2 a III.4 (dados da bibliografia e obtidos pelas análises) fez-se o tratamento estatístico simples (ou univariada), cujos resultados se apresentam na Tabela IV.4.

Para que da análise estatística resultem elementos consistentes foi necessário proceder à seleção das amostras que apresentem resultados físico-químicos da componente principal (Aniões e Catiões), com resultados diferentes de zero. Foram incluídos também na análise estatística alguns parâmetros característicos das nascentes em especial a altitude (verificação se existe relação com a componente química), a temperatura e os valores de Eh. No tratamento estatístico não foram incluídos os parâmetros de condutividade, pH, mineralização total uma vez que são conhecidas as correlações entre eles e/ou com outros parâmetros incluídos.

Assim, para a análise estatística contribuíram as águas indicadas no item anterior com as referências de PVHQ, PGRQ, CVC-FR, CRM, FAI, SGM-FR, ALC-FR, CVQ, BBQ, GRJ-FR, CVC, SZS, ALC, SGM e GRJ.

Tabela IV.4 - Análise Univariada- características gerais.

Elemento	n	Média	Mediana	Mínimo	1º Quartil	3º Quartil	Máximo	Variância	Desv. Padrão	Coef. Variação	Amplitude	Coef. Assimetria	
Altitude (m)	15	422,13	242,00	150,00	180,00	580,00	1000,00	100089,55	316,37	0,75	850,00	1,03	
Temperatura (°C)	15	20,15	15,70	10,00	12,50	22,70	50,68	164,05	12,81	0,64	40,68	1,82	
Eh (mV)	15	152,38	0,00	-94,00	-12,00	369,00	405,00	42854,00	207,01	1,36	499,00	-0,03	
Aniões (mg/L)	Cl ⁻	15	21,36	18,20	1,00	5,70	35,41	76,00	483,33	21,98	1,03	75,00	1,41
	HCO ₃ ⁻	15	82,38	21,00	0,00	10,60	165,92	275,00	7924,46	89,02	1,08	275,00	0,79
	SO ₄ ²⁻	15	8,22	2,10	0,00	0,70	9,60	29,40	98,26	9,91	1,21	29,40	1,07
Catiões (mg/L)	Na ⁺	15	47,42	17,10	0,68	7,20	98,79	155,70	3050,35	55,23	1,16	155,02	1,02
	K ⁺	15	2,63	1,00	0,11	0,35	2,90	17,30	18,34	4,28	1,63	17,19	3,23
	Mg ²⁺	15	1,16	0,61	0,04	0,16	1,47	5,50	2,09	1,44	1,25	5,46	2,24
	Ca ²⁺	15	4,17	4,40	0,00	1,50	5,18	9,20	6,74	2,60	0,62	9,20	0,13

A matriz de base é composta por 15 (amostras- águas) por 10 (elementos analisados).

A análise estatística foi desenvolvida através da aplicação do software “Andad” (versão 7.10), que revela algumas limitações na terminologia das amostras. Na Tabela IV.5 apresentam-se as respectivas nomenclaturas utilizadas para cada elemento/variável.

A abordagem estatística foi desenvolvida inicialmente pela análise estatística simples, por forma a caracterizar genericamente a amostra. De seguida desenvolveu-se a análise da estatística bivariada, em especial com a interpretação da matriz de correlação.

A análise bivariada permite observar a relação entre os parâmetros. Se por um lado através da consulta de bibliografia, se entenda que existem parâmetros químicos que dependem

entre si (como por exemplo, a interação entre os carbonatos), a matriz de correlação poderá realçar outros padrões.

Tabela IV.5 - Abreviaturas aplicadas no programa Andad.

Elemento	Abreviatura	Elemento	Abreviatura	Elemento	Abreviatura
Altitude (m)	al	Cl ⁻ HCO ₃ ⁻ SO ₄ ²⁻	cl	Na ⁺	na
Temperatura (°C)	te		hc	K ⁺	k
Eh (mV)	eh		so	Mg ²⁺	mg
				Ca ²⁺	ca

Na Tabela IV.6 apresenta-se a matriz de correlação através do coeficiente de Pearson e do coeficiente de Spearman.

Tabela IV.6- Matriz de correlação através do coeficiente de Pearson e do coeficiente de Spearman.

	Altitude	Temp.	Eh	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	
Altitude	1,000	-0,389	-0,036	-0,541	-0,376	-0,596	-0,399	-0,382	-0,285	-0,335	
Temperatura	-0,342	1,000	-0,483	0,871	0,733	0,602	0,878	0,801	-0,029	0,574	
Eh	-0,284	-0,444	1,000	-0,545	-0,674	0,066	-0,663	-0,515	0,638	-0,240	
Aniões	Cl ⁻	-0,482	0,607	-0,545	1,000	0,779	0,515	0,918	0,872	-0,079	0,496
	HCO ₃ ⁻	-0,204	0,615	-0,655	0,748	1,000	0,143	0,904	0,647	-0,225	0,461
	SO ₄ ²⁻	-0,408	-0,014	0,027	0,198	-0,222	1,000	0,431	0,536	0,486	0,576
Catiões	Na ⁺	-0,316	0,633	-0,668	0,919	0,943	-0,068	1,000	0,803	-0,143	0,575
	K ⁺	-0,319	0,149	-0,202	0,270	0,090	0,658	0,158	1,000	0,088	0,654
	Mg ²⁺	-0,333	-0,242	0,270	-0,167	-0,388	0,816	-0,345	0,304	1,000	0,554
	Ca ²⁺	-0,458	0,222	-0,153	0,202	0,179	0,752	0,155	0,596	0,742	1,000

Legenda:

Coeficiente correlação aplicando o método de Pearson

Coeficiente correlação aplicando o método de Spearman

Da matriz de correlação destacam-se as conjugações da temperatura com os iões Na⁺, K⁺ e Cl⁻ podendo indiciar em profundidade, com o aumento de temperatura maior será dissolução dos sais do maciço para o recurso. Destaca-se também as relações entre os elementos principais iões Na⁺- Cl⁻, Na⁺- HCO₃⁻, Na⁺- K⁺ e Mg²⁺-SO₄²⁻ retratando possivelmente o contributo da composição química do maciço envolvente.

As afinidades expressas na matriz de correlação serão analisadas conjuntamente com os resultados da análise multivariada.

Ainda que se entenda que as variáveis estatísticas são os parâmetros característicos de cada captação, em termos matemáticos foi feito o estudo considerando que as captções seriam as variáveis, com o intuito de avaliar possíveis correlações entre as águas/captações. Assim, foram eliminados os parâmetros de altitude e de temperatura (para que a evitar correlações de proximidade) e aplicadas as técnicas estatísticas anteriores na qual resultou a tabela de correlação apresentada na Tabela IV.7.

Tabela IV.7 - Matriz de correlação através do coeficiente de Pearson e do coeficiente de Spearman, aplicada como sendo variáveis as águas.

		CVC	SZR	ALC	SGM	GRJ	PVHQ	PGRQ	CVC-FR	CRM	FAI	SGM-FR	ALC-FR	CVQ	BBQ	GRJ-FR
Água sulfúrea	CVC	1,000	0,967	0,983	0,933	0,917	0,366	0,617	0,186	0,867	0,000	0,333	0,317	-0,100	-0,133	0,333
	SZR	0,977	1,000	0,933	0,900	0,883	0,392	0,517	0,153	0,783	-0,017	0,283	0,300	-0,167	-0,200	0,283
	ALC	0,991	0,956	1,000	0,967	0,933	0,305	0,683	0,186	0,933	0,083	0,367	0,333	-0,033	-0,017	0,367
	SGM	0,923	0,965	0,924	1,000	0,983	0,287	0,717	0,186	0,933	0,183	0,317	0,267	0,117	0,100	0,317
	GRJ	0,889	0,939	0,899	0,973	1,000	0,348	0,700	0,220	0,900	0,150	0,267	0,217	0,150	0,067	0,267
Água chuva	PVHQ	0,000	-0,082	0,091	0,085	-0,032	1,000	0,566	0,230	0,191	0,070	-0,070	-0,026	-0,209	-0,104	-0,070
	PGRQ	0,018	-0,059	0,106	0,108	-0,015	0,997	1,000	0,153	0,700	0,267	0,117	0,033	0,067	0,267	0,117
Água não sulfúrea	CVC-FR	-0,287	-0,453	-0,261	-0,599	-0,539	-0,128	-0,157	1,000	0,170	0,627	0,848	0,848	0,458	0,542	0,848
	CRM	0,982	0,944	0,961	0,864	0,802	0,001	0,026	-0,221	1,000	0,117	0,333	0,283	0,050	0,100	0,333
	FAI	-0,287	-0,451	-0,259	-0,594	-0,528	-0,133	-0,161	0,999	-0,223	1,000	0,667	0,600	0,800	0,950	0,667
	SGM-FR	-0,271	-0,438	-0,245	-0,586	-0,527	-0,125	-0,155	1,000	-0,204	0,999	1,000	0,983	0,450	0,583	1,000
	ALC-FR	-0,250	-0,418	-0,225	-0,570	-0,512	-0,132	-0,160	0,999	-0,182	0,998	1,000	1,000	0,333	0,483	0,983
	CVQ	-0,235	-0,394	-0,203	-0,531	-0,453	-0,157	-0,178	0,974	-0,175	0,981	0,974	0,974	1,000	0,850	0,450
	BBQ	-0,295	-0,455	-0,260	-0,584	-0,510	-0,119	-0,140	0,981	-0,229	0,988	0,981	0,979	0,988	1,000	0,583
	GRJ-FR	-0,210	-0,381	-0,188	-0,539	-0,483	-0,139	-0,167	0,997	-0,141	0,995	0,998	0,999	0,973	0,976	1,000

Legenda:

Coeficiente correlação aplicando o método de *Pearson*

Coeficiente correlação aplicando o método de *Spearman*

Da Tabela IV.7 destaca-se de uma forma geral a interação entre as várias tipologias de águas (correlação entre águas do mesmo tipo destacada a amarelo: águas sulfúreas com águas sulfúreas, águas da chuva com águas da chuvas, etc.). Contudo, a água do Caramulo (CMR) apresenta uma correlação evidente com as águas sulfúreas (destacado a azul na Tabela IV.7).

Uma outra perspectiva da matriz das correlações é através da análise das não correlações que de certa forma seriam expectáveis, isto é, seria de esperar que aos parâmetros da água da chuva se correspondesse alguma das águas não sulfúreas (freáticas), contudo, o coeficiente de correlação na maioria dos casos é muito próximo de zero (destacado a rosa).

Estas correlações serão analisadas no âmbito da análise estatística multivariada.

4.4.5. Análise estatística multivariada

A análise estatística multivariada foi desenvolvida através da aplicação do software “Andad” (CERENA, 2007) que após a introdução dos dados, aplicou-se ao espaço amostral a análise multivariada, na vertente de análise de componentes principais, aplicada à mesma matriz de base (15 amostras- águas por 10 parâmetros).

A aplicação da técnica da Análise em Componentes Principais (ACP) permite reduzir o número de variáveis (de 10 para 7 “eixos”), além de que o rearranjo das variáveis que compõe um eixo poderá ser indicador dos processos que controlam a química da água (Pereira, *et al.*,

2012). Na tabela IV.8 constam os valores próprios afetos a cada eixo assim como a variância explicada por cada um deles (em termos percentuais) e seus valores acumulados.

Tabela IV.8 - Matriz resultante da aplicação da técnica de ACP para a matriz inicial.

Eixos	Valor Próprio	% da variância explicada	% valores acumulados
1	4,067	40,674	40,674
2	3,234	32,342	73,016
3	1,119	11,186	84,201
4	0,590	5,897	90,099
5	0,501	5,008	95,106
6	0,357	3,571	98,677
7	0,087	0,873	99,550

Da análise da tabela IV.8 verifica-se que são necessários 4 componentes principais (eixos-novas variáveis) para explicar cerca de 90% da variância total da matriz original.

Os valores a que correspondem cada eixo para cada variável estão esquematizados na Tabela IV.9. Salienta-se que se identificaram os componentes (eixos) que justificariam apenas um parâmetro (ou nenhum) para que em simulações posteriores fossem truncados esses elementos (eixos 4 a 7).

Tabela IV.9 - Resultado da ACP: coordenadas das variáveis ativas nos 7 eixos.

		1	2	3	4	5	6	7
Altitude		0,414	0,521	-0,719	0,076	-0,043	-0,066	-0,169
Temperatura		-0,759	0,095	0,177	0,079	-0,583	-0,191	-0,037
Eh		0,687	-0,247	0,638	-0,106	-0,016	0,105	-0,192
Aniões	Cl ⁻	-0,914	0,000	0,152	-0,082	0,266	-0,245	-0,032
	HCO ₃ ⁻	-0,887	0,302	-0,004	0,142	0,078	0,291	-0,091
	SO ₄ ²⁻	-0,141	-0,928	-0,154	-0,049	0,092	-0,262	-0,094
Catiões	Na ⁺	-0,950	0,221	0,052	0,033	0,199	0,034	-0,048
	K ⁺	-0,365	-0,633	-0,295	-0,583	-0,103	0,160	-0,001
	Mg ²⁺	0,181	-0,903	-0,050	0,353	0,087	-0,051	0,012
	Ca ²⁺	-0,372	-0,822	-0,158	0,268	-0,128	0,250	-0,006

O eixo 1 (F1), que explica cerca de 40% da variância total, para o qual contribuem significativamente a temperatura, as concentrações de Na⁺, Cl⁻ e HCO₃⁻, com todos os parâmetros colocados no lado negativo. Entende-se que este eixo poderá representar o fenómeno de interação água-rocha, correspondendo aos principais contributos da mineralização total (elementos mais expressivos na composição química). Além disso, em associação ao parâmetro temperatura (ainda que com valor da componente principal inferior a -0,8) é indicador que a temperatura é um elemento ativo no equilíbrio químico estabelecido na interação água-macizo rochoso.

Por sua vez o eixo 2 (F2), em que explica cerca de 30% da variância total, justificado essencialmente pelos valores da componente principal com menor expressão inferior: SO_4^{2-} , Mg^{2+} , Ca^{2+} e K^+ (ainda que contribua também no eixo 4).

Para melhor visualização de cada correspondência na Figura 4.9 esquematiza-se o plano fatorial correspondentes aos eixos 1 e 2 (F1 e F2), correspondendo à representação de cerca de 73% da variância total.

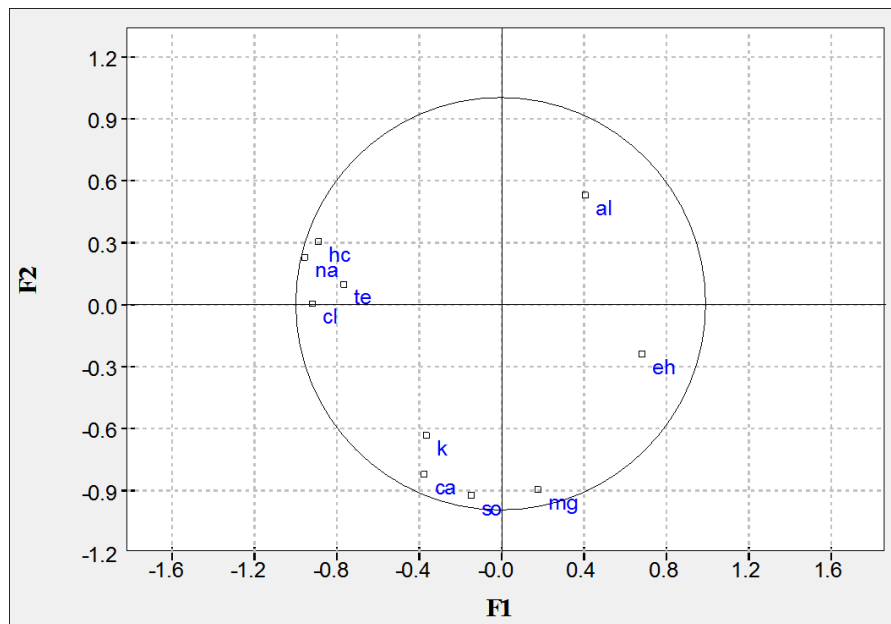


Figura 4.9 - Projeção das variáveis ativas no 1.º Plano fatorial.

Da Figura 4.9 destacam-se as projeções dos parâmetros representativos de cada eixo no lado negativo, salientando-se que no geral a representatividade de cada componente é muito próxima de 0,9 (excetuando-se a temperatura e o K^+ cujos contributos são próximos de 0,7 e 0,6 respetivamente).

4.5. Elementos Secundários (Componente Vestigiária)

A maioria das amostras apresenta resultados para os elementos secundários inferiores aos respetivos limites de deteção. Note-se que a dispersão dos resultados em relação aos elementos secundários é de tal forma significativa que tomando por exemplo os resultados de 21 amostras consecutivas (com periodicidade mensal) da água sulfúrea do Granjal (GRJ) os resultados de alguns elementos apenas foram detetados numa amostra, outros em 4 amostras e algumas obtiveram-se 21 resultados (Tabela IV.10).

Neste sentido será feita uma abordagem global aos elementos vestigiários em especial aos elementos que mais representativos em termos de amostras dos vários tipos de água da Bacia do Rio Dão: Arsénio (As), Boro (B), Césio (Cs), Estrôncio (Sr), Manganês (Mn), Rubídio (Rb), Urânio (U), Volfrâmio (W) e Zinco (Zn).

Tabela IV.10 - Elementos secundários para 21 amostras da água sulfúrea do Granjal recolhidas entre maio de 2010 e outubro de 2012.

Elementos Secundários (µg/L)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	N.º resultados
Be	<0,87	<0,87	0,18	0,16	<1,3	0,16	0,18	0,20	0,18	<0,2	<0,2	<0,44	<0,44	0,21	0,18	0,12	0,12	0,13	0,14	<0,23	0,19	13
B	967	967	1232	1146	1141	1035	1062	1066	1047	1063	966	1750	nd	1097	1054	1060	1033	940	992	921	1168	20
Al	14,7	<15,3	11,2	10,0	10,8	9,8	10,4	12,4	9,1	12,4	30,8	22,3	11,1	12,0	10,7	13,1	7,9	8,7	10,2	9,5	10,8	20
V	0,67	0,39	0,31	0,27	0,93	1,20	1,20	1,00	1,20	<0,55	0,78	<0,49	0,57	1,50	0,55	<0,59	0,82	0,73	<2,8	<0,41	<1,3	15
Cr	<1,5	<1,5	<2,8	<1,2	<1,0	<0,94	0,7	<0,45	0,5	<0,43	<0,43	<2,1	<2,1	<4	<0,49	<0,14	0,54	<1,2	<0,38	<0,62	<0,69	3
Fe															30,9	23,9	23,90	48,8				4
Mn	2,5	2,2	2,1	1,9	2,0	2,0	2,1	2,0	2,1	1,9	1,9	4,0	2,4	1,9	2,00	2,0	1,8	1,7	1,7	2,1	2,2	21
Co	<0,12	<0,12	0,02	0,03	<0,12	<0,05	<0,07	<0,05	<0,05	<0,17	<0,17	<0,36	<0,36	<0,01	<0,01	<0,03	<0,03	<0,04	<0,04	<0,24	<0,21	2
Ni	<14,3	<14,3	<2,7	<3	<2,0	<5,4	<3,0	<1,5	<1,5	<1,1	<1,1	<17,2	<17,2	<14	<0,65	<1,3	<1,3	<2,5	<1,7	<17,7	<1,7	0
Cu	<2,8	<2,8	<0,23	<0,08	<0,13	<0,48	<0,29	<0,17	<0,17	<0,75	<0,75	<1,1	<1,1	<0,06	0,06	<0,55	<0,55	<0,31	<1,2	<1,4	<0,17	1
Zn	1,30	<0,3	0,28	0,18	<0,60	<0,34	<0,30	0,93	0,33	1,00	<0,85	<6,2	<6,2	<0,38	<5,2	<1,6	<1,6	0,69	<2,4	<2,7	<0,29	7
As	<1,2	<1,2	<1,1	<0,95	<0,73	<1,2	0,73	0,64	0,66	<0,83	<0,83	<3,9	<3,9	<1,6	<2,3	<0,84	<0,84	<1,5	<1,1	<1,4	<1,4	3
Se	<4,2	<4,2	1,60	1,50	2,10	1,20	1,30	1,90	1,70	<1,7	<1,7	<2,9	<2,9	2,50	1,7	<1,4	<1,4	1,10	<1,1	<10,4	<1,4	10
Rb	51,3	50,5	48,3	51,8	51,5	50,4	50,7	52,5	51,7	50,1	49,0	108,0	50,0	50,4	50,6	49,8	49,0	49,4	50,4	48,6	54,2	21
Sr	20,3	20,4	20,1	20,5	20,50	20,1	20,5	21,0	21,0	20,0	18,6	42,2	19,6	20,1	19,10	18,8	18,9	19,3	19,6	20,4	22,0	21
Y	<0,04	<0,04	<0,04	<0,19	<0,21	<0,09	<0,08	<0,05	<0,05	<0,06	<0,06	<0,04	<0,04	0,01	<0,01	<0,07	<0,07	<0,04	<0,06	0,02	<0,04	2
Zr	<0,88	<0,46	<0,47	<0,57	<0,36	<0,49	<0,57	<4,8	<4,8	<0,53	<0,53	<0,56	<0,56	<0,65	<0,41	<0,25	<0,36	<0,65	1,20	<0,59	<0,88	1
Nb	<0,07	<0,08	<0,02	<0,10	<0,04	<0,07	<0,07	<0,38	<0,38	<0,06	<0,06	<0,09	<0,09	<0,06	<0,05	<0,04	<0,02	<0,04	<0,05	<0,07	<0,07	0
Mo	1,30	1,20	1,20	1,30	<2,5	0,71	1,20	1,20	1,20	0,65	1,00	2,60	1,20	1,10	1,40	1,10	1,20	1,00	1,20	1,30	1,40	20
Ag	<0,39	<0,39	<0,22	<0,05	<0,53	<0,27	<0,35	<1,1	<1,1	<0,24	<0,24	0,53	0,53	<0,16	<0,26	<0,38	<0,38	<0,20	<0,05	<0,29	<0,12	2
Cd	<0,36	<0,36	<0,05	<0,05	<0,16	<0,07	<0,08	<0,03	0,03	<0,1	<0,1	0,22	0,22	0,03	<0,03	0,23	<0,04	1,40	<0,03	<0,07	<0,04	6
Sn	0,19	<0,23	<1,1	<0,13	<0,05	<0,16	<0,06	<3,4	<3,4	<1,1	<1,1	<0,47	<0,47	0,05	<0,08	<0,12	<0,09	<0,24	<0,06	<0,08	<0,06	2
Sb	<0,19	<0,04	<0,03	<0,11	<0,05	<0,06	0,04	<1,1	<1,1	<0,09	<0,09	<0,14	<0,14	0,07	<0,1	<0,11	<0,28	<0,09	<0,25	<0,23	<0,12	2
Te	<0,34	<0,24	<0,13	<0,12	<0,14	<0,15	<0,15	<1,1	<1,1	<0,17	<0,17	<0,28	<0,28	0,18	<0,15	<0,08	<0,07	<0,19	<0,16	<0,22	<0,3	1
Cs	40,9	41,5	40,9	46,1	43,0	40,4	37,9	42,2	42,4	39,5	39,8	24,7	41,2	41,1	41,70	40,2	40,6	39,8	43,5	41,8	43,0	21
Ba	<0,25	<0,25	0,14	0,20	0,16	0,12	0,13	0,19	0,22	0,27	0,16	<1,3	<1,3	0,16	0,2	<0,48	<0,48	0,21	<0,25	0,35	<0,2	13
Ta	<0,12	0,03	<0,05	<0,06	0,1	0,02	<0,04	<0,55	<0,55	<0,09	<0,09	<0,14	<0,14	0,0	<0,05	<0,03	0,0	<0,04	<0,04	<0,1	<0,09	5
W	72,4	75,9	74,3	73,7	77,4	74,0	76,1	79,3	79,9	75,9	73,7	156,0	76,9	76,8	75,00	74,1	74,4	72,6	73,1	72,8	74,7	21
Hg	<0,89	<0,26	0,06	0,21	<0,21	<0,11	<0,18	<0,76	<0,76	0,24	<0,17	<0,50	0,50	0,82	<0,27	<0,14	<0,15	<0,28	<0,25	0,24	<0,19	6
Tl	0,07	<0,07	<0,05	<0,03	<0,08	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,17	<0,17	<0,21	<0,21	0,01	<0,05	<0,02	<0,02	<0,04	<0,01	<0,04	<0,05	2
Pb	<0,19	<0,19	0,40	<0,05	<0,08	<0,12	<0,09	<0,08	0,29	<0,32	<0,32	<0,65	<0,65	<0,05	<0,05	0,14	<0,08	<0,11	<0,57	<1,1	<0,1	3
Bi	<0,07	<0,07	<0,03	<0,04	<0,04	<0,03	<0,05	<0,03	<0,03	<0,20	<0,2	<0,12	<0,12	<0,04	<0,02	<0,06	<0,06	<0,06	<0,03	<0,16	<0,03	0
U	0,12	0,13	<0,15	0,12	<0,14	<0,26	0,12	0,13	0,13	<0,33	<0,33	0,28	<0,19	0,12	0,13	0,10	0,09	0,10	0,11	0,12	0,17	15

Apesar de haver poucos dados disponíveis destes elementos para a zona em estudo, apresentam-se nas Tabela IV.11(a) e Tabela IV.11(b) respetivamente os valores para as águas sulfúreas e águas não sulfúreas.

Tabela IV.11 (a) - Elementos secundários, em varias amostragens, para as águas sulfúreas.

Ponto de água	Ref. bibliográfica	Cavaca- CVC				Sezures (SZR)	Alcafache ALC			Sangemil SGM			Granjal GRJ (**)	
		DGGM	In Ferreira Gomes (2004)	GDTP (F3) (*)	GDTP (F3) (*)		DGGM (1992)	In Rebelo et al., 2014		DGGM (1992)	In Rebelo et al. 2014			
Elementos Secundários (µg/L)	Ag													
	Al	40		3,0	3,0	3,5		8,0	61,0		7,0	3,0	10,8	
	As	5,0		4,0	3,8		11,0	6,0	10,0		8,0	7,0		
	B			80	80	108	280	145	141	2123	857	843	1168	
	Ba		10					242	16		0,7	1		
	Be			0,4	0,7	0,40	0,6			0,5			0,19	
	Bi													
	Br	20	20				22,6	267	272	376				
	Cd						2							
	Co						0,1							
	Cd	0,2												
	Cr	5,2						6,0	2,0		7,0	7,0		
	Cs	30,0				89,0		123,6	126,4		257,8	274,9	43,0	
	Cu	62	20				2	1	21		1	1		
	Hg													
	Fe	25	80				112	5	89		5	11		
	Mn	3,9	10	9	13		10	6	5	6	9	6	2,2	
	Mo					13,0	7	5,6	5,5		2,2	2	1,4	
	Nb					0,22								
	Ni	8,2												
	Pb	20,5					6,0							
	Rb	30,0				57,0		54,6	55,3		94,4	108,8	54,2	
	Sb													
	Se					0,73					2,00	2,00		
	Sn													
	Sr	340	20	40	50	71		81	88		60	61	22	
	U							16,3	8,55		0,1	0,04	0,17	
	V					0,12					0,6	0,5		
W					36,0	51,0	68,3	56,3	92,0	142,5	148,1	74,7		
Y							0,1	0,1						
Zn	18,1	20,0					11,0	0,3	8,9	4,0	1,3	1,9		

(*)-Dados referentes à captações Furo 1- F1; Furo 2- F2 e Furo 3- F3. Elementos gentilmente cedidos pelo concessionário Caldas da Cavaca – Turismo e Termas, S. A. (**) última análise físico-química detalhada em 17-07-2012

Da análise das tabelas destaca-se que o facto dos parâmetros secundários apresentarem com mais frequência leituras abaixo do detetável, que será indicador também de menos tempo em interação com o maciço rochoso. Nesse sentido, é expectável que a água resultante da chuva, pela sua natureza, não contenha praticamente nenhum elemento secundário, contudo foram

detetados elementos de Zinco, Vanádio e Alumínio que indiciam a libertação dos metais na atmosfera e que em precipitação são “arrastados” para os sistemas aquíferos.

Tabela IV.11(b) - Elementos secundários, em algumas das águas não sulfúreas da Bacia do Rio Dão.

Ponto de água	Fail (FAI)	Tondela (Chuva) PVHQ	Santa C.Dão (chuva) PGRQ	Santa C.Dão BBQ	Fonte do Loreto CVQ	
	in Morais (2012)					
Elementos Secundários (µg/L)	Ag					
	Al		5,8	3,6	16	11
	As					
	B				7	33
	Ba				35,0	40,0
	Be				0,44	
	Bi					
	Br					
	Cd					
	Co					
	Cd					
	Cr	20				
	Cs		0,2		0,3	0,6
	Cu					
	Hg					
	Fe	8,8				
	Mn	100				
	Mo	18				
	Nb					0,16
	Ni					
	Pb					
	Rb				2,2	9,6
	Sb					
	Se				0,64	
	Sn					
	Sr				63,0	28,0
Tl					0,09	
V		0,11	0,10	0,21	0,40	
W						
Y				0,68	0,91	
Zn		4,10	5,50	3,70	6,30	

Genericamente, a concentração de Arsénio (As) nas águas subterrâneas é abaixo de 0,1 mg/L (Feitosa e Filho, 2002). Na bacia em estudo verifica-se que a água com maior teor em Arsénio é a das Termas de Alcafache- cerca de 11,00 µg/L. A sua origem poderá estar relacionada com a existência na proximidade das jazidas de metais.

Dos elementos secundários em análise o Boro (B) é o elemento mais representativo das águas sulfúreas da bacia do Rio Dão (Tabela IV.11(a)), em que todas as sulfúreas apresentam teores

em Boro significativos em que a água de Sangemil apresenta a maior concentração cerca de 2,12 mg/L (DGGM, 1992).

Em águas termais as concentrações de Césio (Cs) podem variar entre 300 µg/L e 700 µg/L (Lima, 2010). Na bacia do Rio Dão este elemento corresponde ao 2.º elemento mais representativo, com concentrações entre 30 µg/L na água sulfúrea da Cavaca e 266,35 µg/L em Sangemil, sendo que em termos de precipitação apresenta abaixo de quantificável (Tabela IV.11 (b)).

O Estrôncio (Sr) corresponde geralmente ao 3.º elemento mais representativo da componente vestigiária das águas sulfúreas da bacia do Rio Dão, a variar entre 340 µg/L em Alcafache e 22 µg/L no Granjal. Em termos de comportamento químico, este elemento é similar ao Cálcio e o Bário podendo substituí-los na composição das micas e dos feldspatos (Lima, 2010).

Quanto ao Manganês (Mn) que ocorre em quase todas as águas naturais em pequenas concentrações (Feitosa e Filho, 2002), as águas sulfúreas não são exceção registando-se teores entre 1,4 µg/L (sulfúrea do Granjal) e 13,00 µg/L (sulfúrea de Sezures).

O Rubídio (Rb) é um elemento essencialmente resultante da litologia, em que ocorre principalmente na zona mais superficial da crosta terrestre (Lima, 2010). Nas águas sulfúreas o Rubídio surge com concentrações entre 30 µg/L - Cavaca e 108,84 µg/L - Alcafache.

O Tungstênio (W) nas águas sulfúreas da Bacia do Rio Dão ocorre de forma significativa na componente secundária com teores entre 36,00 µg/L em Sezures e 148 µg/L na água das Caldas de Sangemil. Um dos minerais que se entende que contribui para a presença deste elemento nas águas é a volframite (Feitosa e Filho, 2002).

O Zinco (Zn) é considerado o mais solúvel entre os metais pesados (Feitosa e Filho, 2002). A água subterrânea em que se registaram maiores concentrações de Zinco foi a sulfúrea das Termas da Cavaca (18, 00 µg/L- DGGM, 1992).

Capítulo 5

GEOQUÍMICA APLICADA

5.1. Introdução

A natureza das nascentes de água morna, quente e muito quente suscitaram desde sempre a curiosidade da comunidade científica quanto à natureza do seu “percurso” subterrâneo.

Assim, tendo por base a interação água-rocha ao longo do circuito, a análise geoquímica da água surge como um método expedito e essencial numa primeira abordagem ao modelo conceptual do circuito subterrâneo.

Analisando a composição química da água face à natureza da litologia é possível fazer uma analogia com a interação água-maciço rochoso, ainda que deva ser encarada com algumas reservas, uma vez que as condições em que ocorrem as reações químicas em profundidade (de pressão e temperatura, por exemplo) são fatores que interferem com os processos de dissolução/precipitação de minerais- “na maioria dos casos, os minerais dissolvem-se tanto mais na água quanto mais quente for” (Calado, 2001).

A aplicação de métodos geoquímicos permite ainda obter valores estimados para a temperatura máxima que o recurso alcança ao longo do circuito- denominada de “temperatura de reservatório”, assim como a profundidade que se encontra o “reservatório”. Salienta-se uma vez mais que estes parâmetros devam ser utilizados numa abordagem de ordem de grandeza.

Em complemento aos métodos geoquímicos, por forma a contribuir para a indicação da origem da água e a idade utilizam-se como técnicas complementares a análise de elementos isotópicos.

À semelhança da metodologia aplicada em estudos de águas minerais de circuito extenso por Oliveira (2001), Calado (2001) e Morais (2012) recorreu-se à análise dos isótopos ambientais: ^2H -deutério, ^{18}O - oxigénio (estáveis) e ^3H - trítio (radioativo), sendo este último isótopo primordial para a estimativa do tempo de residência (entenda-se o tempo do percurso subterrâneo da água em contacto com o maciço).

A hidrologia isotópica representa um papel crucial na conceptualização dos modelos hidrogeológicos. A metodologia sobre utilização de isótopos estáveis da molécula da água consiste na definição com traçadores do fluxo ^2H e ^{18}O da molécula da água comparando os teores entre as várias fases do Ciclo Hidrológico (Marques *et al.*, 2012).

Contudo, a aplicação desta metodologia, em especial no caso das águas sulfúreas alcalinas, não é linear na medida em que os processos físico-químicos a que o recurso está sujeito no subsolo poderão originar desequilíbrios isotópicos, nomeadamente para temperaturas superiores a 60°C (Calado, 2001).

5.2. Geotermómetros: Indicadores Químicos de Temperaturas e Profundidades de Circuitos

As nascentes de água sulfúrea apresentam temperaturas na emergência superiores às outras águas na envolvente (freáticas), pelo que desde sempre a temperatura máxima daquele recurso alcança motivaram a comunidade científica.

Ao longo dos tempos, foram sendo desenvolvidas e aferidas equações, que relacionam as concentrações de elementos da composição química da água, como forma de estimar a temperatura máxima a que um determinado recurso alcança no seu percurso geohidráulico.

A aplicação dos geotermómetros origina resultados fiáveis em águas com estabilidade química, pelo que o método faz especial sentido para águas mais “especiais” - águas sulfúreas: Cavaca, Sezures, Alcafache, Sangemil e Granjal. Por forma a contribuir para a análise de diferenciação entre os vários sistemas aquíferos, foi feito o exercício de aplicação da mesma metodologia em que se empregam as equações a algumas das águas não sulfúreas (as que se dispõem resultados: Fail-FAI, Fonte do Loreto - CVQ e Santa Comba Dão-BBQ).

Na bibliografia são inúmeras as equações, metodologias e respetivas limitações na estimativa da Temperatura de Reservatório. Calado (2001) e Morais (2012) apresentaram algumas metodologias para vários sistemas aquíferos (incluindo para algumas nascentes sulfúreas).

Contudo, no presente trabalho foi desenvolvido o procedimento similar ao apresentado em Gomes da Costa *et al.* (2014), em que foram aplicadas equações que se baseiam na sílica e na relação de Na/K (tendo por base a composição química referida no item 3.4). Na Tabela V.1 são apresentadas as equações que foram aplicadas para obter as temperaturas de reservatório (Tr) apresentadas na Tabela V.2.

Em primeira análise dos resultados da Tabela V.2, verifica-se que existe uma convergência de resultados entre as equações baseadas na sílica em detrimento das que estimam em função da relação Na/K. Por outro lado, as equações baseadas no equilíbrio da sílica estimam as temperaturas mais baixas e as que estimam temperaturas mais consistentes (com menor variabilidade entre resultados).

Os resultados das temperaturas de reservatório gerados pela interação Na/K para as águas não sulfúreas eram incoerentes com o expectável (ora geram temperaturas negativas ou na ordem dos 400°C). Neste sentido, apenas se consideraram os resultados das equações que

usam como base a concentração de sílica, ainda que na certeza que a aplicação dos geotermómetros gera resultados mais consistentes em águas com mais mineralização.

Tabela V.1 - Equações de geotermómetros químicos utilizadas por Ferreira Gomes *et al.* (2014).

Geotermómetro	Equação		Limitações	Autor
Quartzo Condutivo (sílica)	1	$T = \frac{1309}{5.19 - \log[\text{SiO}_2]} - 273.15$	T= 0-250°C	Fournier (1981, 1991)
	2	$T = \frac{1164}{4.9 - \log[\text{SiO}_2]} - 273.15$	T=25-180°C	Arnórsson (1983)
Quartzo Adiabático (sílica)	3	$T = \frac{1522}{5.7 - \log[\text{SiO}_2]} - 273.15$	T=0-250°C	Fournier (1981, 1991)
	4	$T = \frac{1498}{5.7 - \log[\text{SiO}_2]} - 273.15$	T=25-180°C	Arnórsson (1983)
Na/K	5	$T = \frac{855.6}{\log\left(\frac{Na}{K}\right) + 0.8573} - 273.15$	T=100-275°C	Truesdell (1976 <i>in</i> Fournier 1981)
	6	$T = \frac{883}{\log\left(\frac{Na}{K}\right) + 0.78} - 273.15$	-	Tonani (1980 <i>in</i> Fournier 1991)
	7	$T = \frac{933}{\log\left(\frac{Na}{K}\right) + 0.993} - 273.15$	T=25-250°C	Arnórsson (1983)
	8	$T = \frac{1217}{\log\left(\frac{Na}{K}\right) + 1.483} - 273.15$	T>150°C	Fournier (1981, 1991)
	9	$T = \frac{1178}{\log\left(\frac{Na}{K}\right) + 1.47} - 273.15$	T=25-250°C	Nieva and Nieva (1987 <i>in</i> Fournier, 1991)
	10	$T = \frac{1390}{\log\left(\frac{Na}{K}\right) + 1.75} - 273.15$	-	Giggenbach (1988)

Tabela V.2 - Temperaturas de reservatório (T), em °C, estimadas obtidas a partir da composição química aplicada às equações da Tabela V.1.

Geotermómetro	Eq.	Águas sulfúreas					Águas não sulfúreas		
		Cavaca (CVC)	Sezures (SZR)	Alcafache (ALC)	Sangemil (SGM)	Granjal (GRJ)	Fail (FAI)	F. Loreto (CVQ)	F. S. Comba Dão (BBQ)
Quartzo Condutivo (sílica)	1	107,63	91,68	108,95	125,56	97,463	59,53	31,81	57,23
	2	96,64	79,80	98,04	115,74	85,889	46,22	17,68	43,83
Quartzo Adiabático (sílica)	3	107,57	93,78	108,70	122,88	98,796	65,47	40,51	63,42
	4	101,56	87,99	102,68	116,64	92,931	60,13	35,56	58,11
Na/K	5	109,21	63,56	74,75	97,88	57,56			
	6	135,58	85,25	97,54	123,04	78,66			
	7	119,96	75,41	86,39	108,96	69,50			
	8	151,87	111,16	121,34	141,97	105,64			
	9	140,13	100,38	110,31	130,45	94,99			
	10	170,89	131,66	141,53	161,40	126,29			
T. média das equações		124	92	105	124	91	58	31	56
T. provável de reservatório		106	92	108	116	98	60	35	57
T. de reservatório	Calado (2001)	105-156	90-?	112-156	120-168	108-?			
	Morais (2012)	87±8	74±14	82±3	102±2	87±22			

Ainda que os resultados estimados para a temperatura de reservatório devem ser encarados como indicativos, foi feita uma abordagem no sentido de comparar os resultados obtidos para as águas sulfúreas com os apresentados na bibliografia (Tabela V.2). Da Tabela V.2 verifica-se que os resultados obtidos por Morais (2012) se apresentem ligeiramente mais conservadores.

Calado (2001) salienta que mesmo os métodos que se baseiam na solubilidade de minerais primários, as temperaturas de reservatório geradas são mais conservadoras. É expectável que o recurso em profundidade seja mais mineralizado e que na ascensão perderá algum material dissolvido, além de que na ascensão podem circular águas menos mineralizadas e que diluem os elementos do recurso “principal”.

Para a determinação da temperatura provável do reservatório foram tidas todas as condicionantes anteriormente referenciadas, atendendo também ao fato das equações 1 e 3 da Tabela V.1 gerarem temperaturas muito próximas (por vezes com as mesmas unidades-Cavaca e Alcafache).

Associada à temperatura máxima que um determinado recurso alcança, importa também refletir sobre a que profundidade a que se encontra na condição de “temperatura máxima”. Para estimar a profundidade de reservatório serão avaliadas sob as perspetivas apresentada por Marques (1999) através da equação 5.1 e a de Calado (2001) através da equação 5.2 (assumindo que a temperatura aos 50 m é de 20°C):

$$P = \frac{T-T_0}{\Delta} \quad (5.1) \quad \text{e} \quad P = \frac{T-20}{\Delta} + 50 \quad (5.2)$$

sendo:

- T a temperatura de reservatório (°C), usando-se o valor provável, a partir dos diferentes métodos (Tabela V.2);
- T₀ é a temperatura (°C) que corresponde à ordenada na origem das regressões obtidas para cada caso de estudo, em termos de “Temperatura versus profundidade”, e que genericamente corresponde ao valor das ressurgências à superfície (Tabela III.2 e Tabela III.4);
- Δ é o gradiente geotérmico (°C/m).

Na Tabela V.3 apresentam-se os resultados da profundidade para as diversas águas minerais em análise usando o valor de 0,033°C/m como gradiente geotérmico médio (IGM,1999).

Os resultados obtidos na Tabela V.3 evidenciam que as temperaturas de reservatório estimadas para as águas sulfúreas se apresentam superiores às águas não sulfúreas, assim como as respetivas profundidades de reservatório são superiores nas águas sulfúreas do que nas águas não sulfúreas, pronunciando para as águas sulfúreas um circuito geohidráulico mais profundo.

Tabela V.3 - Elementos geotérmicos calculados para as águas sulfúreas e não sulfúreas da bacia.

	Águas Sulfúreas					Águas não sulfúreas		
	Cavaca	Sezures	Alcafache	Sangemil	Granjal	Fail	F. Loreto	F. BBQ SCD
Cota à superfície (m)	580	420	230	195	180	380	180	175
Temperatura da água à superfície (°C)	29,7	15,70	50,0	49,0	22,70	16,3	15,90	15,20
Caudal espontâneo (L/s)	0,20	0,05	1,40	1,00	1,40	0,15	0,03	0,25
Temperatura de reservatório (°C)	106	92	108	116	98	60	35	57
Profundidade de reservatório (m) (Equação 5.1)	2312	2312	1758	2030	2282	1324	579	1267
Profundidade de reservatório (m) (Equação 5.2)	2656	2232	2717	2959	2414	1262	505	1171
Profundidade de reservatório - Média (m)	2484	2272	2237	2495	2348	1293	542	1219
Arrefecimento na ascensão (°C)	76,3	76,3	58,0	67,0	75,3	43,7	19,1	41,8
Gradiente de arrefecimento (°C/m)	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,05	0,05	0,04

Da análise das profundidades obtidas (ainda que sejam indicativos) surgiu o exercício de estimar o “gradiente arrefecimento” desde o reservatório até à superfície, em que da análise dos elementos da Tabela V.4 verifica-se que em a água da Cavaca (sulfúrea) é a que mais “arrefece” no seu percurso e a de Alcafache a que menos arrefece (também a que se regista à superfície com maior temperatura).

Um outro método para estimar a profundidade do reservatório é através dos modelos de Rybach (1990) e que serão aplicados como grandezas comparativas ao procedimento anterior.

Os modelos experimentais de Rybach aplicam-se a circuitos geohidráulicos em que ocorram transferência de calor entre o reservatório e a superfície onde a água aflora.

A perda de calor é representada por uma variável adimensional - θ - e que se define como função da temperatura do reservatório (T_r), a temperatura de descarga (T_s), o caudal de descarga (Q), a Temperatura média do ar na região da emergência (T_E), a profundidade máxima (D_r), tendo em conta também a geometria através da equação (Rybach, 1990):

$$\theta = \frac{T_s - T_E}{T_r - T_E} = f(Q, D_r, geometria) \quad (5.3.2)$$

Para a geometria o método procura fazer uma analogia à arquitetura física do circuito de descarga do sistema aquífero, que se pode simplificar e traduzir como descarga sob efeito de “conduta plana” ou de “conduta cilíndrica”.

Assim, na Tabela V.4 constam os elementos prévios necessários para a aplicação dos métodos experimentais de Rybach (1990). Posteriormente são projetados os dados nos ábacos, sobre os quais são estimadas as profundidades máximas através da proximidade das curvas normalizadas (Figura V.1).

Tabela V.4 - Elementos de estimativa da profundidade máxima (Dr) a partir do método de Rybach (1990).

Águas sulfúreas	Q (L/s)	Ts (°C)	T _E (°C)	Tr (°C)	θ	Dr (m)
Cavaca	0,2	29,0	11,97	106	0,18	800
Sezures	0,05	15,7	11,97	92	0,05	3000
Alcafache	1,4	51,0	12,9	108	0,40	3400
Sangemil	1,0	48,5	12,3	116	0,35	3200
Granjal	1,4	22,7	13,2	98	0,11	1000

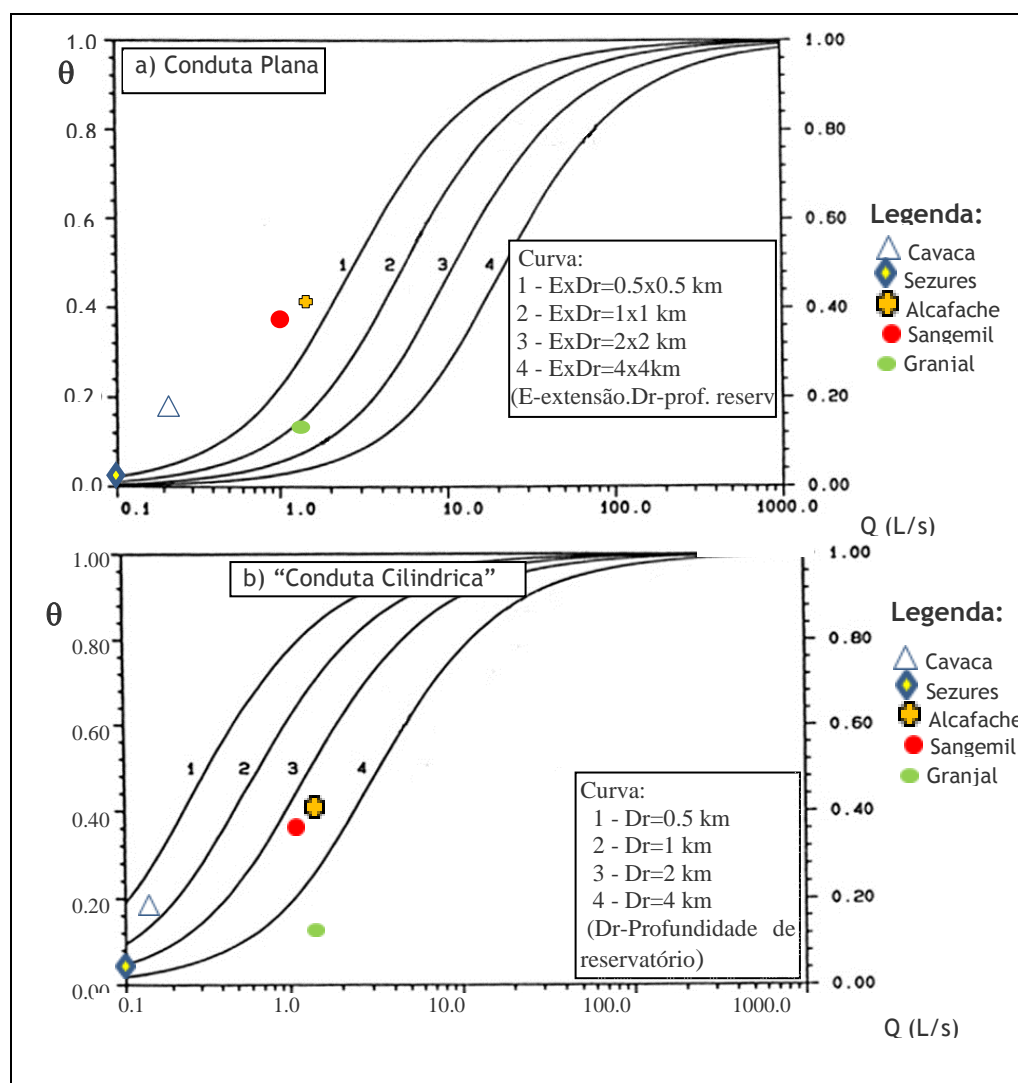


Figura 5.1- Projeções dos resultados dos métodos de Rybach para as águas sulfúreas.

Da análise da Figura 5.1 verifica-se que a projeção das águas sulfúreas é indicador que na bacia existem águas cuja representação se enquadra na circulação sob a forma de conduta planar (Granjal), enquanto as águas da Cavaca, Alcafache e Sangemil a projeção que melhor

representa o modelo é a “conduta cilíndrica”. Quanto à água de Sezures a projeção não é clara.

No geral, os resultados da profundidade são compatíveis com os estimados pelo modelo anterior, com exceção da água sulfúrea da Cavaca em que a metodologia anterior apontou para profundidades superiores (cerca de 2400m de profundidade). Entende-se que possa existir alguma divergência no modelo para caudais próximos de zero e em especial na projeção de conduta plana na representação das águas da bacia.

5.3. Radioatividade

Ainda que a atividade e extração de minério na área em estudo esteja desativada, dado o enquadramento litológico da bacia, é expectável que as águas minerais apresentem teores de radioatividade elevados.

Segundo Alberto Cerveira (1950) na bacia ocorrem alguns dos principais jazigos urânio-rádíferos que formam uma província metalogénica urnífera (desenvolvendo-se em parte em análise nos concelhos de Aguiar da Beira, Fornos de Algodres, Mangualde, Nelas e Viseu).

Por transposição de legislação comunitária, a legislação em vigor que regula a qualidade da água para consumo humano estabelece os valores paramétricos das substâncias radioativas presentes na água destinada ao consumo humano.

Nesse sentido, tendo em conta que as águas sulfúreas surgem associadas a unidades com aplicações terapêuticas (com a exceção de Sezures e Granjal) para cada um daqueles recursos existem monitorizações radiológicas quanto à radioatividade alfa total, beta total e trítio. Na Tabela V.5 apresentam-se os resultados da radioatividade alfa e beta totais referentes às captações da água sulfúrea Cavaca e do Granjal (captação profunda).

Tabela V.5 - Resultados dos parâmetros de Alfa total e Beta total referentes a águas sulfúreas da bacia em estudo (água de montante e de jusante)

Água Sulfúrea		Alfa Total (Bq/L)	BetaTotal (Bq/L)
Caldas da Cavaca (*)	Furo 2	0,324	0,418
	Furo 3	0,079	0,203
Granjal		0,0052	0,128
Valor Paramétrico (Bq/L)		0,500	1,000

(*) Elementos cedidos gentilmente pelo concessionário das Caldas da Cavaca – Turismo e Termas, S. A.

Tomando por base os resultados da água sulfúrea captada nas Caldas da Cavaca, em especial para a disponibilidade de Alfa total, é expectável que o potencial energético do maciço envolvente às captações seja superior ao maciço envolvente do Granjal.

Contudo, os dados publicados sobre os resultados de Alfa total e Beta total são escassos para a bacia, pelo que em estudos futuros poder-se-á complementar a informação no sentido de caracterizar o potencial energético do maciço granítico da bacia do Rio Dão de origem radioativa.

5.4. Hidrologia Isotópica

O estudo da composição isotópica de uma amostra de água possibilita o esboço do trajeto daquela água que teve origem numa massa de vapor de água, que precipita e que servirá de recarga a um sistema aquífero mais ou menos extenso.

Após compilação dos dados bibliográficos existentes geralmente associados à circulação das águas minerais (da Cavaca, de Sangemil e de Alcafache), foram selecionados alguns pontos de água que teria interesse complementar a recolha de amostras para análise de isótopos por forma a ter representatividade de todas as fases de circulação que a água que circula na bacia (precipitação, águas não sulfúreas e águas sulfúreas).

Os isótopos ambientais (^2H - deutério, ^{18}O e ^3H - trítio) são geralmente utilizados para estimar a origem e a idade da água, tendo sido estas espécies isotópicas que mais contribuíram para o presente trabalho.

Salienta-se que na análise dos resultados será necessário considerar que o recurso está sujeito a pressões elevadas, processos biológicos e físico-químicos, por vezes a temperaturas de reservatório superiores a 100°C , fatores que no conjunto potenciam as reações com os minerais (por vezes radioativos) que constituem o maciço rochoso envolvente e que interferem com os resultados obtidos pelos “traçadores” isotópicos (Calado, 2001).

5.4.1. Origens e idade da água- Resultados de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$

A metodologia utilizada dos parâmetros isotópicos estáveis baseou-se na utilização dos resultados sob a forma de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ expressos relativamente ao padrão internacional V-SMOW, que reflete a composição isotópica média dos oceanos que representam o início e fim do ciclo Hidrológico (Marques *et al.*, 2007).

A correlação linear entre as concentrações de ^{18}O e ^2H foi definida por Craig H. em 1961 (*in* Clark e Fritz, 1997) em para as águas meteóricas mundiais (águas resultantes da precipitação) é representada pela equação:

$$\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10 \quad (5.4.1)$$

Contudo, Carreira *et al.* (2015) com base no registo sistemático da composição isotópica das águas de precipitação em várias estações meteorológicas de Portugal Continental

estabeleceram que a correlação para Portugal Continental é definida aproximadamente pela equação:

$$\delta^2\text{H} = 6,6 \delta^{18}\text{O} + 3,0 \quad (5.4.2)$$

Assim sendo, é expectável que as amostras de água de recolhida da precipitação ao longo da bacia apresentem teores de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ próximos da reta definida pela equação 5.4.2 denominada por Carreira *et al.* (2015) por “Reta das águas meteóricas de Portugal Continental”.

À semelhança dos capítulos anteriores, as águas em estudo da bacia foram agrupadas por zona da bacia de acordo com o seguinte:

- Água de chuva:
 - zona de montante- Cavaca -PAG
 - zona intermédia- Tondela- PVHQ
 - zona de jusante- Granjal -PGRQ
- Águas não sulfúreas:
 - zona de montante- Cavaca (Cortiçada)- FCR;
 - zona intermédia- Sangemil (Beijós)- FSG, Alcafache nascente - AL1 -C, Sangemil (média) SA4
 - zona de jusante- Fonte do Loreto- CV, Fonte da Bica - BB, Granjal freática- FGR
- Águas sulfúreas:
 - zona de montante- Cavaca -CVC, Sezures -SZR
 - zona intermédia- Alcafache -ALC, Sangemil-SGM
 - zona de jusante- Granjal -GRJ

Os resultados das amostras recolhidas para análise das reações isotópicas apresentam-se na Tabela V.6, assim como constam também os elementos apresentados na bibliografia para algumas das águas da bacia do Rio Dão. Em anexo são apresentados todos os elementos referentes a cada uma das amostras acima referenciadas.

Na Figura 5.2 representa-se graficamente a relação dos isótopos ^2H , ^{18}O para as águas não sulfúreas da bacia (água da chuva e água não sulfúrea), na qual se representou a “reta das águas meteóricas de Portugal Continental”- RAM-PC, a “reta das águas meteóricas mundiais”- RAM-M.

Da análise da Figura 5.2 verifica-se que existe uma aproximação da composição isotópica em ^{18}O e ^2H das águas da bacia com a reta das águas meteóricas de Portugal Continental.

Na projeção das águas da chuva salienta-se um ligeiro enriquecimento em ^{18}O na água PGR, menos na água PVH, em relação à reta RAM-PC que pode estar associado a fenómenos de evaporação na amostra dada época em que foi feita a colheita.

Tabela V.6 - Resultados da amostragem isotópica efetuada no âmbito do presente estudo, incluindo alguns resultados de alguns recursos referenciados na bibliografia para a bacia do Rio Dão.

Tipo de água	Zona da Bacia	Ponto de água	$\delta^{18}\text{O}$ V-SMOW (‰)	$\delta^2\text{H}$ V-SMOW (‰)
Água da chuva	Montante	PAG	-5,37	-35,0
	Intermédia	PVH	-3,58	-25,3
	Jusante	PGR	-2,46	-19,5
Água não sulfúrea	Montante	FCR	-6,11	-35,2
	Intermédia	FSG	-5,12	-29,6
		AL1 C **	-5,66	-38,0
		SA4**	-5,36	-32,7
	Jusante	CV	-4,81	-24,1
		BB	-5,27	-27,1
FGR		-5,04	-27,0	
Água sulfúrea	Montante	CVC (*)	-7,29	-46,6
		SSZ	-6,86	-42,6
	Intermédia	ALC*	-6,12	-39,8
		SGM *	-5,48	-36,8
	Jusante	AQ1	-5,93	-31,7

(*) Dados de Morais (2012); (**)Dados de Calado (2001).

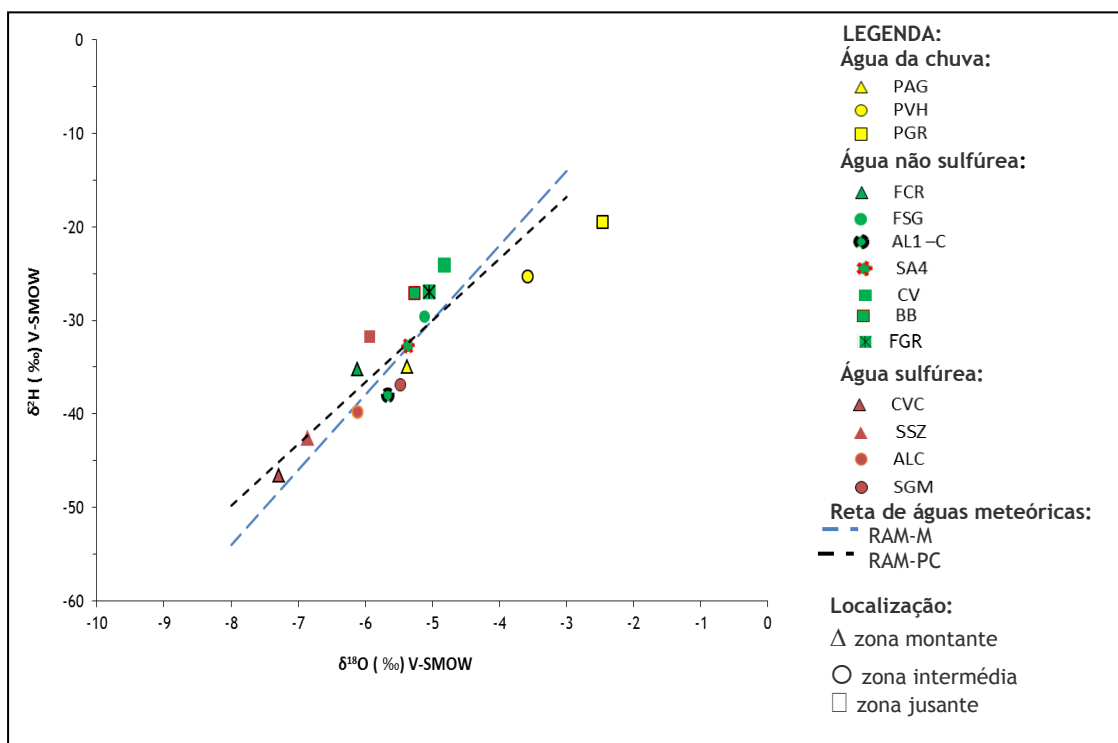


Figura 5.2 - Relação entre $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ para as águas dos diferentes sistemas aquíferos da Bacia do Rio Dão.

Da análise do gráfico da figura 5.2 destaca-se ainda o enriquecimento de isótopos pesados de ^{18}O e de ^2H no sentido de montante para jusante da bacia nas águas não sulfúreas e sulfúrea.

Um dos exercícios apresentado por Sousa Oliveira (2001) consiste na estimativa das zonas de recarga dos sistemas hidrominerais através da projeção da composição isotópica ^{18}O e ^2H das águas minerais associadas na reta de regressão linear da composição isotópica em ^2H ou ^{18}O

das águas subterrâneas subsuperficiais (freáticas) e/ou da chuva versus altitude de ocorrência.

Na Figura 5.3 representa-se graficamente a composição isotópica ^{18}O e ^2H da bacia em função da altitude de emergência das nascentes de águas não sulfúreas.

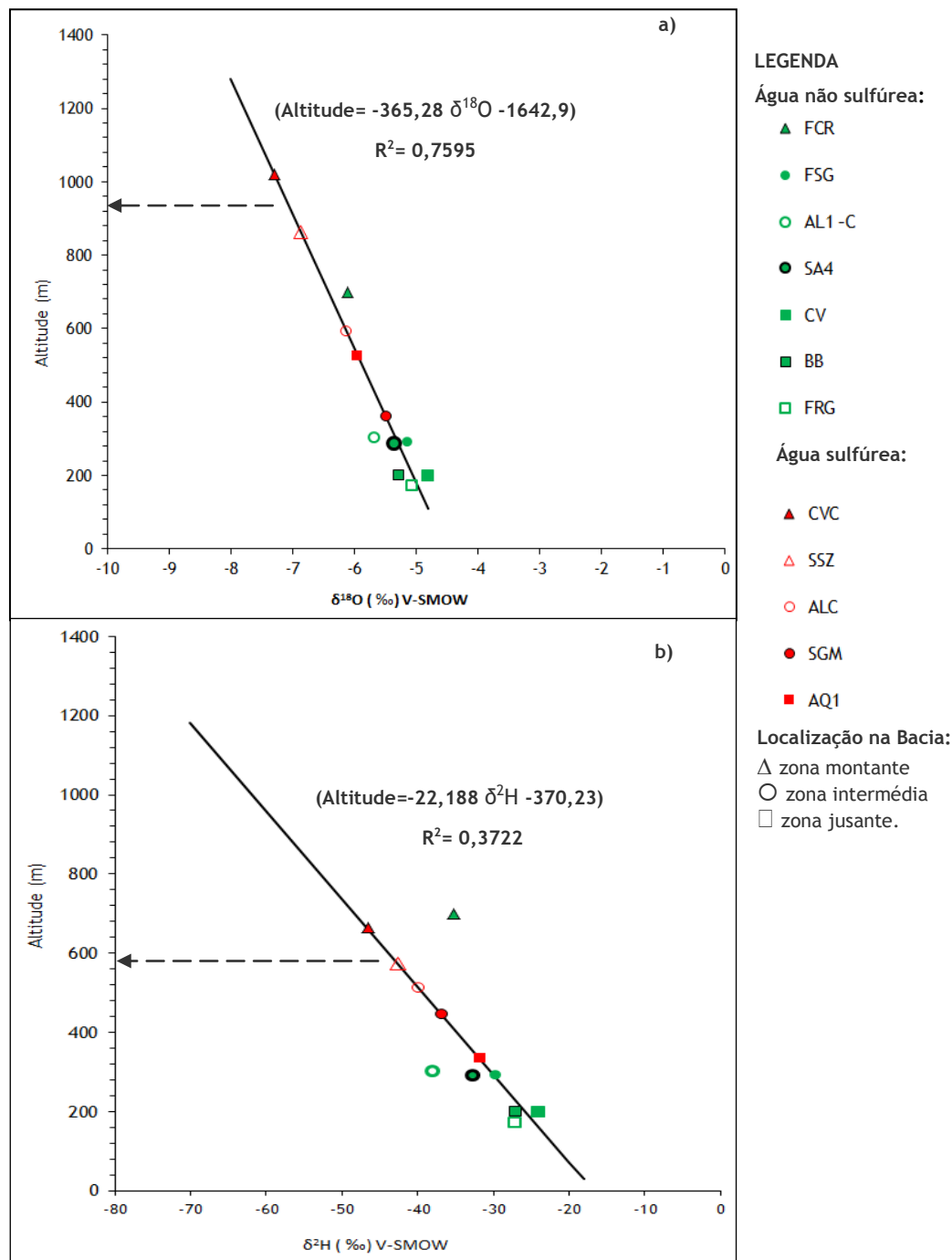


Figura 5.3 - Composição isotópica em ^{18}O (a) e ^2H (b) em função da altitude das nascentes de água não sulfúrea.

Em sequência projetaram-se sobre a reta de regressão linear, as composições referentes às nascentes de água sulfúrea, obtendo-se a altitude a que num meio homogéneo corresponderia aquela composição isotópica (Tabela V.7).

Tabela V.7 - Relação entre a composição isotrópica das águas não sulfúreas e a cota média das zonas de recarga (teórica).

Zona da Bacia	Ponto de água	Altitude na envolvente imediata (m)	Altitude com base na projeção de ^{18}O (m)	Altitude com base na projeção de ^2H (m)
Montante	CVC	580	1020	664
	SSZ	420	863	575
Intermédia	ALC	230	593	513
	SGM	195	359	446
Jusante	AQ1	180	523	333

Da análise da Tabela V.7 verifica-se que a zona de recarga para cada uma das águas sulfúreas é afastado da respetiva nascente na medida as “altitudes teóricas” na bacia ocorrem a vários quilómetros de distância.

À semelhança do método apresentado por Marques *et al.* (2007) que aplica a hidrologia isotópica na avaliação de alguns recursos hidrominerais, pretende-se seguir o mesmo método, por forma a testar o método para a bacia do Rio Dão. Assim sendo com o intuito de avaliar a possibilidade de mistura entre sistemas avaliou-se a relação entre o ião Cloreto (Cl^- em mg/L) e $\delta^{18}\text{O}$ através da representação gráfica (Figura 5.4)

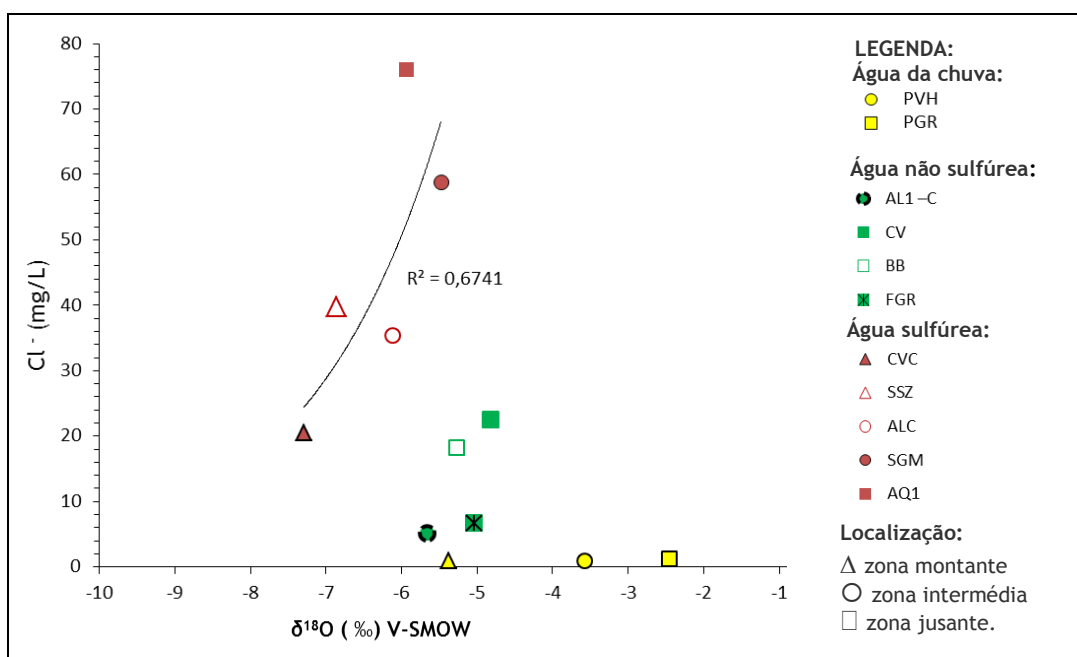


Figura 5.4 - Relação entre o teor do ião Cloreto- Cl^- (mg/l) e $\delta^{18}\text{O}$ para as águas dos diferentes sistemas aquíferos da Bacia do Rio Dão.

Da análise da Figura 5.4 salienta-se o enriquecimento em Cl^- ocorre preferencialmente de montante para jusante, em paralelo com o enriquecimento em ^{18}O . Isto, em conjunto com o que se apresenta nas figuras 5.2 e 5.3, parece sugerir a existência de um conjunto de sistemas hidrominerais interligados por um grande circuito geohidráulico, com aumento da mineralização para jusante da bacia, onde cada um dos polos hidrominerais aqui presentes recebe contribuições de recarga quer de sistemas localizados mais a montante e regionais,

quer de áreas de recarga localizadas a uma escala mais próxima e particular do sistema hidromineral específico.

5.4.2. Origens e idade da água - Resultados de Trítio (^3H)

A concentração de trítio nas águas permite estimar sobre a recarga ativa do sistema, isto é, presumir a “idade” das águas e a duração do circuito subterrâneo, assim como avaliar a eventual mistura entre águas com o circuito curto e águas de circuito mais longo nas quais se enquadram as águas sulfúreas.

Os teores de trítio são expressos em unidades de trítio (UT- uma unidade de trítio corresponde à razão $^3\text{H}/^1\text{H}$).

A origem do trítio na precipitação é resultado natural da reação entre neutrões e as partículas existentes na atmosfera (núcleos de átomos de azoto). Contudo, as experiências termonucleares realizadas a partir de 1952, os produtos da indústria nuclear (centrais nucleares, fábricas de combustível) e alguns produtos de consumo (lâmpadas, tintas) contribuíram para que o equilíbrio de trítio na atmosfera fosse alterado. Ainda assim, desde 1963 tem-se registado um decréscimo da concentração de trítio na atmosfera no hemisfério Norte.

Os valores em trítio obtidos para vários pontos da Bacia do Rio Dão são os que constam da Tabela V.8, sendo que apresentam-se também os dados referenciados na bibliografia.

À semelhança dos itens anteriores as águas foram agrupadas da seguinte forma:

- Água da chuva:
 - zona de montante- Cavaca -PAG
 - zona intermédia- Tondela- PVHQ
 - zona de jusante- Granjal -PGRQ

- Água não sulfúrea:
 - zona de montante- Cavaca (Cortiçada)- FCR,
 - zona intermédia- Sangemil (Beijós)- FSG, Alcafache nascente - AL1 -C
 - zona de jusante- Fonte do Loreto- CV, Fonte da Bica- BB, Granjal freática- FGR

- Água sulfúrea:
 - zona de montante- Cavaca -CVC, Sezures -SZR
 - zona intermédia- Alcafache -ALC, Sangemil-SGM
 - zona de jusante- Granjal -GRJ

Os resultados obtidos do Trítio para a nascente BB (Santa Comba Dão) consideram-se anómalos e naturalmente não representam o sistema aquífero. Julga-se que aqueles resultados sejam consequência da atividade da unidade médica de diagnóstico (com inúmeros equipamentos de radiologia) instalada durante muitos anos na envolvente que poderá estar na origem de contaminação/desfasamento.

Tabela V.8 - Resultados da amostragem de Trítio -³H, incluindo alguns resultados de alguns recursos referenciados na bibliografia para a Bacia do Rio Dão

Zona da Bacia	Tipo de água	Ponto de água	³ H (UT)	Tipo de água	Ponto de água	³ H (UT)	Tipo de água	Ponto de água	³ H (UT)
Montante	Água da chuva	PAG	3,1±0,4	Água não sulfúrea	FCR	0,5±0,4	Água sulfúrea	CVC (*)	0,85±0,8
								SSZ	0,0±0,6
Intermédia		PVH	1,4±0,4		FSG	2,1±0,4		ALC (*)	0,0 ±0,7
					AL1 -C (**)	0,0		SGM (*)	0,0±0,6
Jusante		PGR	0,9±0,4		CV	0,9±0,4		AQ1	0,0±0,4
					BB	14,8±0,5			
	FGR			0,9±0,4					

(*) Dados de Morais (2012); (**)Dados de Calado (2001).

As concentrações em trítio nas águas subterrâneas permitem de um modo geral, estimar em termos qualitativos a “idade” das águas e/ou indicador de misturas entre águas “recentes” e “submodernas” (Clark e Fritz, 1997):

- < 0,8 UT- águas submodernas-recarga anterior a 1952;
- 0,8 a ≈ 4 UT- mistura entre águas submodernas e águas recentes;
- 5 a 15 UT- águas recentes (com cerca de 5 a 10 anos);
- 15 a 30 UT- águas com presença de algum trítio “termonuclear”;
- >30 UT- águas com considerável componente de recarga na década de 60 ou 70;
- >50 UT- águas cuja recarga se efetuou predominantemente na década de 60.

O enriquecimento em trítio das águas de circulação profunda em que apresentam valores de ³H próximos de 0 (zero) é indicador que recarga é anterior a 1952.

O fato das águas sulfúreas da bacia do Rio Dão apresentarem valores de trítio próximos de 0 (zero), com exceção da água sulfúrea da Cavaca, sugere que a existir alguma mistura com água subterrânea da região envolvente à respetiva nascente, essa mistura deverá ter ocorrido antes de 1951.

Das Figuras 5.5 e 5.6 em que são apresentadas as relações entre ³H vs ¹⁸O e ³H vs Cl⁻ (este parâmetro é utilizado como traçador de fluxo) destaca-se que o enriquecimento de ¹⁸O nas águas sulfúreas, quer o aumento do teor de Cl⁻ (no sentido de montante para jusante), não resulta da mistura de águas de superfície uma vez que as águas sulfúreas se apresentam mais “ligeiras” que as não sulfúreas.

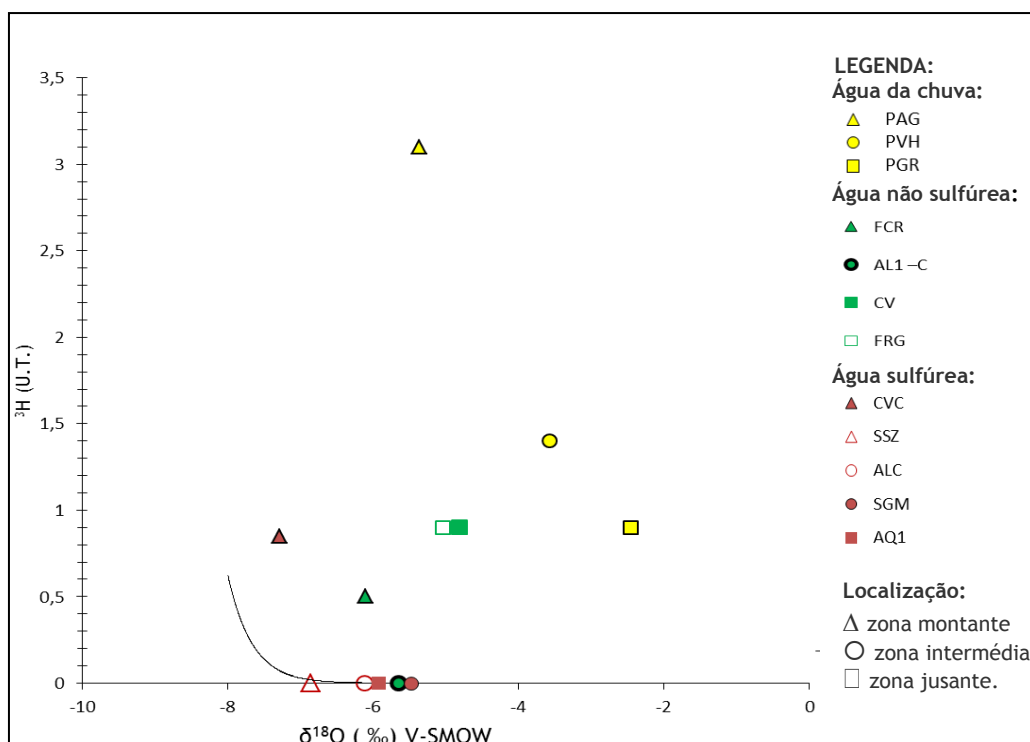


Figura 5.5 - Relação entre o trítio ^3H e o ^{18}O para as águas em estudo da Bacia do Rio Dão.

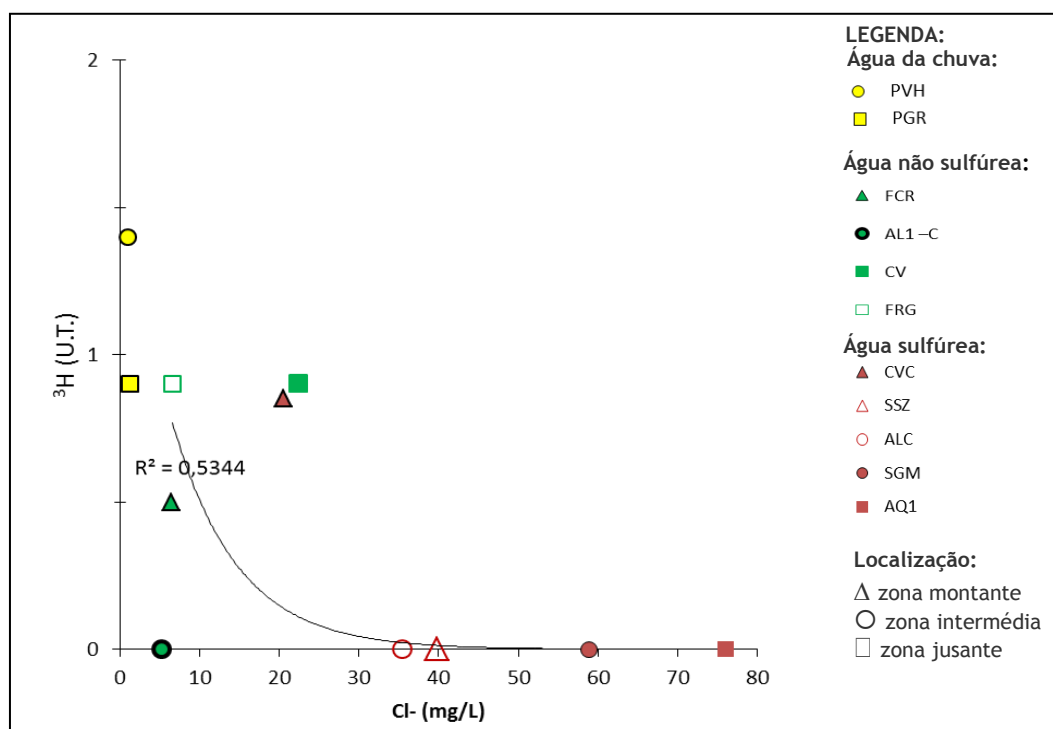
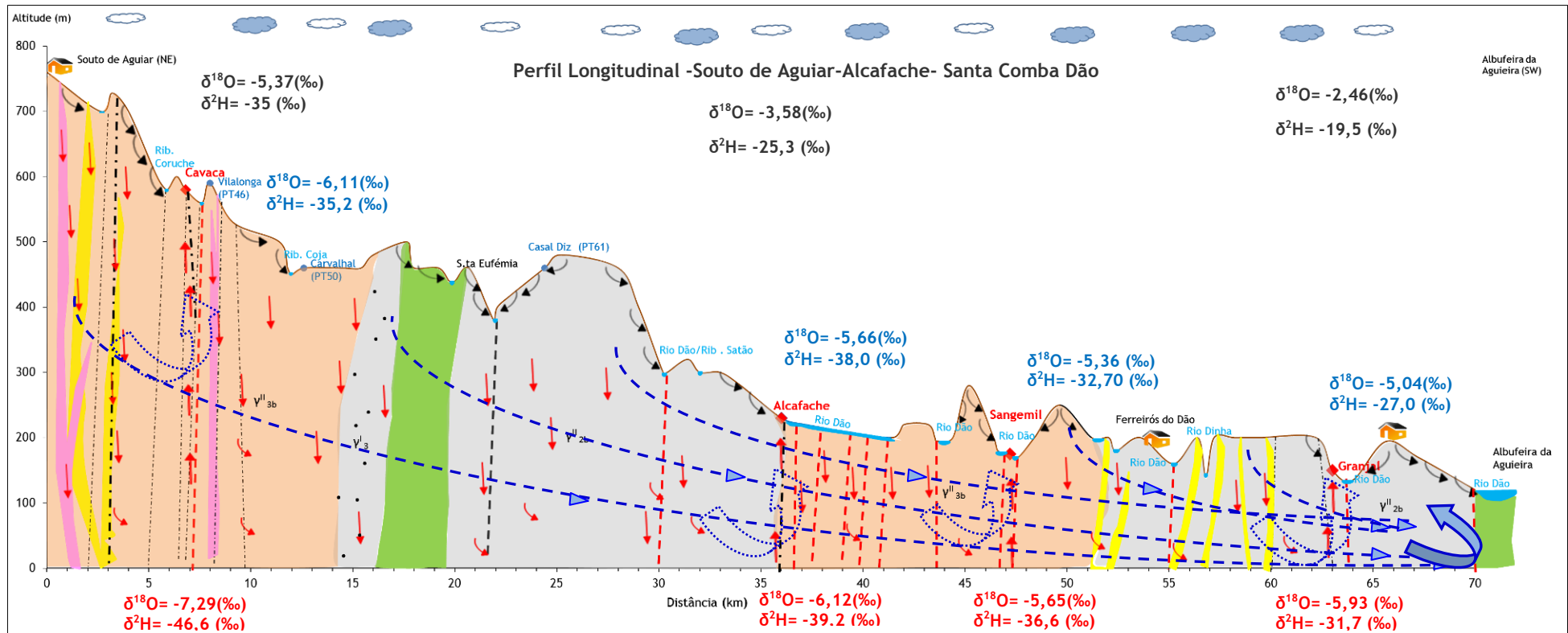


Figura 5.6 - Relação entre o trítio ^3H e o teor de Cl^- (mg/l) para as águas dos diferentes sistemas aquíferos da Bacia do Rio Dão.

Por forma a visualizar todas as componentes isotópicas das águas da bacia, na Figura 5.7 é apresentado um perfil longitudinal da bacia indicando para cada ponto de água a respetiva componente isotópica.



- Granito monzonítico porfiroide (γ^{II}_{3b})
- Granito de duas micas indiferenciado (γ^I_3)
- Granito porfiroide (γ^{II}_{2b})
- Elem. Complexo Xisto-Graváquico (Form. Rosmanihal)
- Estruturas filonianas (quartzo e doleríticos)
- Nascentes de água sulfúrea (ex: Cavaca)
- Nascentes de água superficial (com referencia ao levantamento de pontos de água ex: Casal Diz - PT 61- "ponto n.º 61")
- Fluxo provável de água de circulação profunda
- Fluxo de água superficial
- Falhas e/ou lineamentos tectónicos
- Orientação de fluxo subterrâneo, através do contributo da hidrologia isotópica

Figura 5.7 - Perfil longitudinal com as características dos isótopos referenciados nos vários tipos de circulação (chuva, não sulfúrea e sulfúrea).

Tomando por base o perfil hidrológico apresentado na Figura 2.12, pretendeu-se representar o contributo da análise isotópica anteriormente descrita.

Ainda que a contribuição dos isótopos indica que as águas sulfúreas (com os parâmetros indicados a vermelho) são mais “ligeiros” do que as águas não sulfúreas que ocorrem na sua envolvente. Além disso, verifica-se que no sentido de montante para jusante existe um enriquecimento quer em valores de ^{18}O quer em ^2H , o que se considerarmos o exercício expresso na Figura 5.3, é possível atribuir as zonas de recarga para cada uma das águas sulfúreas. Desta projeção salienta-se que a água da Cavaca terá zonas de recarga fora da Bacia, ou eventualmente com contributo da vertente da serra do Caramulo cuja geomorfologia numa primeira fase não parece sustentar.

Da análise do perfil longitudinal da Bacia do Rio Dão é perceptível que a zona preferencial de “descarga” do sistema aquífero das águas sulfúreas será a região de contacto entre os granitoides e o complexo Xisto- Grauváquico. Neste sentido, seria expectável que os parâmetros estimados através dos geotermómetros gerassem resultados para que a água do Granjal fosse a que apresentasse o circuito mais extenso, mais profundo e conseqüentemente com maior temperatura de reservatório. Contudo, os resultados da Tabela V.3 apontam para que seja a que, dentro das que ocorrem na margem direita, a que se estima com menor temperatura.

Saliente-se que a metodologia associada ao cálculo das temperaturas de reservatório é baseada no teor de sílica e em análise com os dados da água do Granjal tem-se que apresenta valores muito inferiores à de Sangemil (com temperatura de reservatório máxima).

Na zona de contacto geológico entre os granitos e o Complexo Xisto Grauváquico é possível que exista um aumento de pressão (resultante da carga hidráulica) e que favoreça a interação água-rocha. A principal reação química associada é a hidrólise dos silicatos (em que a sílica recombina-se com o potássio, ou com o magnésio por exemplo, precipitando sob a forma de argilominerais).

Saliente-se que este processo ocorre em simultâneo com a subida do recurso à superfície que vai “perdendo” teor em sílica e arrefecendo nas várias fraturas de encaminhamento (modelo de descarga planar dos modelos de Rybach).

Capítulo 6

ELEMENTOS DA MODELAÇÃO NUMÉRICA

6.1. Elementos de Base

6.1.1. Porosidade

A porosidade (η) de um solo ou rocha é a relação o volume de vazios e o volume total (Mendes, 2009):

$$\eta = \frac{V_v}{V_t} \dots\dots\dots (6.1)$$

em que V_v representa o volume de vazios e V_t o volume total.

Na hidrogeologia é útil a utilização da terminologia da porosidade efetiva que pretende definir como sendo a quantidade de água drenada por unidade de volume, isto é:

$$\eta_e = \frac{V_d}{V} \dots\dots\dots (6.2)$$

em que V_d representa o volume de água drenada graviticamente e V representa o volume total.

Na Tabela VI. 1 apresentam-se os valores de porosidade e porosidade efetiva para os tipos litológicos (maciço granítico e do complexo Xisto-Grauváquico) que irão ser considerados na conceptualização do modelo hidrogeológico da Bacia do Rio Dão.

Tabela VI.1 - Valores característicos da porosidade e porosidade efetiva para alguns tipos de litologia (Lencastre e Franco, 1992).

Litologia	Porosidade- η (%)			Porosidade Efetiva- η_e (%)			Observações
	Média	Normal		Média	Normal		
		Max.	Min.		Max.	Min.	
Rochas eruptivas plutónicas (Granito)	0,3	4	0,2	0,2	0,5	0,0	η e η_e aumentam com a meteorização
Rochas metamórficas	0,5	5	0,2	0,5	2	0,0	

6.1.2. Condutividade hidráulica

A condutividade hidráulica expressa a capacidade de um meio ser “condutor” hidráulico, isto é permitir a passagem de água em maior ou menor vazão por unidade de área (LNEG, 2010). A condutividade hidráulica é condicionada não só pelas características do meio mas também depende das propriedades do fluido (viscosidade, peso específico, etc.).

Henry Darcy, em 1856 (Feitosa e Filho, 2002) estabeleceu que o escoamento entre dois pontos, em meios porosos é traduzido pela expressão (Lei de Darcy):

$$Q = K A \frac{dh}{dl} \dots \dots \dots (6.3)$$

em que:

- K é o coeficiente de proporcionalidade ou **condutividade hidráulica**;
- A é a área da seção transversal;
- dh representa diferença de cargas hidráulicas;
- dl corresponde à distância entre dois pontos.

A quantificação da condutividade hidráulica pode ser obtida através de ensaios de campo (ensaios de caudal), protótipos em laboratório ou calculada através de fórmulas.

Para a Bacia do Rio Dão, na zona mais a jusante, Gomes da Costa (2011) realizou um ensaio de caudal na zona mais a jusante da Bacia em que a condutividade hidráulica obtida foi de $K = 1,41 \times 10^{-6} \text{ m/s}$. O resultado obtido para este ensaio está de acordo com os parâmetros característicos apresentados por Mendes (2010) que enquadra a condutividade hidráulica das rochas ígneas fraturadas entre 10^{-8} e 10^{-4} m/s .

Para as áreas da Bacia do Rio Dão, onde predominam os elementos do Complexo Xistograuváquico, a condutividade hidráulica considerada é de $1,0 \times 10^{-13} \text{ m/s}$ de acordo com parâmetros característicos em Brito (2011).

6.1.3. Coeficiente de armazenamento

O coeficiente de armazenamento representa a capacidade de um aquífero armazenar e/ou transmitir água (Lencastre e Franco, 1992).

O coeficiente de armazenamento para os aquíferos livres é similar ao da porosidade eficaz (com valores teóricos na ordem dos 0,01 e 0,04). Em aquíferos confinados o coeficiente de armazenamento é muito inferior ao da porosidade eficaz, traduzindo-se por valores entre 10^{-3} e 10^{-6} (LNEG, 2010).

6.1.4. A recarga aquífera

Consultando o glossário *on line* do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG, 2010), a recarga aquífera é “*um processo natural ou artificial através do qual um aquífero recebe água proveniente do ciclo hidrológico de forma direta, ou indiretamente através de outra formação, lago ou rio. A recarga natural depende fundamentalmente do regime pluviométrico e do equilíbrio que se estabelece entre a infiltração, o escoamento e a evaporação*”.

Neste sentido, para a otimização da exploração das águas subterrâneas importa avaliar o potencial da recarga aquífera (Mendes, 2010).

Para a otimização da extração das águas subterrâneas um dos fatores determinantes é a análise do potencial da recarga aquífera; neste sentido Mendes (2010) apresenta algumas das metodologias que permitem estimar a quantificação da recarga aquífera através de:

- Medições diretas;
- Métodos de balanço hidrológico;
- Métodos baseados na lei de Darcy;
- Técnicas envolvendo traçadores;
- Fórmulas empíricas.

Tendo em conta os dados disponíveis, para a estimativa da recarga aquífera para a Bacia do Rio Dão serão utilizados os dados do Balanço Hidrológico e a partir do balanço dos cloretos (traçador químico).

6.1.4.1. Estimativa da recarga através do Balanço Hidrológico

O balanço hidrológico da bacia do Rio Dão foi efetuado no capítulo 2 considerando várias áreas da bacia: Montante, Intermédia-Montante, Intermédia-Jusante, e Jusante). Dos resultados obtidos, destaca-se a ocorrência em todas as áreas, de um período seco (traduzido pelos défices hídricos: de Junho a Setembro, com máximo em Agosto), e um período húmido (caracterizado pelo superavit hídrico: Outubro a Maio do ano seguinte, registando-se o máximo de água em Dezembro).

Sendo que no período húmido, o superavit (SH) pode ser traduzido como sendo composto por duas parcelas: o escoamento superficial (R) e o escoamento subterrâneo (G), (Mendes 2010):

$$SH = R + G \dots\dots\dots(6.5)$$

Os excedentes anuais (SH) entre 232 mm (zona intermédia montante) e 523 mm (zona intermédia de jusante) sugerem à partida uma modesta recarga aquífera, no entanto ao longo de toda a bacia ocorrem essencialmente granitoides muito fraturados e por vezes alterados, e estruturas filoneanas, que associados a declives, em geral, suaves e cobertura vegetal significativa, promovem o processo de infiltração e a consequente recarga em profundidade.

Considerando a relação “G/SH” de 35% típica para este tipo de maciços rochosos (Soeiro,2009 e Marcos, 2016), corresponde a uma taxa de infiltração entre 81 e 183 mm/ano de recarga para as reservas aquíferas. Aqueles valores correspondem a uma taxa média de 13% em relação à precipitação total anual, estando de acordo com que é comum em outras regiões graníticas (Gomes da Costa, 2011).

6.1.4.2. Estimativa da recarga através do Balanço dos Cloretos

A estimativa da recarga aquífera através do teor dos cloretos tem por base a aplicação da equação (adaptado de Custodio e Llamas, 2001, *in* Mendes 2010):

$$\frac{I}{1000} C_i = \frac{(P - E_s)}{1000} C_p + a_s - a_v + a'_v \quad \dots\dots (6.6)$$

em que:

- I - infiltração (mm);
- P- precipitação (mm);
- Ci- teor de cloretos nas águas subterrâneas (mg/L);
- Cp- teor de cloretos na água da chuva (mg/ L);
- Es- Escoamento superficial (mm);
- a_s- quantidade de cloretos lixiviados do solo ou de origem artificial (g/m²/ano) ;
- a_v- retenção dos cloretos pela vegetação (g/m²/ano);
- a'_v- devolução de cloretos pela decomposição da vegetação que morre (g/m²/ano).

Considerando como Mendes (2010), em que a quantidade de lixiviados do solo é nulo (a_s =0) e existe equilíbrio entre a decomposição e formação de matéria orgânica (a_v= a'_v) a expressão anterior poderá ser simplificada, tomando a forma de:

$$\frac{I}{P} = \left(1 - \frac{E_s}{P}\right) \times \frac{C_p}{C_i} \quad \dots\dots (6.7)$$

Para o Escoamento superficial- Es- foi considerada a relação apresentada no balanço hidrológico entre o superavit (SH) e o escoamento subterrâneo (G) de 35% (“G/SH”= 0,35). Aplicando a equação 6.2 obtêm-se os resultados apresentados na Tabela VI.II para as várias áreas da bacia.

Analisando os resultados obtidos pela equação do balanço dos Cloretos destaca-se que os valores da Infiltração vão de encontro ao resultado estimado pelo Balanço Hidrológico, correspondendo a uma correlação de aproximadamente 13% da precipitação.

Tabela VI.2 - Infiltração (I) obtida a partir de vários parâmetros envolvidos no balanço dos cloretos para as várias áreas da Bacia do Rio Dão.

Parâmetros	Zona de montante	Zona intermédia (montante)	Zona intermédia (jusante)	Zona Jusante
P (mm)	1071,23	920,87	1547,53	1035,82
SH (mm)	584,35	460,01	707,00	535,32
Ci (mg/L)	6,5 (Cavaca não sulfúrea)	6,6 (Alcafache não sulfúrea)	5,7 (Sangemil não sulfúrea)	6,6 (Granjal não sulfúrea)
Cp (mg/ L)	1,0 (*)	1,0 (*)	1,0	1,3
Es (mm) (*)	368,4	283,6	446,1	326,9
I /P	0,10	0,10	0,12	0,13
I (mm)	108,1	96,6	193,2	139,6

(*) valor estimado com base nas análises das zonas da Bacia

6.2. A Modelação com recurso ao Feflow

Com a determinação no item anterior dos principais itens que caracterizam a Bacia do Rio Dão, prosseguiu-se para a representação do modelo do escoamento subterrâneo da bacia utilizando o programa Feflow (Finite Element Subsurface Flow & Transport Simulation System) desenvolvido pelo DHI-WASY (2009).

6.2.1. Dados gerais e geometria

A modelação teve início com a definição/delimitação física da Bacia do Rio Dão. Nesse sentido, foram trabalhados os mapas topográficos (cartas militares) da bacia à escala 1:50000 através do *software* ArcGIS (ESRI, 1999) e posteriormente exportado com um elemento só para o *software* QCAD (2009) para a projeção em “DXF”.

O modelo da bacia apresentado na Figura 6.1 foi obtido após decalcados os limites da bacia sobre a projeção em suporte “DXF” importado para o Feflow. Note-se que foi feita também a delimitação dos elementos estruturais principais (falhas, descontinuidades, contactos geológicos principais) para refinamento da malha para posterior otimização dos parâmetros sobre os nós da mesma.

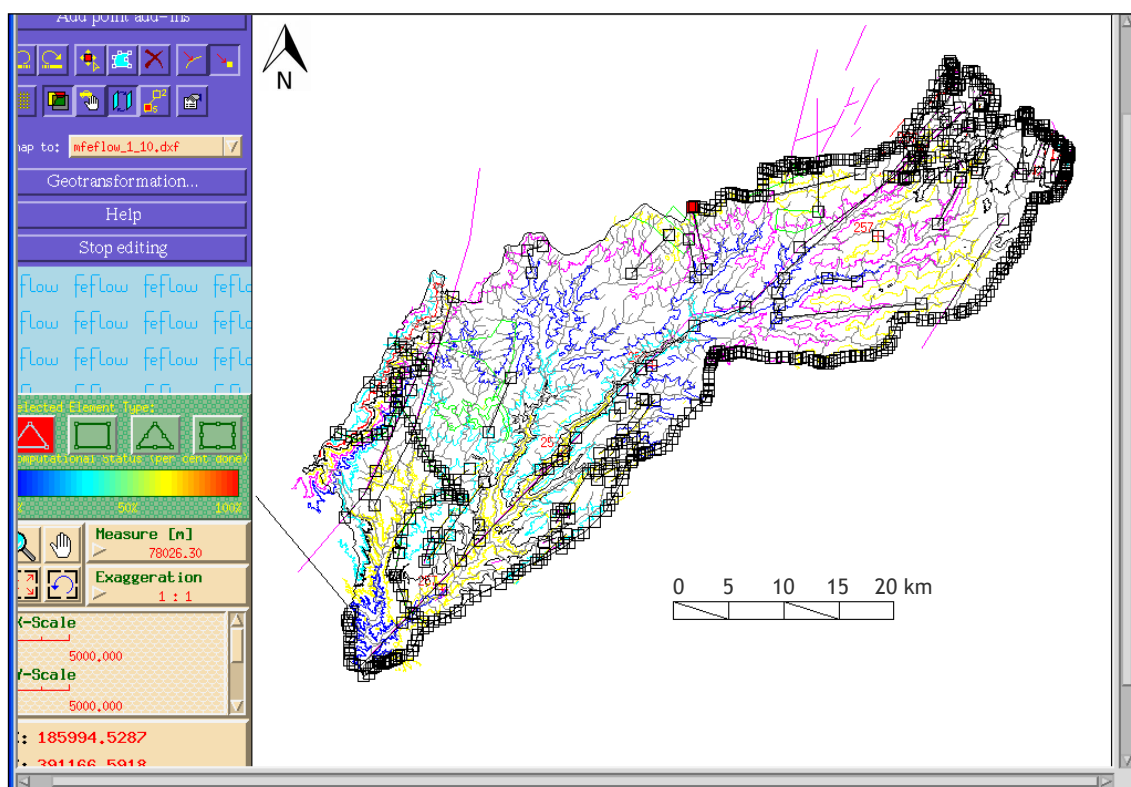


Figura 6.1 - Marcação/delimitação do contorno da área que se pretende modelar (já com algumas singularidades delineadas) - Bacia do Rio Dão.

Após delimitado o perímetro da bacia, gerou-se a malha de elementos finitos. Para a bacia com 1378.28 km² de área, a geração automática da malha de elementos finitos foi de 17862 elementos triangulares unidos em 9257 nós (Figura 6.2).

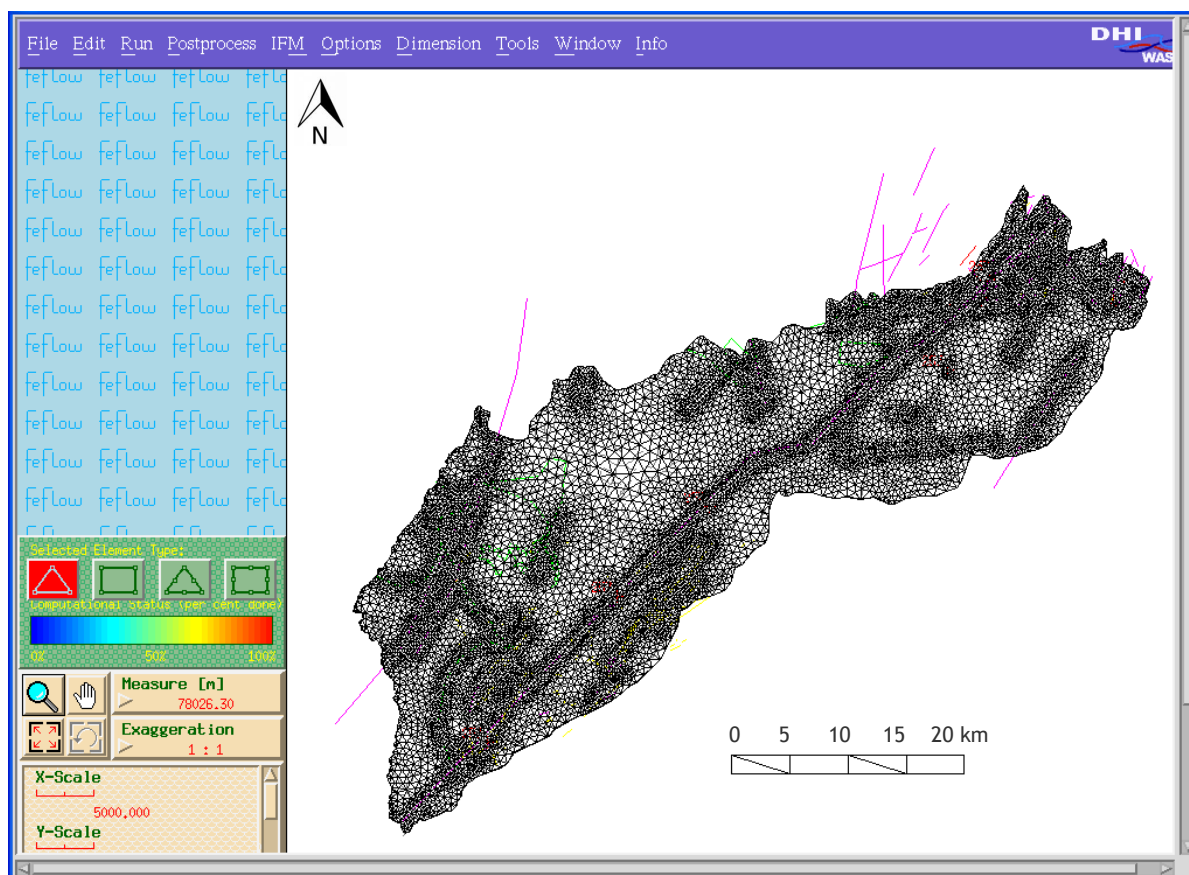


Figura 6.2 - Malha de elementos finitos para o modelo 2D de escoamento subterrâneo da Bacia do Rio Dão.

6.2.2. Descrição das condições iniciais

Tendo em conta que se pretende fazer uma simulação conceptual inicial considerou-se que o meio em estudo é do tipo saturado, em que a simulação refletirá apenas o fluxo da água ao longo da bacia.

Ainda que o circuito no sistema aquífero que se pretende analisar seja de circulação profunda, pois o aquífero é do tipo semi-confinado, para a visualização da circulação de fluxos na bacia desenvolveu-se uma simulação inicial como sendo um aquífero não confinado, desenvolvendo em fase de calibração várias simulações no escoamento subterrâneo da bacia. Salienta-se que esta perspetiva permite também aferir/melhorar as condicionantes do perímetro de proteção de captações de água subterrânea, em especial para o controlo das zonas de proteção imediata e intermédia (com simulação de contaminação a médio e longo prazo).

Assim, as condições hidrológicas iniciais para otimização do modelo correspondem à extrapolação dos níveis piezométricos nos pontos em estudo na bacia (todos os pontos de

água apresentados no item 3.1). Na Figura 6.3 representa-se graficamente a variação do nível piezométrico em cada ponto de água aplicando o método de extrapolação “Akim *inter/extrapolation*” cúbica para os pontos na vizinhança.

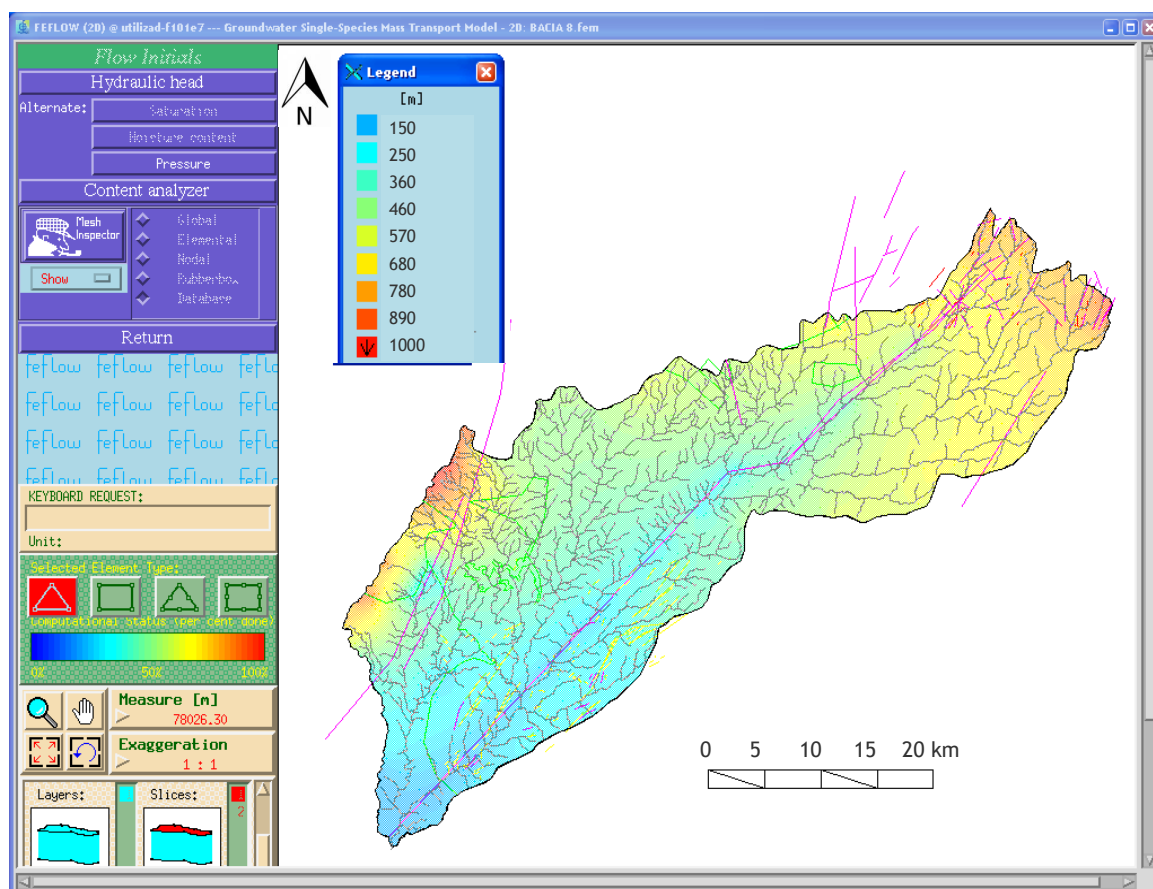


Figura 6.3 - Distribuição dos níveis hidroestáticos na Bacia do Rio Dão, com base nos pontos de água inventariados.

6.2.3. Descrição das condições de fronteira para o modelo de escoamento

Definiram-se as condições de fronteira da bacia tomando por base os estudos hidrogeológicos existentes. Assim, definiram-se as condições de fronteira, quer do 1.º nível (nível freático) quer com a introdução das captações de água sulfúrea (4.º Nível) e dos respetivos caudais em artesianismo- veja-se Figura 6.4.

6.2.4. Parâmetros hidráulicos dos materiais

Os parâmetros hidráulicos dos materiais utilizados na modelação foram apresentados anteriormente no item 6.1.

Tendo em conta que na bacia ocorrem elementos do maciço granítico e do complexo xistograuváquico, a definição em mapa de cada parâmetro foi conseguido através da importação do mapa da bacia (em suporte *DXF) com as várias unidades geológicas destacadas (importação por “camadas” que se ligam e desligam na apresentação).

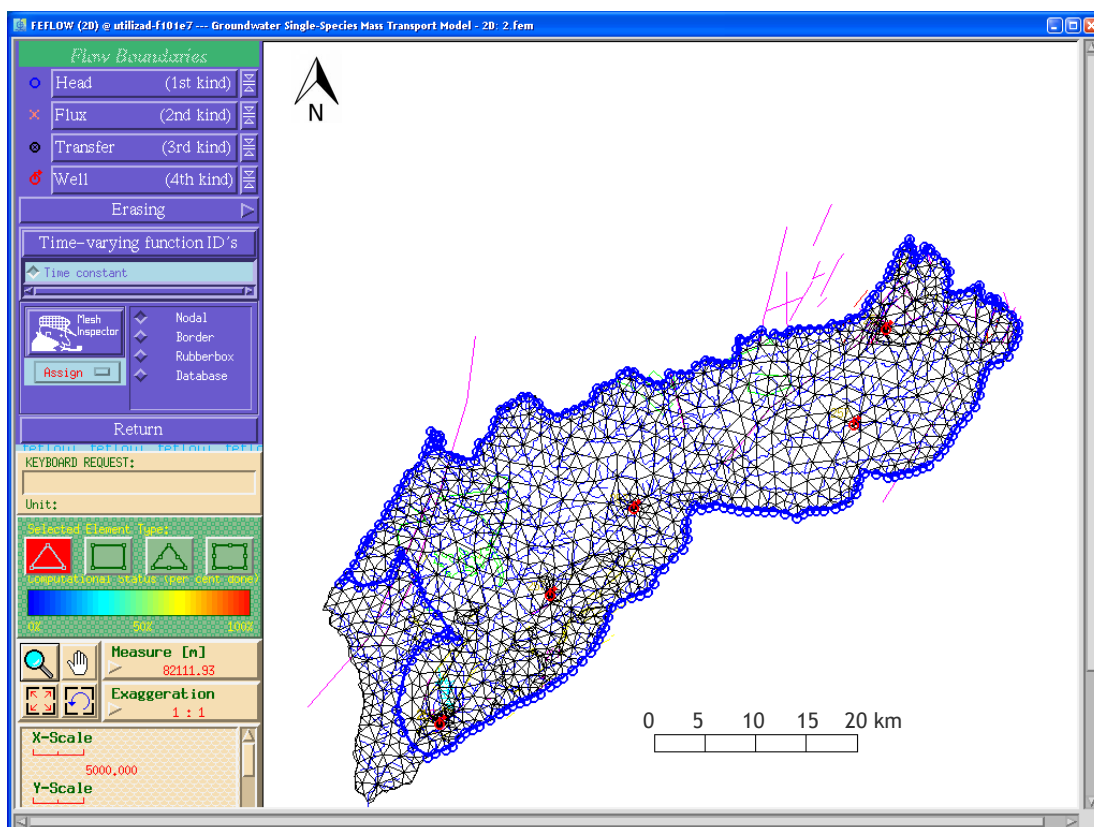


Figura 6.4 - Definição das condições de fronteira de 1.º nível (indicado a azul) e de 4.º nível (pontos a vermelho) para a modelação da Bacia do Rio Dão.

Nos mapas que se seguem apresentam-se as condicionantes definidas em termos de condutividade (Figura 6.5), da estimativa da recarga aquífera (a partir do balanço hidrológico- Figura 6.6) e do coeficiente de armazenamento (Figura 6.7).

6.2.5. Transporte de massa (fronteira e características dos materiais)

Para a simulação inicial não foi tida em conta o transporte de massa (em que se simula a circulação de um contaminante no sistema aquífero), mas para as simulações posteriores será importante a definição da porosidade para a contribuição na determinação dos perímetros de proteção, nesse sentido, a Figura 6.8 representa a distribuição da porosidade.

6.2.6. Calibração do modelo

A calibração do modelo permite aferir/adaptar todos os parâmetros da bacia em que se inclui a projeção da fraturação cartografada nas diversas cartas geológicas e nos estudos hidrológicos existentes para cada ponto de água sulfúrea.

Neste contexto, foi delimitada a fronteira litológica entre o maciço granítico e os elementos do complexo Xisto-Grauváquico como sendo um elemento de descontinuidade. Assim como, por forma a complementar a simulação inicial, foram inseridas as estruturas filoneanas que ocorrem em toda a bacia e que são elementos que influenciam a circulação subterrânea (Figura 6.9).

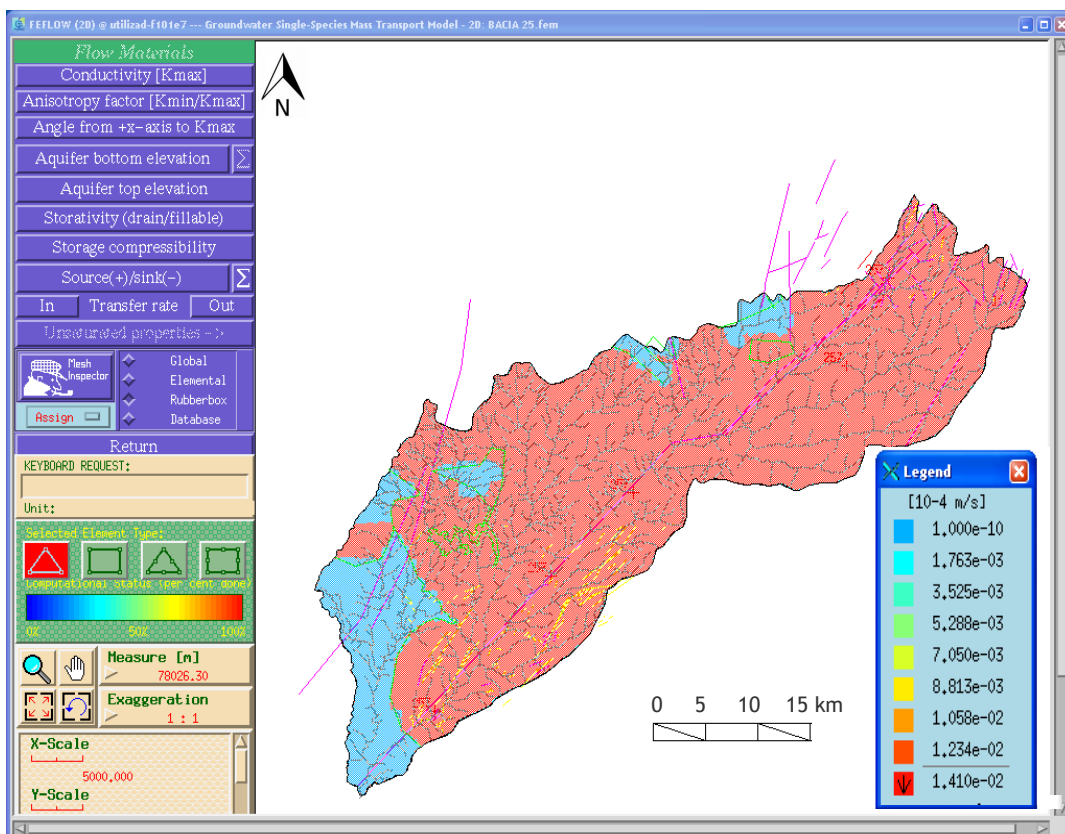


Figura 6.5 - Distribuição da condutividade em m/s ($\times 10^{-4}$) ao longo da Bacia do Rio Dão.

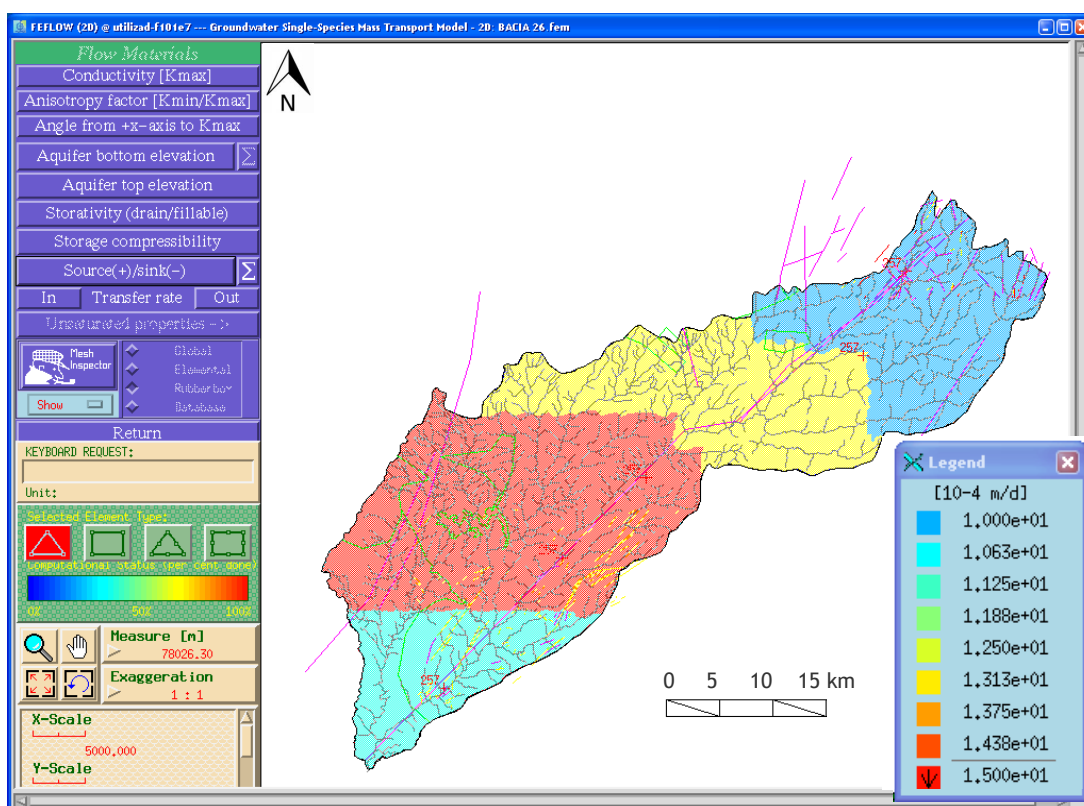


Figura 6.6 - Distribuição da relação recarga/deficit em m/dia ($\times 10^{-4}$) ao longo da Bacia do Rio Dão.

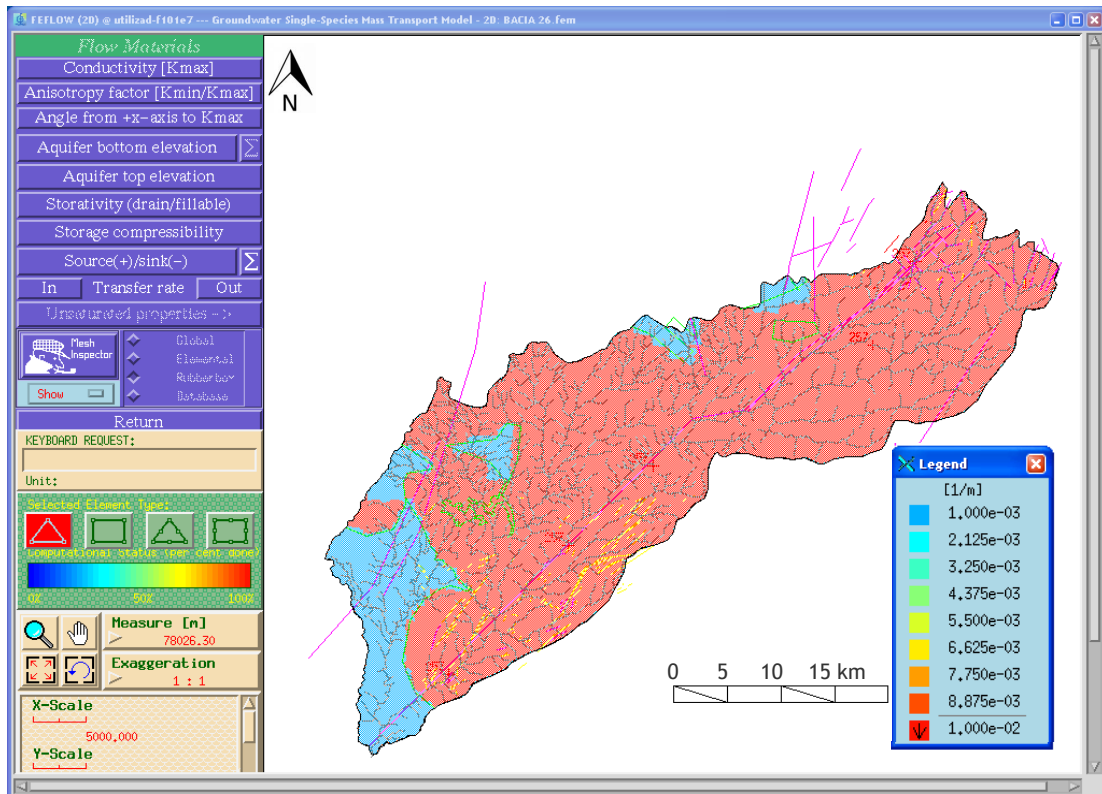


Figura 6.7 - Distribuição do coeficiente de armazenamento ao longo da Bacia do Rio Dão.

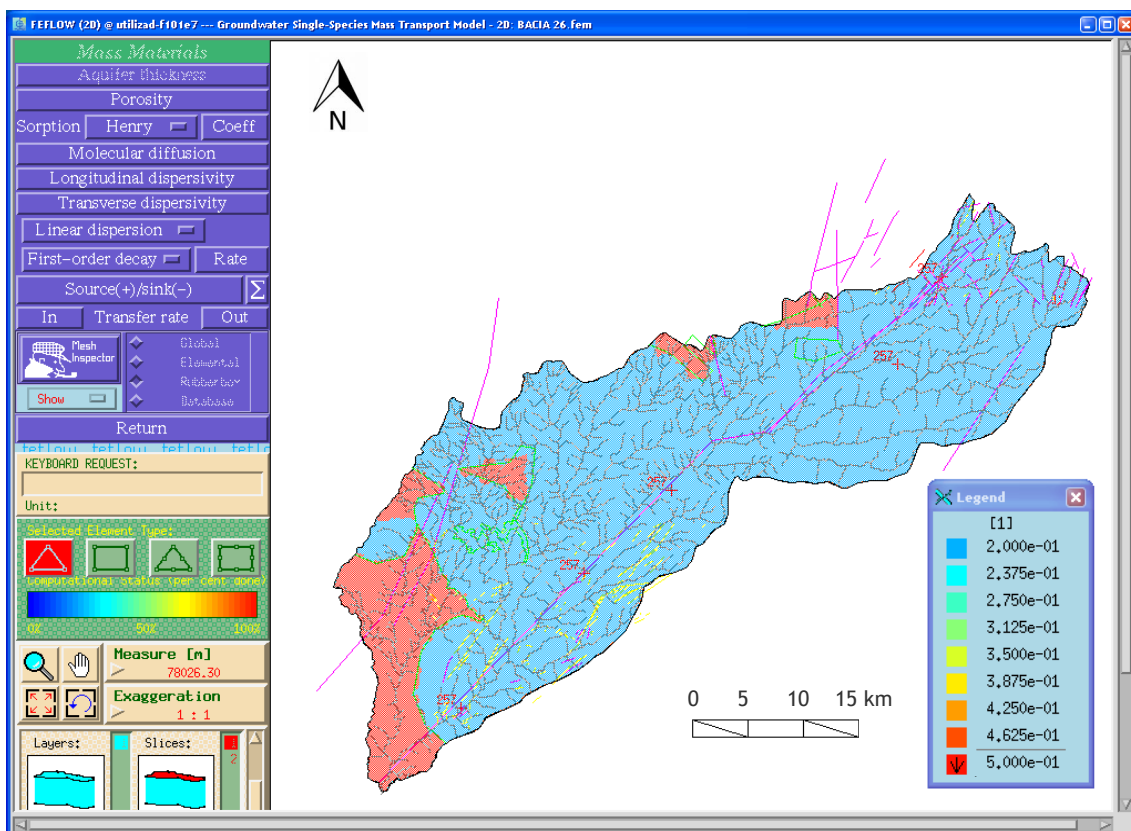


Figura 6.8 - Distribuição da porosidade ao longo da Bacia do Rio Dão.

Salienta-se ainda que na projeção da Bacia do Rio Dão foram inseridas as fraturas referenciadas em cartas geológicas, por forma a simular o sistema de falhas do Rio Dão.

A Figura 6.9 apresenta as descontinuidades consideradas para a simulação do modelo.

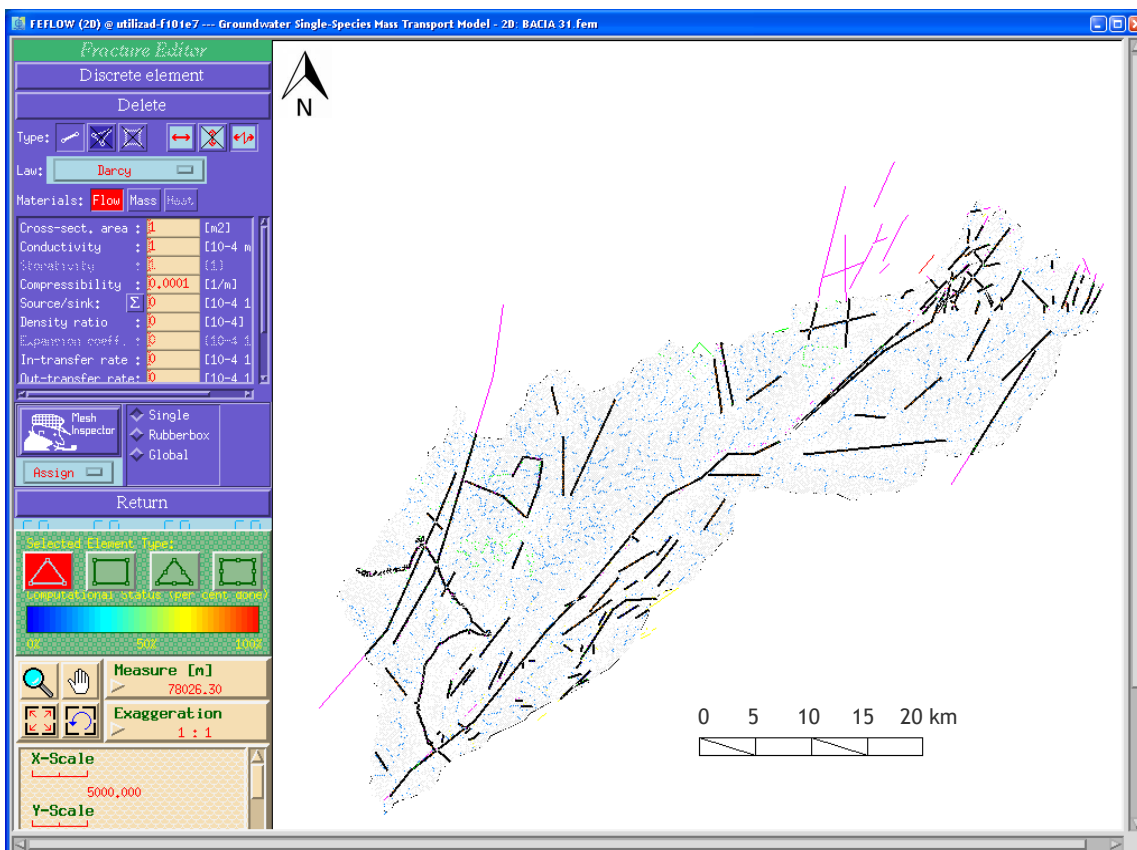


Figura 6.9 - Projeção dos principais elementos de descontinuidade litológica na Bacia do Rio Dão.

6.2.7. Modelo conceptual - 1º ensaio

Após concluída a inclusão de dados no sistema, inicia-se a primeira simulação do modelo no *software*, para o meio saturado, tendo por base apenas o fluxo na bacia em condições transitórias), em aquífero não confinado, com projeção horizontal durante um ano (365 dias).

Da análise da Figura 6.10 é evidente a contribuição da orografia do terreno (em que os níveis da bacia no último dia é similar aos níveis freáticos definidos nas condições iniciais) e do sistema de descontinuidades refletidas no modelo de escoamento (nos detalhes da Figura 6.10 com a aproximação da visualização do modelo simulado são perceptíveis as direções do fluxo).

Na simulação inicial pretendeu-se também visualizar as linhas de fluxo associadas para as captações de água sulfúrea: Cavaca, Sezures, Alcafache e Sangemil com caudal de “extração” (entenda-se artesianismo) em contínuo e em simultâneo de 0,2 L/s, 0,04 L/s, 1,4 L/s, 0,2 L/s e 1,4 L/s respetivamente. A distribuição das linhas de fluxo das captações de água sulfúrea encontra-se representada na Figura 6.11.

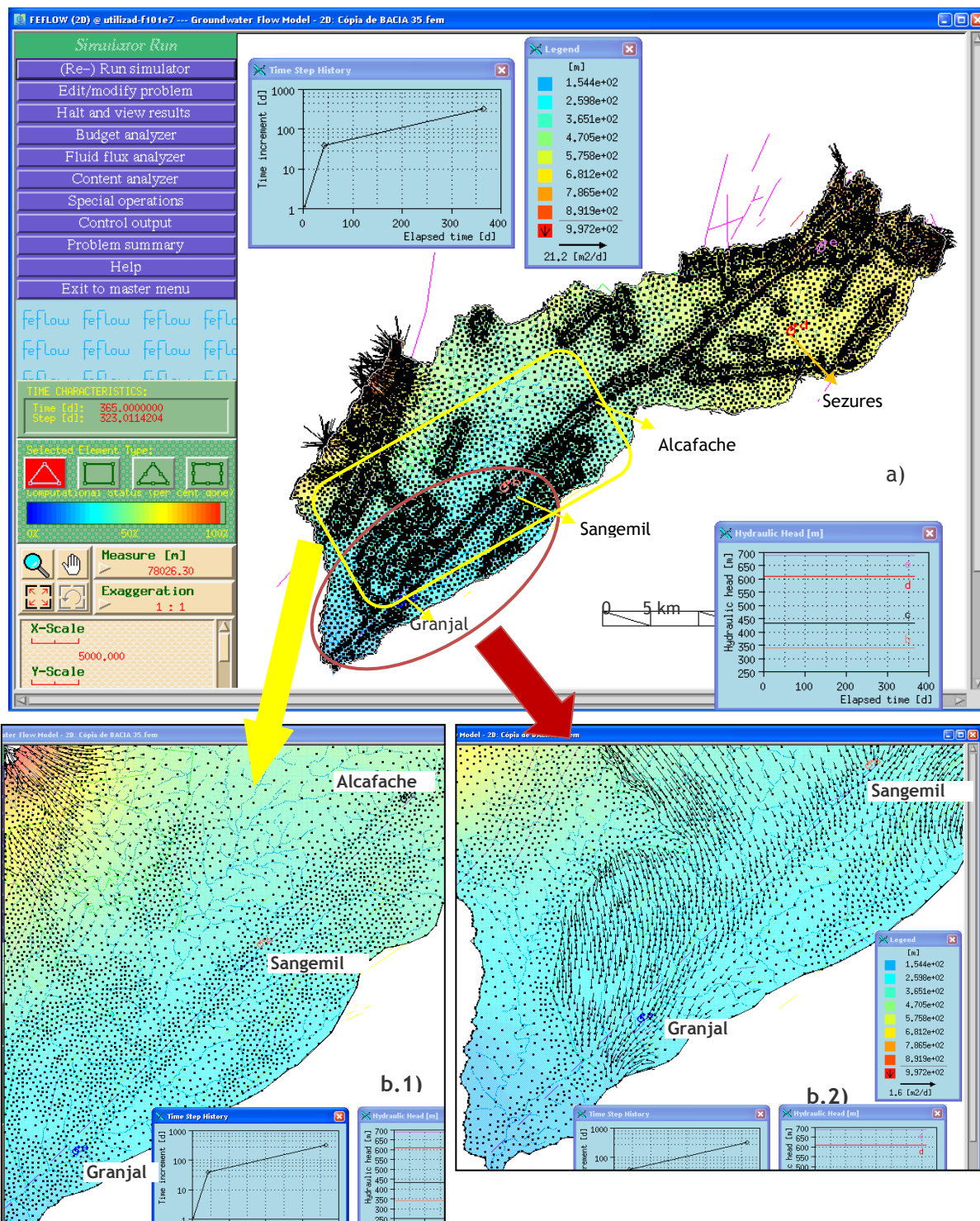


Figura 6.10 - Resultado da simulação inicial do software para o escoamento subterrâneo da Bacia do Rio Dão: a) aspeto geral da bacia, com as captações de água sulfúrea; b) Visualizações em detalhe do fluxo nas zonas de intermédia (jusante- b.1) e de jusante (b2).

As linhas de fluxo das águas sulfúreas refletidas na Figura 6.11 apresentam uma tendência na direção NE-SW, ainda que para as águas do Granjal e de Sangemil a projeção do fluxo surge também com uma componente de NS (possivelmente resultante do contributo das cotas mais altas que ocorrem no limite da bacia).

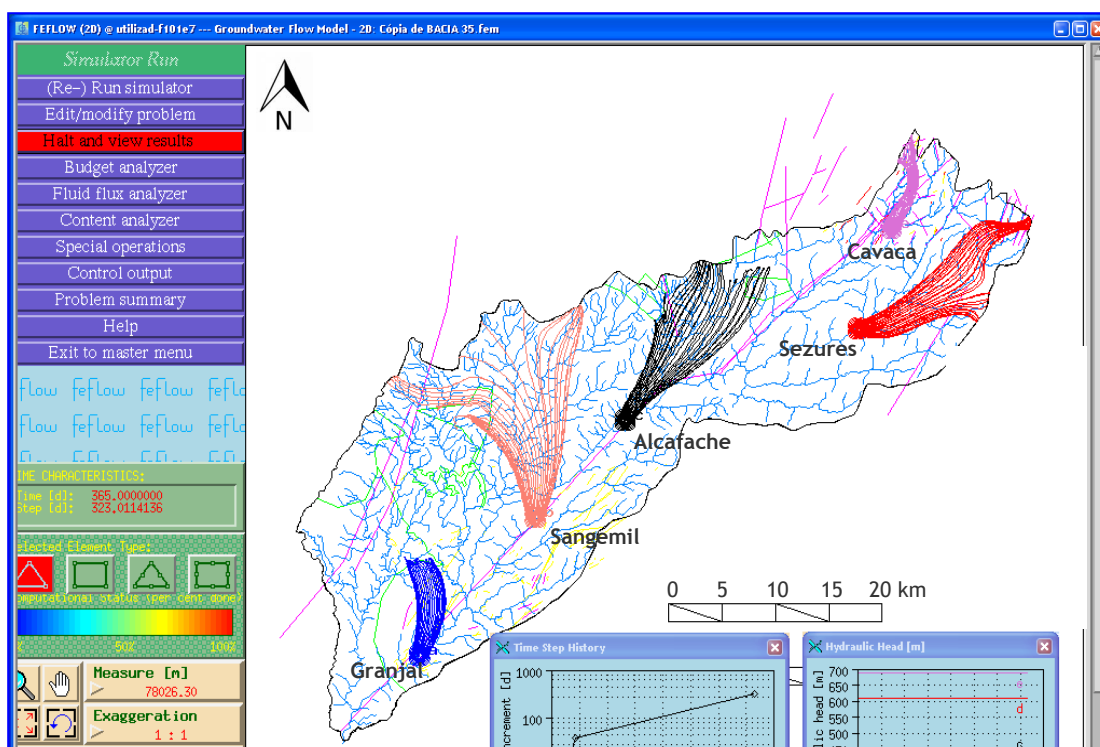


Figura 6.11 - Resultado gráfico das linhas de fluxo para as nascentes sulfúreas da Bacia do Rio Dão.

Ainda que se tenha considerado o aquífero como sendo exclusivamente freático, era de certo modo expectável que o modelo apresentasse alguma ligação entre as ocorrências, contudo o resultado orienta para que a cada ocorrência corresponda um circuito independente (pelo menos no que compete à circulação não confinado do recurso).

6.2.8 Modelo conceptual - outros ensaios

A simulação inicial da circulação de fluxo da Bacia do Rio Dão teve por base o aquífero não confinado, essencialmente como sendo de circulação preferencial no plano horizontal. Contudo, as águas de circulação profunda são resultantes de várias componentes pelo que se julgou útil desenvolver várias simulações utilizando as diversas ferramentas do software.

Se se considerar o modelo como um aquífero confinado (ainda que com circulação preferencialmente horizontal) obtém-se o mapa da Figura 6.12, do qual se destaca a redução substancial da visualização/projeção das linhas de fluxo.

Ainda que se considere que a circulação em profundidade terá uma forte componente horizontal (no sentido de montante para jusante) a recarga do aquífero ocorrerá preferencialmente no plano vertical. A Figura 6.13 apresenta o resultado gráfico das projeções dos fluxos nas captações de água sulfúrea da bacia em estudo com a simulação de circulação preferencialmente vertical.

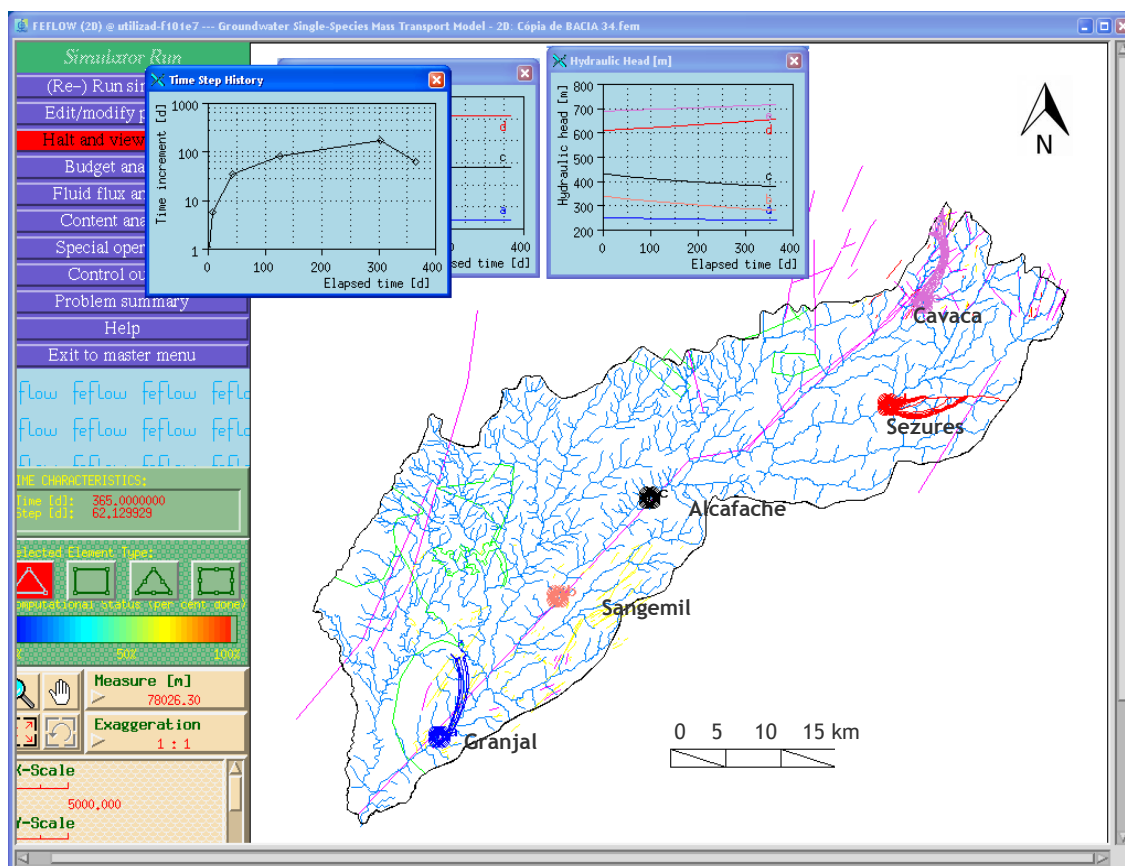


Figura 6.12 - Resultado gráfico das linhas de fluxo para as nascentes sulfúreas da Bacia do Rio Dão, considerando o modelo como aquífero confinado.

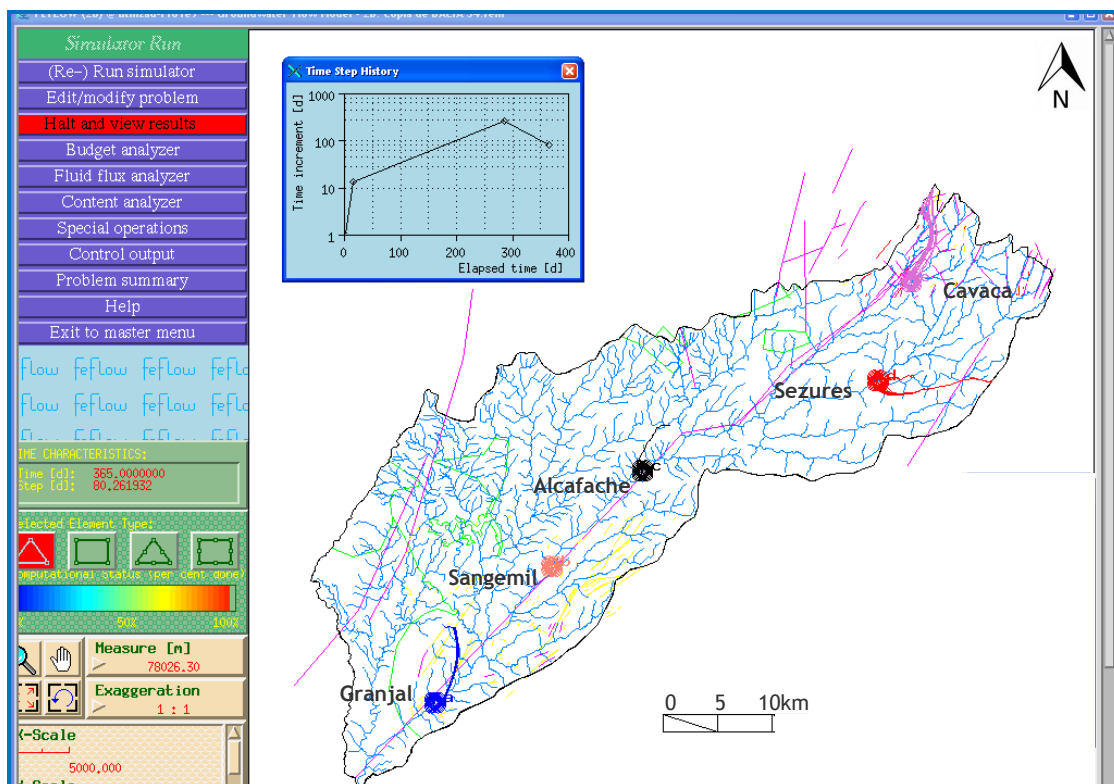


Figura 6.13 - Resultado gráfico das linhas de fluxo para as nascentes sulfúreas da Bacia do Rio Dão, considerando a circulação preferencialmente vertical (como aquífero confinado).

Tendo em conta a projeção assimétrica do modelo aquífero as linhas de fluxo resultantes para as captações de água sulfúrea são as esquematizadas na Figura 6.14.

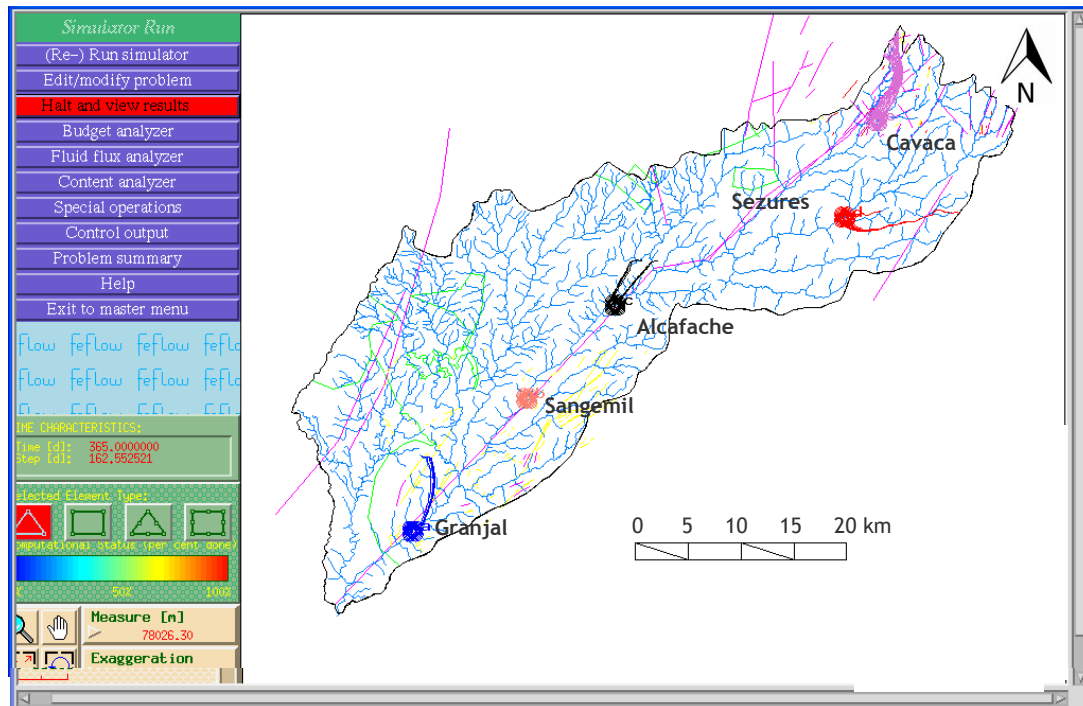


Figura 6.14 - Resultado gráfico das linhas de fluxo para as nascentes sulfúreas da Bacia do Rio Dão, considerando a circulação assimétrica (como aquífero confinado).

Dos vários ensaios reproduzidos na Figuras 6.12., 6.13 e 6.14 é possível destacar-se que independentemente da forma da componente da circulação (vertical, horizontal, assimétrica) as linhas de fluxo apresentam uma tendência na direção NE-SW. Ainda que em algumas projeções o fluxo seja concêntrico em torno da captação, em termos gerais cada captação terá também uma componente resultante da circulação “local”.

Capítulo 7

CONCEPTUALIZAÇÃO DOS SISTEMAS AQUÍFEROS DAS ÁGUAS SULFÚREAS DA BACIA DO RIO DÃO

7.1. Introdução

As regras básicas de hidrologia refletem como principal contributo para o escoamento o relevo, definindo-se as zonas de montante com maior altitude, e as zonas de jusante com menor altitude e para onde os sistemas aquíferos confluem. Os limites de uma bacia são também definidos com base essencialmente na orografia, unindo os pontos de cumeada, estabelecendo qual é o contorno que divide o escoamento das precipitações (Lencastre e Franco, 1992).

Na verdade, esta consideração é válida para escoamento com superfície livre (rios) e para sistemas aquíferos não confinados (em meios homogéneos), sendo que para sistemas confinados existem outras variáveis que contribuem para o escoamento dos sistemas aquíferos.

Além da orografia, a litologia, a geologia, a geomorfologia, a tectónica, o enquadramento hidrológico da bacia, a ocupação/alteração provocada pela Humanidade são fatores que devem ser analisados em detalhe para que o modelo idealizado seja o mais fiel possível da realidade.

Ao longo do presente trabalho foram utilizadas várias metodologias que contribuem cada uma sua vertente para o modelo global da bacia, pelo que o presente capítulo deverá ser encarado como um compêndio das ilações resultantes de cada capítulo.

7.2. Contributos para a Modelação dos Sistemas Aquíferos a partir das Características da Bacia

A bacia do Rio Dão drena cerca de 1378 km² em que a sua linha de água principal desenvolve-se ao longo de 92km. A bacia apresenta uma forma alongada com orientação preferencial NE-SW paralelamente ao longo do Rio Mondego.

A rede de drenagem apresenta frequentemente troços retilíneos com direções preferenciais NNE-SSW, N-S, NE-SW e NW-SE, que se entende coincidente com as principais estruturas tectónicas da região (em que se inclui o sistema de Falhas do Rio Dão).

Em termos geológicos a bacia desenvolve-se essencialmente no maciço granítico e que na zona mais a jusante (e sul) ocorrem elementos do Complexo Xisto- Grauváquico. Esta particularidade foi referenciada por Ferreira Gomes (2004) como um dos condicionalismos no escoamento subterrâneo, os maciços graníticos geralmente fraturados com permeabilidade elevada promovem a infiltração da água que em profundidade evoluem com envolvente do Complexo Xisto-Grauváquico e estes servirão de barreira à circulação. Outros elementos referenciados como influentes na circulação em profundidade é a existência de filões que conduzem preferencialmente a água em profundidade.

Como contributo na recarga dos aquíferos, o Balanço Hidrológico em associação às características geomorfológicas e geológico estruturais apontam para excedentes consideráveis que contribuem para a recarga em profundidade dos sistemas aquíferos.

A análise das características intrínsecas da Bacia, em associação com alguns elementos publicados na bibliografia (Ferreira Gomes, 2004) permitiu apresentar um perfil longitudinal da bacia (Figura 2.12), que se prevê aferir/complementar no final do presente capítulo.

7.3. Contributos para a Modelação dos Sistemas Aquíferos a partir da Hidroquímica

As águas sulfúreas da bacia distinguem-se das outras águas que ocorrem à superfície (freáticas) em vários parâmetros físico-químicos, indiciando que o percurso subterrâneo entre as águas sulfúreas e as demais são significativamente distintos.

Geralmente, as populações reconhecem as águas sulfúreas como águas especiais e que se distinguem pelo seu cheiro característico a “ovos-podres”, pela temperatura (geralmente superior), pela “biogeleia” esbranquiçada, e para os mais ousados, pela textura aveludada no tato, assim como nas interferências gastrointestinais que provoca quando tomada sem regra.

Após a análise dos parâmetros físico-químicos é possível verificar que efetivamente as águas sulfúreas apresentam composição química diferenciada das outras águas que afloram na bacia. Alguns dos parâmetros físico-químicos pela sua natureza são tomados como “traçadores” de fluxo, aumentando e/ou diminuem no sentido do fluxo.

Um dos parâmetros referenciados por Ferreira Gomes (2004) é o Resíduo Seco que resulta da evaporação da água. Ao longo do percurso a água dissolve vários elementos captando para sua composição química vários elementos à medida que o seu trajeto aumenta (ainda que alguns elementos em solução devido às condições de pressão e temperatura reajam entre si e precipitem). Quando se evapora a água restam os sais que poderão ser indicadores de maior ou menor trajeto.

Analisando os resultados apresentados no Capítulo 4 o fluxo “apontado” pelo Resíduo Seco será de menor para maior Resíduo seco, o seguinte: Cavaca- Alcafache-Sangemil-Sezures-Granjal. Neste “alinhamento” destoa o caso de Sezures pois localiza-se em zonas de montante próximo da Cavaca, mas ocorre do outro lado da grande falha do Rio Dão, enquanto as outras nascentes sulfúreas enquadram-se mais sobre a falha e a tenderem para a sua margem direita.

Numa pré-análise dos elementos entende-se que a água de Sezures não estará enquadrada no mesmo circuito das águas de Cavaca, Alcafache, Sangemil e do Granjal, ainda assim esta avaliação será complementada nos itens seguintes.

Outro elemento que é considerado usualmente como traçador químico é o Cloro, que tem um efeito cumulativo no sentido do fluxo. Assim sendo, da Tabela III.2 o fluxo da água sulfúrea da bacia em estudo, o cloro aumenta, no sentido montante para jusante, ou seja: Cavaca, Alcafache, Sangemil e Granjal. Sezures, mais uma vez não se encaixa perfeitamente naquele paralelismo.

Uma outra vertente do contributo da hidroquímica é a análise da origem de determinado parâmetro na composição química. Por exemplo, a origem dos teores em Fluor nas águas sulfúreas não é consensual, contudo é ideia geral que estará em associado à circulação profunda deste tipo de águas. Nesta perspetiva, de forma simplista poder-se-ia inferir que a profundidade do circuito aumenta da água da Cavaca, para a água de Sezures, Alcafache, Sangemil e finalmente o Granjal apresentaria o circuito mais longo. Contudo, ainda que a maioria da bacia ocorra em maciço granítico, a composição do maciço difere, pelo que seriam necessários estudos complementares no sentido de avaliar a composição química dos granitos para grandes profundidades.

A composição química permitiu também desenvolver diagramas que facilitam a comparação gráfica dos componentes físico-químicos entre as várias águas. Assim, da Figura 4.7 (Diagrama de Stiff) verifica-se que a projeção dos elementos das águas da Cavaca, Alcafache, Sangemil e Granjal desenvolve uma forma geométrica similar, ainda que com a componente catiónica mais enriquecida, no sentido de jusante, com a particularidade de Sezures, mais uma vez deoar, pois apresenta-se muito rica em bicarbonato e sódio, em termos relativos para a posição que ocupa em zonas de montante.

O tratamento estatístico dos parâmetros físicos-químicos de algumas águas da bacia permitiu estabelecer a matriz de correlação quer entre os parâmetros (altitude, temperatura, pH, etc.), quer entre as águas em estudo.

Esta correlação entre águas evidenciou ligações consistentes entre as águas do Caramulo e as águas sulfúreas da Cavaca, de Alcafache e do Granjal, assim como destaca a correlação entre

as águas sulfúreas de Sezures-Cavaca; Alcafache - Sezures, Granjal-Alcafache e Granjal-Cavaca. A exposição dos dados de variáveis “águas” revelou também as águas não sulfúreas se correlacionarem entre si (com a exceção da água do Caramulo) o que poderá ser enquadrado como um reforço das divergências entre as águas sulfúreas e não sulfúreas.

7.4. Contributos para a Modelação dos Sistemas Aquíferos a partir da Geoquímica Aplicada

A geoquímica desenvolveu métodos expeditos em que relaciona a componente química das águas com a litologia, atendendo à interação água-macizo.

Um dos métodos mais utilizados é a aplicação dos geotermómetros, em que são indicadas a temperatura máxima alcançada (temperatura de reservatório) e a que profundidade corresponde (profundidade de reservatório).

Ainda que a aplicação das equações dos geotermómetros impõe a que seja a água com estabilidade química (águas minerais), foi feita a simulação de aplicação das equações às águas sulfúreas e não sulfúreas da bacia, obtendo-se temperaturas acima de 90 °C para as águas sulfúreas e temperaturas inferiores a 60 °C para as águas não sulfúreas. Estes resultados pronunciam que as águas sulfúreas apresentem maior profundidade de reservatório do que as não sulfúreas.

Os resultados apresentados no item 5.2 assim o indicam, estimando que a água com maior profundidade de reservatório são as águas sulfúreas de Sangemil e da Cavaca (cerca de 2500m), seguida da água do Granjal (cerca de 2350 m) e pouco menos profundo às águas de Sezures (2271 m) e de Alcafache (2221 m). Em harmonia com os resultados das temperaturas das águas não sulfúreas, a profundidade de reservatório aponta para profundidades de reservatório entre os 500 a 1000 metros de profundidade.

Complementarmente utilizaram-se os métodos experimentais de Rybach (1990) para estimar a ordem de grandeza da profundidade de reservatório. Da aplicação dos ábacos destacou-se que a tipologia do circuito do Granjal difere das demais águas sulfúreas, enquadrando-se na tipologia de “conduta plana” com projeção de 1 km em profundidade, enquanto que as águas da Cavaca, Alcafache e Sangemil os ábacos geraram resultados consistentes na projeção sob o tipo de “conduta cilíndrica”.

Outra metodologia complementar é através da análise dos elementos isotópicos da água em que é possível estimar a origem e a idade da água. Nesse sentido iniciou-se a análise das projeções das altitudes “teóricas” de cada água sulfúrea em teores em ^2H e ^{18}O .

Para todas as águas sulfúreas salienta-se que as “altitudes teóricas” resultantes da projeção de ^{18}O são superiores às das captações entre 350 e 440 metros (excetuando-se projeção Sangemil com cerca de 180 m).

A altitude na envolvente compatível com os resultados de ^{18}O (1020 m) na Cavaca encontra-se fora da bacia na zona da Serra de Leomil a cerca de 20 km para Norte uma vez que a geomorfologia do local indica que as águas são encaminhadas pela rede de drenagem com direção NE-SW); para a projeção de ^2H , na envolvente da captação no vale da Ribeira de Coruche (a menos de 2 km) as altitudes são na ordem dos 640 m de altitude conforme indicado pela projeção de ^2H .

Na envolvente de Sezures encontram-se altitudes compatíveis com as projetadas por ^{18}O e ^2H , em especial na zona em que nasce o Rio Dão a cerca de 15 km para NE.

Para as projeções de Alcafache as altitudes compatíveis (entre 500 e 600 m) ocorrem a Norte e a NE entre a envolvente de Viseu e Satão a pouco mais de 10 km daquela água sulfúrea (Figura 2.4).

Em Sangemil, as projeções indiciam que a recarga ocorra a altitudes entre 360 m (^{18}O) a 450 m (^2H), o que dada a proximidade com a vertente da Serra do Caramulo tem-se altitudes dessa natureza a pouco mais de 5 Km, como por exemplo na encosta do Rio Pavia (Figura 2.13).

Quanto ao Granjal, a projeção de ^{18}O indicia que a recarga ocorra a cerca de 520 m de altitude, o que se considerar a envolvente direta, será na vertente oeste da serra do Caramulo (similaridade com Sangemil) na zona de Tondela, recorda-se que a litologia de parte da vertente ocorrem elementos do complexo Xisto-Grauváquico, com permeabilidade reduzida, pelo que será importante considerar também o contributo do fluxo do Rio Dão, em que a zona de recarga será na envolvente da água sulfúrea de Cavaca. Para as altitudes projetadas por ^2H tendo em conta que a projeção indica para altitudes mais modestas, o contributo será na envolvente da água sulfúrea de Sangemil (a NE do Granjal).

Quanto à idade dos sistemas aquíferos, o elemento Trítio (^3H) permite presumir a “idade” das águas. Os resultados obtidos para as águas da bacia indicam que as águas são anteriores a 1952, uma vez que apresentam valores de ^3H próximos de 0 (zero). A água da Cavaca apresenta um valor que indica possível mistura com águas sub-modernas e águas recentes.

7.5. Contributos para a Modelação dos Sistemas Aquíferos a partir da Modelação Numérica

A modelação numérica utilizada permitiu com a inclusão de vários fatores intrínsecos à bacia visualizar uma simulação do escoamento dividindo a bacia em elementos unitários (elementos finitos).

Se por um lado a visualização dos mapas é um elemento facilitador, foram detetadas algumas limitações na inclusão de sistemas complexos (como por exemplo definição de aquífero confinado ou não confinado, não permitindo a simulação para os aquíferos “semi-confinado”). Possivelmente, esta limitação já terá sido ultrapassada em versões mais recentes do *software* (que por constrangimentos orçamentais não foi possível adquirir).

Ainda assim, entende-se que aplicação dos métodos numéricos resultaram com um grande contributo, que permitiu em termos visuais clarificar algumas considerações feitas noutros pontos.

Uma evidência relançada pelos métodos numéricos prende-se com o fato da água de Sezures apresentar uma zona de “influência” totalmente na zona mais a Oeste do sistema de “falhas do Rio Dão”.

Por outro lado, destaca-se também a influência que a proximidade com a Serra do Caramulo impõe no circuito subterrâneo das águas sulfúreas mais a jusante da bacia (Sangemil e Granjal), em que as linhas de fluxo apontam para o contributo das vertentes acentuadas daquela unidade.

De uma forma geral supõe-se que a circulação na bacia ocorrerá de forma conjugada entre as simulações apresentadas no item 6.

Destaca-se a particularidade de quer nas simulações de aquíferos livres, quer confinados (Fig.7.1) haver a relativa independência dos vários sistemas de águas sulfúreas existentes na bacia do Rio Dão. De qualquer modo há perceção clara que nos sistemas sobre a grande falha do Rio Dão, ou ligeiramente a norte da mesma, os fluxos são oriundos essencialmente de áreas a norte das nascentes, enquanto isso não acontece com Sezures onde há uma evidência dos fluxos de maior significado serem oriundos de este.

7.6. Modelo Conceptual da Bacia do Rio Dão

Tomando por base os perfis apresentados no Capítulo 2 e recolhendo os elementos cruciais para o entendimento da bacia, entende-se como Modelo Conceptual as representações gráficas das Figuras 7.2 e 7.3.

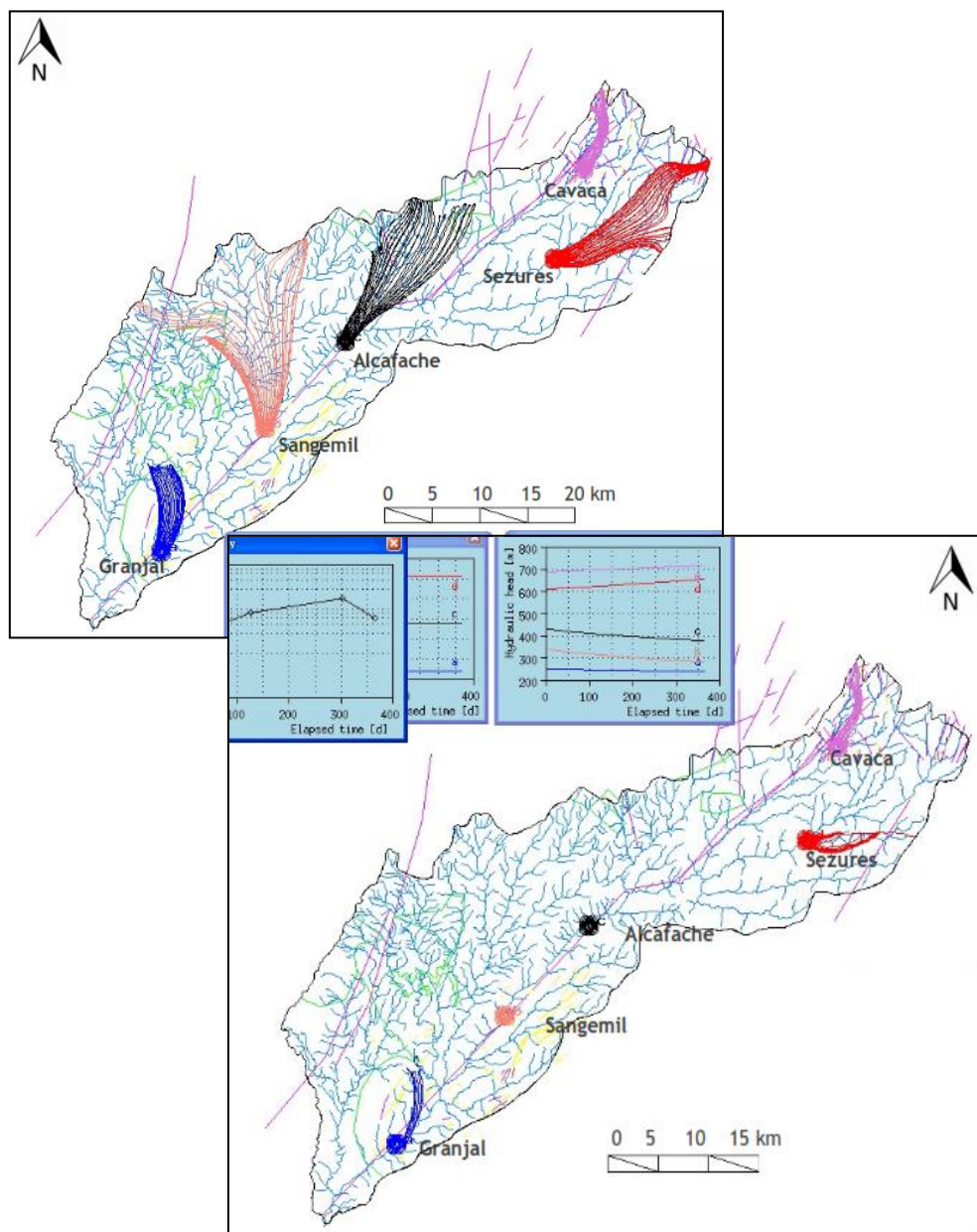
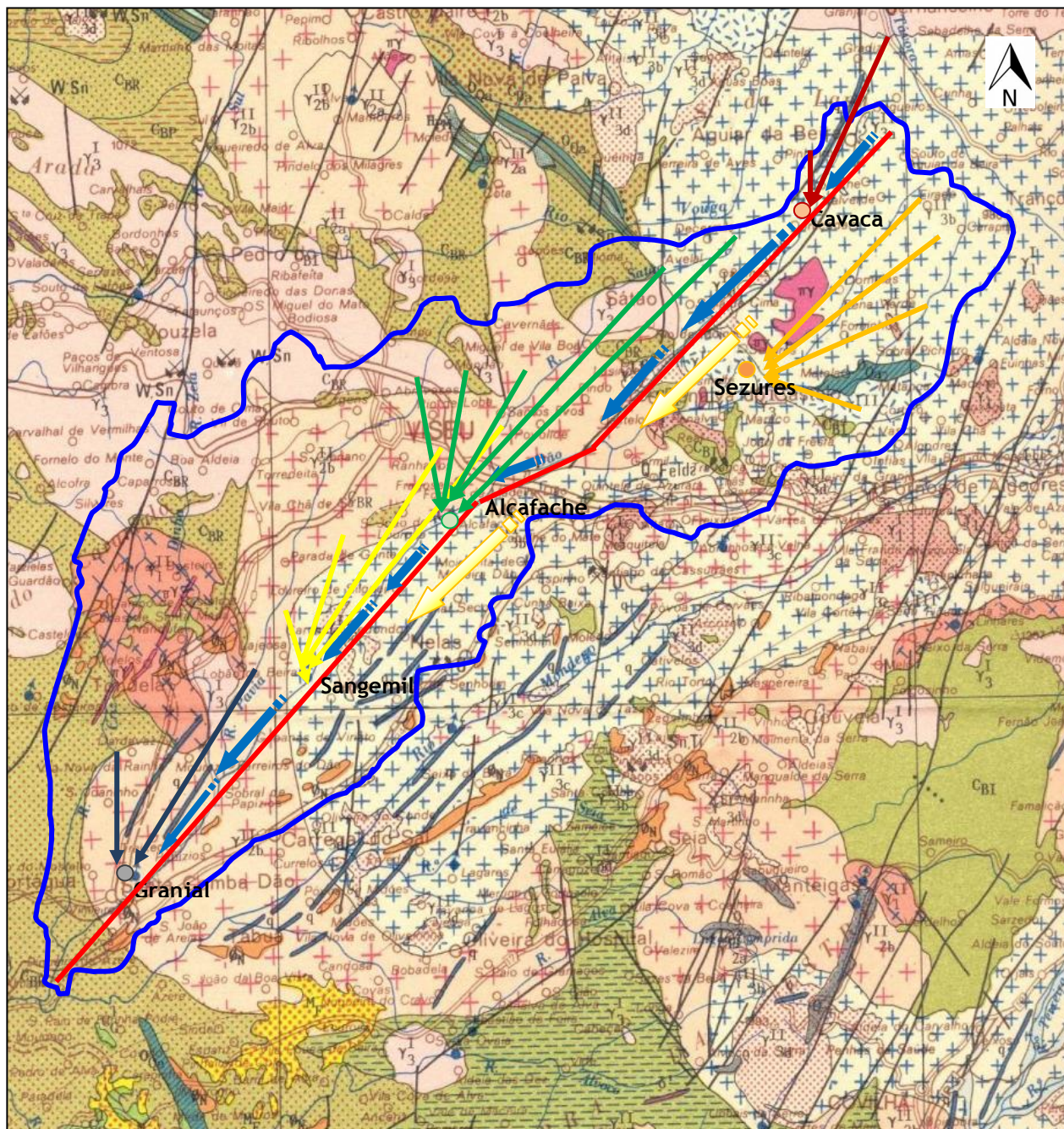


Figura 7.1 - Comparação do resultado gráfico das linhas de fluxo para as nascentes sulfúreas da Bacia do Rio Dão, considerando o modelo como aquífero livre (a) e confinado (b).

Das Figuras 7.2 e 7.3 pode-se verificar que o modelo das águas sulfúreas vai para além dos limites físicos da Bacia do Rio Dão.

De uma forma genérica, entende-se que o escamento subterrâneo ocorra paralelamente à circulação freática, isto é de grosso modo, ao longo do Rio Dão (ainda que em profundidade).

No seu percurso o sistema aquífero vai enriquecendo a sua composição, quer por via da infiltração em profundidade das várias zonas de recarga (cada zona com sua especificidade), quer pela interação água-maciço rochoso.










	Linha de fluxo provável para a água subterrânea da margem esquerda e que percolará junto à sistema de falhas		Linha de fluxo da água sulfúrea da Cavaca no modelo conceptual da bacia
	Linha de fluxo presumível da água subterrânea que aflora em Sezures		Linha de fluxo da água sulfúrea de Alcafache no modelo conceptual da bacia
	Linha de fluxo presumível da água subterrânea que percola ao longo da falha do Rio Dão (margem direita)		Linha de fluxo da água sulfúrea de Sangemil no modelo conceptual da bacia
			Linha de fluxo da água sulfúrea de Granjal no modelo conceptual da bacia

Figura 7.2- Contributo para o modelo geohidráulico das águas sulfúreas da Bacia de Rio Dão, sobre a Carta Geológica de Portugal (SPG, 1992). Elementos da legenda referentes à geologia constam na Figura 2.10.

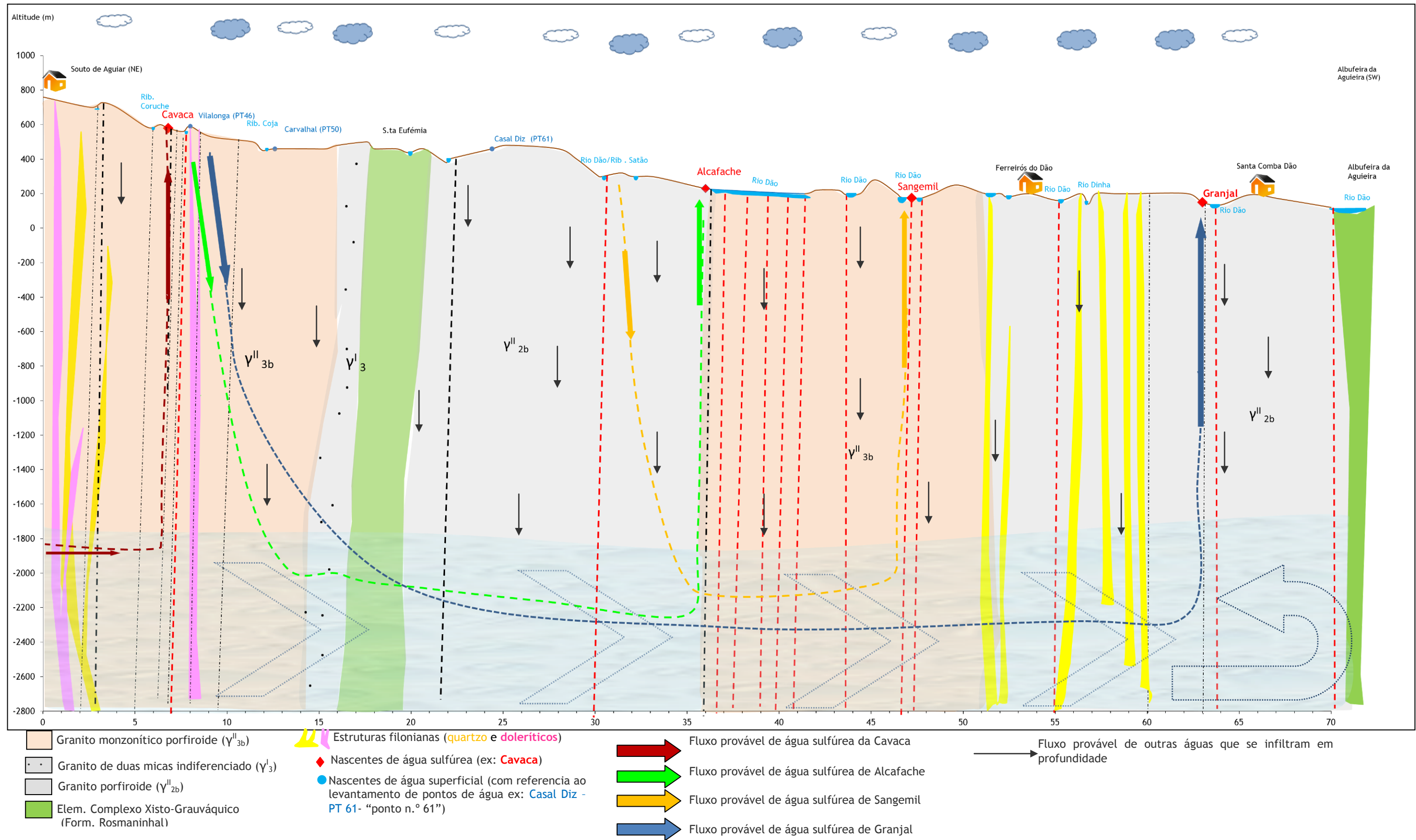


Figura 7.3- Contributo para o modelo geohidráulico das águas sulfúreas da Bacia de Rio Dão, em perfil longitudinal desde a zona de montante até jusante (Souto de Aguiar- Aguiar da Beira até à Albufeira da Barragem da Agueira); a partir das Cartas Militares (IGeoE,2005) e da Carta Geológica de Portugal (SPG, 1992). Elementos de legenda referentes à geologia constam na Figura 2.12.

Contudo, o maciço rochoso não é um meio homogéneo, é composto por várias discontinuidades (alterações de litologia, falhas, filões). A água em profundidade é “encaminhada” a circular por entre as discontinuidades (filões e/ou falhas), em que com interceção com outras discontinuidades promovem a ascensão da água subterrânea à superfície.

Através da componente isotópica estimaram-se algumas das possíveis zonas de recarga para cada água sulfúrea, o que em termos de representação gráfica do sistema resultaram as linhas de fluxo para cada água sulfúrea.

Para a água da Cavaca, estima-se a zona de recarga seja fora da zona da bacia um pouco mais a norte junto à Serra de Liomil. Salienta-se que na matriz de correlação entre águas da bacia, a água do Caramulo (não sulfúrea) apresentou um coeficiente acima de 0,8 o que poderia ser indicador da zona de recarga ser efetivamente na vertente do Caramulo. Da geomorfologia, a relação não é evidente e contrária ao fluxo estabelecido (zona de recarga seria a oeste de Tondela e da água sulfúrea de Sangemil), ainda assim poderá ser um ponto a aferir em estudos posteriores complementando os dados com análises a águas das bacias hidrográficas limítrofes.

Para a água sulfúrea de Alcafache e do Granjal, as respetivas zonas de recarga estimadas pelos isótopos indicam ser na envolvente da Cavaca (zona de montante), sendo que para o Granjal entende-se que será resultante do contributo da infiltração na vertente da Serra do Caramulo, além da interferência do arrefecimento resultante da ascensão provocada pelo contacto entre o maciço granítico e o complexo Xisto-Grauváquico.

À semelhança do Granjal, entende-se a água sulfúrea de Sangemil será resultante também de infiltrações decorrentes da Serra do Caramulo, ainda que também pela composição hidroquímica revele componentes similares às águas sulfúreas de Alcafache (a montante) e do Granjal (jusante).

Tendo em conta o modelo conceptual apresentado entende-se que na zona do contacto geológico possam ocorrer outras águas sulfúreas que à data não estejam identificadas, uma vez que essa zona é de difícil acesso e em geral está em plena albufeira da Barragem da Aguieira.

Capítulo 8

CONCLUSÕES

Portugal como destino turístico está na moda. O setor do turismo tem apresentado resultados de um crescimento apeteçível. Neste sentido, importa transmitir a mensagem a quem nos pretende visitar de que o nosso País é muito mais do que Algarve, Lisboa e Porto, para que as paisagens do nosso interior possam ser disfrutadas por quem procura restabelecer energias longe da agitação das grandes massas.

É na região centro-norte do país que ocorrem mais hidro-recursos minerais naturais, dotando aquele território de um potencial adicional que podem gerar mais-valias económico-financeiras para a região. São em especial os recursos associados ao turismo de saúde, pelo segmento do termalismo, que sustentam a sua atividade no recurso "água mineral" que estão na base desse potencial económico-financeiro que é de grande importância para as economias locais, e em consequência será num todo muito importante em relação ao contexto nacional.

A região Centro é dotada no geral de bons acessos quer rodoviários, quer ferroviários e mais recentemente por via aérea através de voos regulares para o aeródromo de Viseu (com partidas desde Cascais (voo com pouco mais de 1 hora), Portimão ou (voo com duração de 2 horas) pelo que a interioridade atribuída à envolvente da Bacia do Rio Dão está claramente ultrapassada.

Ainda que o potencial das águas sulfúreas da Bacia do Rio Dão não esteja com aproveitamento pleno (água do Granjal sem atividade de exploração, e água de Sezures sem captação proveitosa), entende-se que a região poderá beneficiar se reunir esforços no sentido de oferta diferenciada de utilização terapêutica da água mineral (quer na vertente de termalismo clássico, mas essencialmente na vertente termalismo de bem-estar). Se a oferta em termos de utilização da água for concertada entre as várias unidades, entende-se que no conjunto das "Termas do Rio Dão" podem ser muito competitivas na criação e desenvolvimento de polos de atração de turismo de excelência.

As águas sulfúreas no contexto nacional e até internacional apresentam características tão singulares que têm sido o motor de grandes polos de desenvolvimento, não só pela qualidade do seu recurso e suas consequências na área da saúde, como ainda pelos aspetos geotérmicos, pois genericamente este tipo de águas ao terem circuitos geohidráulicos relativamente profundos, além do seu quimismo específico que adquirem, adquirem também aumento de temperatura, e depois acabam por ressurgir quentes, permitindo em simultâneo aproveitamentos geotérmicos muito interessantes e que poderão ser polos de elevada

excelência, não só porque são uteis à saúde pública pelas suas ações terapêuticas no uso direto destas águas, como ainda permitem nesses locais substituir as energias convencionais, por estas energias alternativas não poluentes. Um bom exemplo de tal situação é o caso do uso da água sulfúrea das Termas de S. Pedro do Sul, que além de utilizarem a água para as termas, quer no setor do termalismo clássico, no setor do termalismo de bem-estar, no uso ou produção de produtos cosméticos, é ainda utilizada na climatização de edifícios, no aquecimento de suas águas sanitárias, e ainda no aquecimento de estufas de frutos tropicais; além daquelas aplicações, nas Termas de S. Pedro do Sul, há estudos em curso naquele sistema aquífero de água sulfúrea para aumentar a capacidade de produção e aumentar a temperatura, de modo a se passar a produzir eletricidade a partir deste recurso, a água sulfúrea quente.

Nesta vertente, a perceção do modelo geohidráulico das águas sulfúreas permite que seja possível ampliar a exploração do recurso existente (de acordo com as boas regras da hidrologia subterrânea), assim como contribuir para a defesa dos recursos face ao uso e ocupação do território.

Assim, a Bacia do Rio Dão, tendo já algumas águas sulfúreas em exploração, outras ainda sem qualquer enquadramento legal e pouco conhecimento técnico-científico sobre as mesmas, merece estudos aprofundados de modo a que sobre aqueles sistemas aquíferos haja mais certezas e assim no futuro se efetuem planos adequados sobre a sua exploração, num contexto regional.

No desenvolvimento do estudo do presente trabalho, na definição do modelo geohidráulico das águas sulfúreas da Bacia do Rio Dão pode concluir-se que:

- 1) A bacia do Rio Dão (Figura 2.2) é relativamente extensa, abrangendo uma área da zona centro do território português, de 1378 km², segundo uma forma global quase elipsoidal que se inclui num retângulo de 62 km por 22 km, com o seu lado maior segundo a direção global de NE-SW.
- 2) As zonas urbanas principais são Viseu como cidade principal, que ocorre próximo da zona central desta área global, e de NE para SW, salientam-se ainda Aguiar da Beira, Sátão, Penalva do Castelo, Mangualde, Nelas, Tondela, Carregal do Sal e Santa Comba Dão.
- 3) Sobre as principais linhas de água (Figura 2.4), além do próprio Rio Dão, que tem a sua origem na zona a NE, a cotas por volta de 840 m, e corre quase segundo um alinhamento global NE-SW, com a sua foz sobre o Rio Mondego, à cota aproximada de 120 m, em plena albufeira da Barragem da Aguieira, ocorrem várias principais linhas de água afluentes no Rio Dão, pela sua margem direita; de NE para SW, merecem

referência os cursos de água: a ribeira de Coja, o rio Satão, o rio Paiva e o rio Criz. Na margem esquerda, as linhas de água em relação à margem direita, quase não têm expressão, salientando-se apenas o rio Carapito. Sobre as infraestruturas de controlo de escoamento salienta-se a ocorrência da Barragem de Fagilde, sobre o próprio Rio Dão na zona centro-norte da bacia, a albufeira de Mosteiro de Fragas na nascente do rio Dinha, e ainda a Barragem da Agueira sobre o Rio Mondego, mas com significativa influência na bacia do Rio Dão, em especial na zona de Santa Comba Dão (Figura 2.4).

- 4) Sobre o ponto de vista geológico (Figura 2.6), em quase toda a área ocorrem granitos de idade Hercínica, sendo os predominantes do tipo porfiróide, ainda que na zona mais a jusante ocorram também elementos do complexo Xisto-Grauváquico que se entende servir e barreira à circulação do aquífero em profundidade. Sob o ponto de vista de geológico-estrutural salienta-se ainda a ocorrência da grande estrutura “Falha do Rio Dão” com direção global de NE-SW, e que serve de barreira à fácil percolação de recursos em profundidade entre “as margens”, mas também de caminho preferencial junto a si aos fluxos, em especial da margem direita. Em associação àquela grande estrutura ocorrem outros sistemas fraturas NNE-SSW; N-S, SW-SE que localmente permitem a ascensão da água subterrânea. Refere-se também neste ponto a rede de filões, geralmente de quartzo, que no geral são resultado do preenchimento de antigas falhas, tomando as direções preferenciais de NE-SW. De salientar ainda, a ocorrência de extensas áreas arenizadas, resultantes de granitos alterados meteoricamente, em especial nos primeiros cerca de 30m de espessura, a iniciarem-se em solos residuais de granito que evoluem para granitos alterados e para granitos sãos em profundidade.
- 5) Sob o ponto de vista hidrológico, devido à extensão da bacia, esta foi analisada em 4 setores: i) montante, ii) intermédia de montante, iii) intermédia de jusante e iv) jusante. A precipitação total anual ocorre entre 860 mm (Fornos de Algodres - zona de montante) e 2165 mm (Caramulo- zona intermédia). As temperaturas oscilam entre 5,8 °C e 21 °C, em que os valores mais baixos correspondem aos registados na estação do Caramulo e mais elevados em Oliveira do Hospital. Após o cálculo do balanço hidrológico sequencial mensal, verificou-se que anualmente ocorrem excedentes hídricos de 436 mm a 686 mm, estimando-se ainda que 11% da precipitação contribuem para a infiltração e conseqüente recarga subterrânea.
- 6) Em relação às águas subterrâneas fez-se um estudo sobre os principais pontos de água de toda a bacia, tendo-se inventariado 143 pontos (Figura 3.1), correspondendo a nascentes, (minas e fontanários) com águas em situação perene (nunca seca); sobre os mesmos efetuaram-se sempre que possível, medições de caudal, níveis piezométricos, pH, condutividade, temperatura, TDS, Eh. Além do levantamento de campo, analisaram-se com detalhe os pontos que já disponibilizavam resultados de

análises (químicas e outras), na bibliografia, para que o plano de amostragem realizado complementassem os dados existentes, e em conjunto contribuíssem para a compreensão dos modelos geohidráulicos das águas subterrâneas da região. Na primeira fase de registos expeditos foi possível organizar os tipos de águas em três grupos principais:

- i) águas sulfúreas, desde logo muito bem identificadas, em especial pelo cheiro a sulfídrico junto à emergência, associadas a uma biogeleia (sulfurárias) esbranquiçada, além da temperatura ser acima da média das águas subterrâneas envolventes;
 - ii) águas não sulfúreas, na sua maioria de origem freática de aquíferos livres e superficiais, perceptíveis nomeadamente pela sua baixa condutividade, pH inferiores a 6,5, mas também se admitiu desde logo que algumas poderiam eventualmente estar associadas a sistemas aquíferos não freáticos;
 - iii) águas de chuva, colhidas estrategicamente para auxiliar na conceção dos modelos.
- 7) Tendo-se noção da importância das águas sulfúreas, desde o início do presente trabalho que foram inventariadas e estudadas em detalhe, de montante para jusante, as seguintes águas: Cavaca, Sezures, Alcafache, Sangemil e Granjal. Salienta-se que, à exceção da água de Sezures, atualmente todas se encontram classificadas como água mineral natural, com a particularidade da água mineral do Granjal ter sido classificada como tal, com base em estudos que a autora participou desde 2003, de onde resultaram vários elementos inéditos, alguns dos quais inclusive motivaram a origem da presente tese e por isso alguns desses elementos estão aqui vertidos.
- 8) Sob o ponto de vista estritamente hidrogeológico, em cada polo ou setor de água sulfúrea, localmente, tende a que ocorram dois tipos de aquíferos:
- i) um aquífero profundo, semi-confinado a confinado, do tipo fissural (muito localizado), de água mineral sulfúrea, com valores de pH superior a 8,0 e condutividade acima de 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$;
 - ii) um aquífero superficial, freático, de águas pouco mineralizadas, de circulação superficial a subsuperficial, predominantemente do tipo fissural, mas também com algumas zonas do tipo intersticial (onde o maciço granítico apresenta grau de alteração elevado); a água deste aquífero, caracteriza-se por valores de pH inferiores a 6,5 e condutividade inferior a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (quando não contaminada).
- 9) Sob o ponto de vista da classificação das águas, em relação aos clássicos diagramas de Piper, todas as águas sulfúreas, são bicarbonatadas-sódicas, enquanto as águas não sulfúreas são essencialmente cloretadas sódicas tal como as águas da chuva (Tabela

IV.3); da análise dos clássicos diagramas de Stiff (Figura 4.8) é evidente a ocorrência singular das águas sulfúreas em que todas elas apresentam diagramas muito convergentes com a mesma forma global;

- 10) Pela análise estatística simples e multivariada dos elementos maiores merece enfatizar a correlação entre os principais componentes $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$, $\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$, $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ e $\text{Mg}^{2+} - \text{SO}_4^{2-}$. Por outro lado a análise em componentes principais adicionou à componente dos iões principais (Cl^- , Na^+ e HCO_3^-) o parâmetro de temperatura, o que poderá indiciar que a temperatura é elemento ativo na reação água-macizo rochoso. A análise multivariada também permitiu definir que o processo de interação água rocha é dominado principalmente pela hidrólise dos silicatos, nomeadamente das plagioclases.
- 11) Sobre os elementos secundários (ou vestigiários) das águas sulfúreas, da análise dos dados salienta-se que o Boro é o elemento mais representativo (Tabela 4.11 a), seguindo-se o Césio (Cs) e ainda com algum significado em quase todas destacam-se o W, o Sr, Rb e o Br. Há a particularidade das águas da chuva, que se esperava que não tivessem espécies vestigiárias apresentarem teores de alumínio e zinco, elementos podem ser indicadores de poluição na envolvente.
- 12) A partir dos geotermómetros (Tabela V.3) estima-se que as temperaturas de reservatório nas águas sulfúreas da Bacia do Rio Dão, sejam superiores a 90°C, com os valores superiores para Cavaca (106°C) e Sangemil (116°C) e inferiores para Sezures (92°C) e Granjal (98°C); enfatiza-se para o fato dos geotermómetros aplicados às águas não sulfúreas darem valores absurdos quando se usam equações que envolvem Na/K, mas quando aplicadas aos geotermómetros da sílica obtiveram-se valores da ordem dos 60°C como é o caso das águas das Fontes de Fail (Viseu) e da Bica (Santa Comba Dão).
- 13) As profundidades de reservatório obtidas com base no gradiente geotérmico, apontam para profundidades superiores a 2200 metros para as águas sulfúreas e entre 500 m a 1300 m para as águas não sulfúreas (Tabela V.2).
- 14) Da hidrologia isotópica usaram-se como traçadores os isótopos ambientais ^2H , ^{18}O e ^3H . As águas sulfúreas apresentam-se com composições em elementos isotópicos mais ligeiras do que as outras águas na envolvente, o que indicará que terão origens diferentes. Por outro lado, recorrendo à projeção da composição isotópica em função da altitude, estimaram-se as altitudes das zonas de recarga dos aquíferos para cada água sulfúrea. Dessa projeção supõe-se que a zona de recarga da água sulfúrea da Cavaca ocorra fora da Bacia do Rio Dão, na Serra de Leomil, enquanto as restantes é possível enquadrar as cotas de projeção de recarga compatíveis com o modelo idealizado. Com os resultados dos traçadores ambientais foram feitos vários gráficos

que orientam para que a água sulfúrea percorra um extenso e profundo percurso, ascendendo à superfície, por entre as fraturas do maciço, sem que se denotem misturas com águas de superfície (com a exceção da água sulfúrea da Cavaca).

- 15) Como já referenciado, a zona do Granjal situa-se a poucos quilómetros da zona de contato entre o complexo Xisto-Grauváquico e o maciço granítico, é para esta zona que conflui pelo menos metade da Bacia do Rio Dão, onde o maciço metassedimentar que genericamente funcionará como “barreira”, promovendo a emergência dos fluidos hidrominerais do Granjal, e eventualmente outros entre o Granjal e Santa Comba Dão.
- 16) A modelação numérica foi possível graças à utilização de ferramentas tecnológicas específicas, das quais se destaca o programa Feflow desenvolvido pela DHI-WASY (2009). Para a aplicação do software foi necessário complementar e definição os parâmetros identificadores do sistema hidrográfico (limites, captações, porosidade, entre outros), para serem definidas os elementos de base na conceção do modelo. Conhecidos os parâmetros de base, foram feitas várias simulações, que resultam as seguintes considerações: cada nascente apresenta-se como independente das demais, além de que as linhas de fluxo das sulfúreas do lado oeste apresentam direções preferenciais NE-SW (Cavaca e Alcafache), NW-SE (Sangemil e Granjal), em sintonia com os principais alinhamentos da bacia, enquanto na água de Sezures as linhas de fluxo tomam preferencialmente a direção ENE-WSW. Não obstante a limitação do software utilizado, que não permitiu a projeção do modelo conceptual em versão 3D, possibilitou do que se entende como modelo conceptual das águas sulfúreas da Bacia do Rio Dão que está esquematizada em planta (carta geológica) e no perfil longitudinal da bacia.
- 17) À superfície, o sistema hidrográfico em geral é delimitado pela linha de cumeada, contudo, a circulação subterrânea é um sistema bem mais complexo, em que a rede de drenagem em profundidade poderá ter tramos em comum com outros sistemas aquíferos (outras bacias hidrográficas). A modelação de um sistema aquífero não deverá ser um elemento estático e nesse sentido poderia ser interessante o contributo no futuro do estudo isotópico mais em detalhe (eventualmente com mais amostras e mais traçadores ambientais) com análise dos recursos da bacia (outras águas não sulfúreas e novos pontos de recolha de águas da chuva), mas também em zonas limítrofes (em especial na Serra de Leomil- zona que se aponta para a de recarga da Cavaca).
- 18) Por fim, enfatiza-se, que o modelo do sistema global ou dos vários subsistemas aquíferos das águas sulfúreas da Bacia do Rio Dão e ainda suas relações com os

sistemas aquíferos superficiais e sub-superficiais, é apresentado nas Figuras 7.2 e 7.3, merecendo realçar, para os sistemas aquíferos de águas sulfúreas, o seguinte:

- i) o grande sistema de falhas ou falha do Rio Dão, de atitude global NE-SW, entende-se que separa as ocorrências que se situam a NW da mesma, das que ocorrem a SE;
 - ii) assim, tal como as águas à superfície na Bacia do Rio Dão evoluem de montante para jusante, entende-se que as águas sulfúreas que ocorrem na dependência do setor a NW da grande falha, alguns fluxos subterrâneos de origem sulfúrea que chegam à zona de Santa Comba Dão terão origem na zona mais a montante da bacia, desde a zona da Cavaca, Alcafache, Sangemil e Granjal; o mesmo se passa para as águas sulfúreas de cada um dos outros polos hidrominerais, em que as águas ali emergentes provêm de setores mais elevados, localizados a montante;
 - iii) a juntar aqueles fluxos oriundos de zonas distantes, em cada setor confluem para o aquífero contributos locais, que por infiltração nas zonas de recarga (a altitudes mais altas, em associação à fraturação), percolam em profundidade até às zonas de descarga; esta percolação é potenciada quando associada zonas em que ocorrem grandes filões;
 - iv) assinale-se que na sequência do ponto anterior e em complemento, alguns contributos locais ocorrem inclusive de outras bacias vizinhas, como se julga ocorrer no caso das Caldas da Cavaca;
 - v) o caso de Sezures, é de fato diferente dos anteriores, entendendo-se que esta água ocorre num sistema diferente, com contribuições de fluxos de origem relativamente profunda, mas com origem diferente das outras sulfúreas da Bacia, em que o estudo isotópico estimou a altitudes de recarga entre 863 m (para ^{18}O) e 575 m (para a projeção de ^2H) que corresponderá a zona da nascente do Rio Dão (Cabesteiros, na envolvente de Eirado).
- 19) De um modo sintético, o modelo geohidráulico hidromineral sulfúreo da bacia do Rio Dão parece ser controlado pela falha do mesmo nome. Esta grande estrutura tectónica coleta e conduz águas infiltradas em diferentes cotas até profundidades de mais de 2200 metros e que em fluxo de montante para jusante, desde a zona da Serra de Leomil até à zona de Santa Comba Dão, vão enriquecendo em mineralização. Em setores específicos elementos de natureza estrutural, litológica e geomorfológica facilitam a ressurgência onde os polos hidrominerais aqui tratados são exemplo.

Muitos são os detalhes sobre a circulação em profundidade que é útil conhecer, quer para a potenciação de novas zonas de exploração, quer para assegurar que as explorações de hoje

não coloquem em risco tão grande património que são as águas sulfúreas e por isso reconhece-se que neste domínio há muito trabalho a realizar.

Acredita-se que o presente estudo é uma alavanca para o incremento do conhecimento das águas sulfúreas da Bacia do Rio Dão, demonstrando o potencial que aquela região detém, para que no futuro aqueles polos hidrominerais, possam ser reconhecidos pelas inúmeras mais-valias que geram no País, quer seja em aplicações no âmbito da saúde pública quer no âmbito das energias renováveis.

Bibliografia

- Afonso de Albuquerque, F. J. R.; Ferreira Gomes, L.M. e Miranda, A.M. (2013). Aproveitamento de energia geotérmica numa unidade hoteleira em São Pedro do Sul-Portugal. Twin International Conferences, 2nd Civil Engineering & 5th Concrete Future, 26-28 May 2013, Covilhã, Portugal.
- Alençõ, A.; Oliveira, A.; Pacheco, F.; Ferreira, C. (2012). Fluxo subterrâneo e dinâmico de aquíferos em meios porosos: Utilização de modelos análogos. Associação Portuguesa de Geólogos, GEONOVAS, n.º 25. 35.
- APIAM, Associação Portuguesa dos Industriais de Águas Minerais Naturais e de Nascente. (2015). Águas Minerais Naturais e de Nascente- Livro Branco. Disponível *on line* em <http://www.apiam.pt/> acedido em 25-02-2017.
- Barreiras, Nuno Miguel de Jesus. (2009). Contribuição para a caracterização e modelação hidrogeológica do concelho do Seixal. Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geológica (Georecursos). Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa. Março 2009.
- Bastos, Cristiana; Quintela, Maria Manuel; Matos, António Perestrelo. (2002). O Novo Aquilégio. Disponível em <http://www.aguas.ics.ul.pt>. Instituto de Ciências Sociais da Universidade de Lisboa e Centro de Estudos de Antropologia Social. Projeto Financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia. Acedido em 30-01-2015.
- Brito, F. C. (2011). Modelação do escoamento subterrâneo do Sector do Ribeiro Frio do sistema aquífero da Água Fonte da Fraga. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil - Geotecnia e Ambiente (2º ciclo de estudos).145p.
- Calado, C. M. A. (2001). A ocorrência de água sulfúrea alcalina no Maciço Hespérico: Quadro Hídrogeológico e Quimiogénese. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Geologia, especialidade de Hidrogeologia Universidade de Lisboa. Lisboa.
- Calado, C.; Almeida, C. (1993). Geoquímica do flúor em águas minerais da Zona Centro-Ibérica. IX Semana de Geoquímica de Língua Portuguesa & Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa. Memórias n.º 3 da Univ. do Porto, Ed. F. Noronha, M. Marques e P. Nogueira, Porto p. 319-323.

- Carreira, P. M.; Nunes, D.; Valério, P.; Araújo, M.F. (2015). Variações Sazonais na Composição Isotópica nas Águas de Precipitação em Portugal Continental- 15 Anos de Registo. XV semana VI Congresso Ibérico de Geoquímica. 2015.
- Carvalho, A. Herculano. (1961). Guia de análises químicas das águas (potáveis, minerais e para a indústria). Revista da Associação dos Estudantes do Instituto Superior Técnico. Lisboa. Lisboa.
- Carvalho, C. R.; Cardoso, A.T. (2004). Projecto HIDROGEST-DÃO-Gestão Integrada dos Recursos Hídricos. 7.º Congresso da Água APRH- 2004.
- Carvalho, José Martins . (2006). Prospecção e Pesquisa de recursos hídricos subterrâneos no Maciço Antigo Português: linhas metodológicas. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento de requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Geociências (Hidrogeologia Aplicada). Universidade de Aveiro.
- Carvalho, José Martins; Marques, Jorge Espinha; Teixeira, J.T; Cerqueira, A. ; Coelho, A.; Gomes, A.; Fonseca. (2005). Prospecção Hidrogeológica da área do sistema hidromineral das Caldas da Cavaca (Aguiar da Beira, Portugal Central): Implicações na Gestão dos Recursos Hídricos Subterrâneos. I Foro Ibérico. Madrid, Marzo de 2005.
- Carvalho, M.R.; Cruz, J. V.; Almeida, C.; Silva, M.O.; (1990). Hidroquímica das águas dos granitos hercínicos das Beiras. Geolis, Revista da Seção de Geologia Ec. E Aplicada, Vol IV. Janeiro de 1990.
- CERENA (2007). Centro de Recursos Naturais e Ambiente. Instituto Superior técnico. Manual de instruções e programa acedido através do endereço eletrónico: <http://biomonitor.ist.utl.pt/~ajsousa/Andad.html>. Acedido a 20-02-2016.
- Cerqueira, Anabela; Teixeira, José; Carvalho, José Martins; Afonso, Maria José; Chaminé, Helder I. (2006). Cartografia aplicada na área do sistema hidromineral das Caldas da cavaca: implicações hidrogeológicas. 10.º Congresso de Geotecnia. Sociedade Portuguesa de Geotecnia. Maio.
- Cerveira, Alberto. (1950). Sobre a Metalogenia do Urânio em Portugal. Congresso Luso Espanhol para o Progresso das Ciências. Lisboa. Outubro 1950.
- Clark, I. & Fritz P. (1997). Environmental isotopes in hidrogeology. Lewis Publishers. New York.

- Costa, T. C.; Plácido, E.P. e Almeida, M.N.; (2003). Projecto de legalização de uma nova água mineral: Granjal - Santa Comba Dão. Trabalho realizado no âmbito de disciplina de Projecto, Curso de Engenharia Geotécnica. U.B.I.
- Custodio, E.; Llamas, M.R.(2001). Hidrogeologia Subterrânea. Segunda Edição. Omega.
- Decreto Regulamentar n.º 9/2002. (2002). Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Mondego. Diário da República n.º 51, I Série B, de 1 de Março de 2002.
- DGGM (1992). Termas e águas engarrafadas em Portugal. Direcção Geral de Geologia e Minas.
- DGMSG (1970). Carta de Nascentes Minerais de Portugal. Escala 1 /1000 000. Nota Explicativa.
- DHI-WASY (2009). Feflow 5.4. Finite Element Subsurface Flow &Transport Simulation System. Installation Guide &Demosntration Exercise. DHI-WASY GmbH. Berlin, Germany.
- Doménico, P. A. & Schwartz, F. W. (1990). Physical and chemical hydrogeology. John Wiley & Sons. 824p.
- ESRI (1999). ArcGIS- Sistema de informação geográfica (GIS) para trabalhar mapas e informações geográficas. Utilizado o aplicativo como utilizador estudante. Registo feito em <http://www.esri.com/arcgis/about-arcgis> acedido em 20-02-2016.
- Feitosa, F. A.C.; Filho, J. M. (2002). Hidrogeologia conceitos e aplicações. 2ª edição. CPRM. Serviços Geológicos do Brasil.
- Ferrari de Almeida, João Carlos Engrácia. (2010). O Termalismo no Vale do Rio Dão. Dissertação de Mestrado em Turismo, Recursos Locais, Animação e Desenvolvimento. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- Ferreira Gomes, L. M. (2004). Estudos hidrogeoambientais aplicados à pesquisa de uma nova água mineral em Santa Comba Dão. Projecto sobre a Água Sulfúrea do Granjal para Câmara Municipal de Santa Comba Dão. Universidade da Beira Interior. Covilhã.
- Ferreira Gomes, L. M.; Afonso de Albuquerque, F.J.R. (1997). A utilização em multi-usos de água minero-termal do campo geotérmico de S. Pedro do Sul. 4.º Congresso da Água-APRH.
- Ferreira Gomes, L. M.; Guedes, J. Ferreira; Gomes da Costa, T.C.; Coelho Ferreira, P.J.; Trota, A.P. Neves (2014). Geothermal potential of Portuguese granitic rock masses: lessons learned from deep boreholes. Revista Environ Earth Sci. DOI 10.1007/s12665-014-3605-y. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Agosto 2014.

Ferreira, António M. P. J. (2000). Dados Geoquímicos de Base de Sedimentos Fluviais de Amostragem de Baixa Densidade de Portugal Continental: Estudo de Factores de Variação Regional. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Geociências. Departamento de Geociências. Universidade de Aveiro.

Ferreira, Maria do Rosário Nogueira (2013). Evolução hidrogeoquímica das águas sulfúreas de Entre-os-Rios: avaliação preliminar. Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente. Departamento de Engenharia Geotécnica. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Gomes da Costa, T. C. (2011). Estudos hidrogeológicos para o licenciamento de uma nova água mineral termal na zona do Granjal- Santa Comba Dão. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Geotecnia Aplicada, Universidade da Beira Interior. Covilhã.

Gomes da Costa, T. C.; Ferreira Gomes, L. M.; Sousa Oliveira, A. (2014). Contribuição para a caracterização da fraturação e do potencial hidráulico e energético do maciço granítico- Santa Comba Dão. 14.º Congresso Nacional de Geotecnia. Covilhã. Abril 2014.

Gomes da Costa, T.C. (2017). Perímetro de proteção da água mineral termal- Granjal-Santa Comba Dão. Câmara Municipal de Santa Comba Dão. Fevereiro 2017.

GoogleEarth (2017). Extrato da imagem de satélite da região da Bacia do Rio Dão. Google Earth acedido em 10 de Fevereiro de 2017.

IGE (1993). Mapa à Escala 1/25 000. Carta Militar de Portugal, Folha nº 210, Santa Comba Dão.

IGE (1995). Mapa à Escala 1/50 000. Carta Militar de Portugal, Folha nº 17- III, Santa Comba Dão.

IGE (1995). Mapa à Escala 1/50 000. Carta Militar de Portugal, Folha nº 17- IV, Viseu.

IGE (1995). Mapa à Escala 1/50 000. Carta Militar de Portugal, Folha nº 17- II, Gouveia.

IGE (1995). Mapa à Escala 1/50 000. Carta Militar de Portugal, Folha nº 17- I, Fornos de Algodres.

IGE (1995). Mapa à Escala 1/50 000. Carta Militar de Portugal, Folha nº 14- II, Aguiar da Beira.

- IGeoE (2005). Mapa à Escala 1/250 000. Carta Militar de Portugal, Folha nº 4- Viseu.
- IGeoE (2005). Mapa à Escala 1/250 000. Carta Militar de Portugal, Folha nº 3- Coimbra.
- IGM (1999). Recursos Geotérmicos em Portugal Continental. Catálogo de Recursos Geotérmicos. CD-ROM. Versão 1.0.
- Lencastre, A. e Franco, F.M. (1992); Lições de Hidrologia. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.
- Lima, Alberto (2010); Composição e Origem das Águas Minerais Naturais- Exemplo de Caldas da Saúde. Edições Almedina.SA Junho 2010.
- LNEG- LGM, Unidade de Águas Subterrâneas. (2010). Hidrogeologia. Notícia explicativa da folha 17-A: Viseu. Carta Geológica de Portugal. Escala 1/50 000. Laboratório Nacional de Energia e Geologia. Acedido através do endereço <http://onlinebiblio.lneg.pt/plinkres.asp?Base=MONO&Form=COMP&SearchTxt=%22DE+Sistemas+aqu%EDferos%22+%2B+%22DE+Sistemas+aqu%EDferos%24%22&StartRec=0&RecPag=5> acedido a 01-07-2015.
- LNEG, Laboratório Nacional de Energia e Geologia (2006). Catálogo de Recursos Geotérmicos. Informação consultada em <http://geoportal.lneg.pt/> acedida a 01-07-2015.
- LNEG, Laboratório Nacional de Energia e Geologia (2010). Hidrolex Léxico de termos Hidrogeológicos. Informação consultada em <http://geoportal.lneg.pt/> acedida a 09-09-2016.
- Mapa Escolar de Portugal. (2011). Execução Gráfica de Bloco Gráfico, Lda. Porto Editora.
- Marcos, Tiago M. S (2016). Contribuição para o Conhecimento do Potencial Geotérmico do Distrito da Guarda. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil- Geotecnia e Ambiente. Universidade da Beira Interior. Covilhã. Novembro.
- Marques, J. M.; Graça, H.; Eggenkamp, H.G.M.; Carreira, Paula M.; Mayer, B.; Nunes, D. (2012). Contribuição de traçadores geoquímicos e isotópicos para avaliação das águas termais das Caldas da Rainha. Comunicações Geológicas (2012).Laboratório Nacional de Energia e Geologia. Disponível em http://www.lneg.pt/download/6012/6_ART_CG11-052-1910_FINAL_A.pdf . Acedido em 29-02-2016.
- Marques, J.M.V.V.B. (1999). Geoquímica dos fluídos e da interação água-rocha: os casos das águas mineralizadas quentes e frias de Chaves, Vilarelho da Raia, Vidago, e Pedras

Salgadas. Tese de Doutoramento. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior Técnico.

Marques, José M.; Carreira, Paula M.; Aires-Barros, Luís A. (2007). A Hidrologia Isotópica na Avaliação de Recursos Hidrominerais e Geotérmicos: O caso de estudo de algumas águas gasocarbónicas do Norte de Portugal Continental. Boletim de Minas. Vol 42 n.º1. Direcção Geral de Energia e Geologia. Lisboa. 2007.

Mendes, Eric. (2010). Modelo Geohidráulicos em Meios Fraturados de Rochas Graníticas. Caso de Estudo do Aquífero da Fonte da Fraga- Serra da Gardunha. Dissertação apresentada para a obtenção do Grau de Doutor em engenharia Civil. Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura. Faculdade de Engenharia. Universidade da Beira Interior. Setembro.

Morais, Manuel J. F. (2012). Sistemas hidrominerais nos terrenos graníticos da zona Centro-Ibérica em Portugal Central: Perspectivas químicas, isotópicas e genéticas sobre as águas sulfúreas. Doutoramento em Engenharia Geológica, especialidade em Hidrogeologia e Recursos Hídricos. Universidade de Coimbra.

Município de Aguiar da Beira. (2015). Câmara Municipal de Aguiar da Beira. Disponível em <http://www.cm-aguiardabeira.pt>. Acedido em 31-01-2015.

Nunes, G.M.T. (2012). Ordenamento do espaço termal. Uma visão sobre o corredor entre Santa Comba Dão e as Termas do Granjal. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Sistemas de Informação Geográfica. Universidade da Beira Interior.

PBHM. (1998). Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Mondego. Síntese da Análise e Diagnóstico da Situação Actual. Volume II- Enquadramento. 1.ª Fase - Análise e Diagnóstico da Situação Actual.

PBHRM. (2000). Ambio Consultores de Engenharia e Tecnologia do Ambiente, Lda; Chi R.º. N; Agripro Ambiente Consultores SA.; Drena, Estudos e Projetos de saneamento, Lda; HLC Engenharia e Gestão de Projetos, S.A. e FBO Consultores. Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Mondego. 1.ª Fase Análise e Diagnóstico da Situação Actual. Anexo 1- Análise Biofísica. Relatório Complementar do Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Mondego. Revisão 1. 09-10-2000.

PBHRM.(1998). Ambio Consultores de Engenharia e Tecnologia do Ambiente, Lda; Chi R.º. N; Agripro Ambiente Consultores SA.; Drena, Estudos e Projetos de saneamento, Lda; HLC Engenharia e Gestão de Projetos, S.A. e FBO Consultores. Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Mondego. 1.ª Fase Análise e Diagnóstico da Situação Actual.

Volume II Enquadramento. Relatório Complementar do Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Mondego. Novembro de 1998.

- Pereira, Alcides J. S.C.; Siva, Antunes; Lourenço, Carla; Rodrigues, Catarina; Gomes, Celso S.F.; Lourenço, Cristina; Rodrigues, Fernando J. T.; Teixeira, Frederico; Chaminé, Hélder I; Silva, João B.P.; Guedes, Joaquim F.; Cortez, José A. S.; Marques, José Manuel; Carvalho, José Martins; Teixeira, José; Aires-Barros, Luís; Ferreira Gomes, L.M.; Canto, Maria José; Costa, Milton Simões; Morais, Paula Vasconcelos. (2012). Águas Minerais Naturais e de Nascente da Região Centro. Coordenação de José Simões Cortez. Mare Liberum-Editora para a FEDRAVE. Novembro de 2012.
- Pereira, Inês F. G. M. (2014); Petrologia e geoquímica dos migmatitos e granitoides do sector Figueira de Castelo Rodrigo - rio Águeda: evolução litológica e estrutural no contexto da zona de Cisalhamento Juzbado - Penalva do Castelo; Dissertação de Mestrado em Ciências da Terra, da Atmosfera e do Espaço. Departamento de Geociências. Escola de Ciências e Tecnologia. Universidade de Évora.
- POAA. (2005). Plano de Ordenamento da Albufeira da Aguieira. Estudos de Base (versão revista). AGRUPRO Ambiente Consultores, S.A.; Diâmetro Estudos Projetos; ENGIDRO, Estudos de Engenharia, Lda. Instituto da Água. Abril 2005.
- QCAD. (2016). Software QCAD - aplicativo gratuito para CAD (Computer aided drafting) em duas dimensões (2D). RibbonSoft. GNU General Public License. Acedido e transferido através do endereço eletrónico <https://www.qcad.org/en/qcad-cam-downloads-trial>. Acedido a 20-01-2016
- Rebelo, M.; Silva, E. F; Rocha, F. (2014). Characterization of Portuguese thermo-mineral waters to be applied in peloids maturation. Revista Environ Earth Sci. DOI 10.1007/s12665-014-3670-2. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. September 2014.
- Rybach, L. (1990). Determination of thermal water circulation depth, with examples from the Valaisan Alps, Switzerland. Memoires of the 22nd Congress of IAH. Vol. XXII. Lusane.
- S.G.P. (1992). Serviços Geológicos de Portugal. Carta Geológica de Portugal. Escala 1/500000. Lisboa.
- SNIRH (2016). Sistema Nacional de Informação dos Recursos Hídricos, Dados Base. acedido a 28 de Março 2016 em: <http://snirh.pt/>.
- Soeiro, C. (2009). Estudos Hidrogeoambientais para a implantação de uma nova unidade termal- Caso de estudo de água sulfúrea da Fonte Santa de Águas- Penamacor.

Universidade da Beira Interior. Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura.
Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Geotecnia Ambiental.

Sousa Oliveira, Alcino (2001). Hidrogeologia dos Sistemas Gasocarbónicos da Província Hidromineral Transmontana: Ribeirinha (Mirandela), Sandim (Vinhais) e Segirei e Salgadela (Chaves). Dissertação apresentada na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro para a obtenção de grau de Doutor em Geologia. Departamento de Geologia. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real.

Sousa Real, F. C.; (1987). Carta Geológica. Notícia Explicativa I.12. Atlas do Ambiente. Secretaria de Estado do Ambiente e Recursos Naturais. Lisboa

Suñé, Enric Vázquez. (2001). Mini-Manual de EASY-QUIM.4. Ficheiro em formato de Excel, para apresentação do diagrama de Piper. Ficheiro acedido através da plataforma GeoCities. Ficheiro disponível para transfeência através do endereço eletrónico www.oocities.org/es/carles_fernandez/.../EASY_QUIM.4.xls. Acedido em 04.05.20017

Teixeira, C.; Carvalho, L. H. B.; Barros, R. F.; Martins, J.A.; Haas,W.E.L..(1961). Notícia explicativa da folha 17-C Santa Comba Dão (Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50000). Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.

Teixeira, Federico (2015). Termas do Granjal- Uma aposta na terapêutica termal e no bem estar. Workshop Projeto Termal do Granjal - Um Recurso com Futuro. Câmara Municipal de Santa Comba Dão. Maio 2015.

Termas de Portugal (2015). Associação de Termas de Portugal. Disponível em <http://www.termasdeportugal.pt>. Acedido em 30-01-2015.

UNESP (2010). Universidade Estadual Paulista- Campus do Rio Claro. Apontamentos da Disciplina de Hidrogeologia. Site: [http:// xa.yimg.com/ kq/groups/21920463/ 1492373612/name/Modelos+em+Hidrogeologia.ppt](http://xa.yimg.com/kq/groups/21920463/1492373612/name/Modelos+em+Hidrogeologia.ppt). Acedido a 20-01-2013.

Anexo

CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DOS PONTOS DE ÁGUA EM ESTUDO

O presente Anexo é composto pelos seguintes itens:

- I.1 Pontos de água referenciados na bibliografia;
- I.2 Resultados de análises das amostras recolhidas no âmbito do presente trabalho;
- I.3 Resultados das leituras efetuadas na origem de cada um dos pontos de água (levantamento de campo).

Tendo em conta a extensão da Bacia do Rio Dão, na Figura A1.1 estão indicados os principais pontos referenciados na bibliografia e que coincidem com a nomenclatura atribuída aos pontos de água.

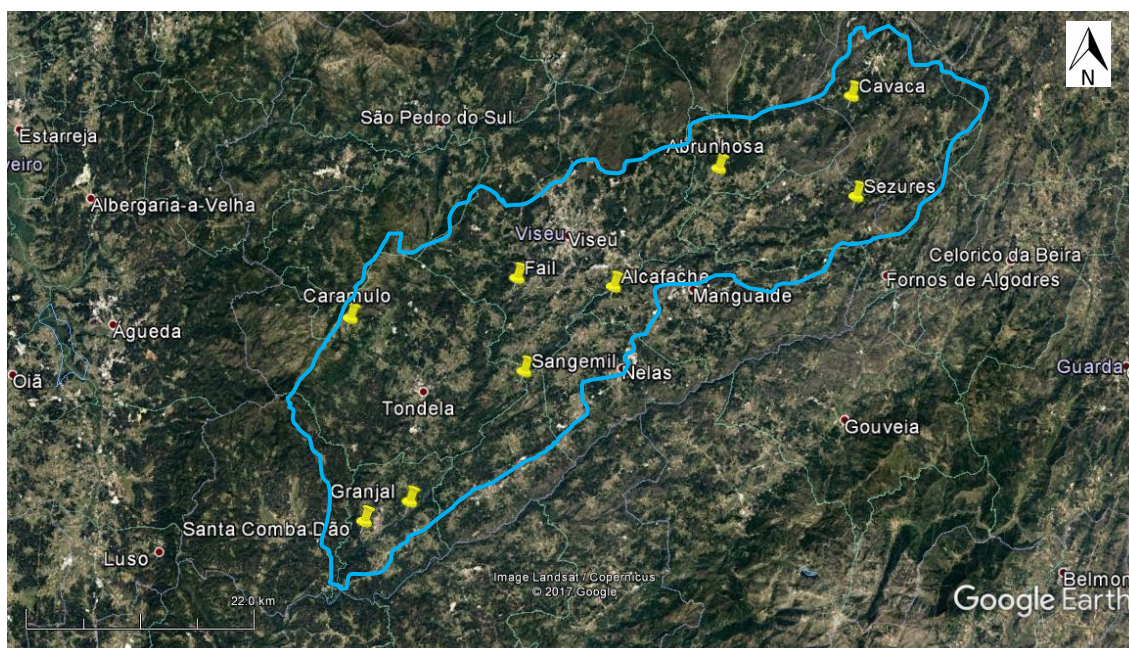


Figura A1.1- Localização esquemática na Bacia de alguns pontos de água estudados e referenciados na bibliografia.

I.1 Pontos de água referenciados na bibliografia

Tabela A1.1- Parâmetros físico-químicos e isotópicos de águas referenciadas na bibliografia.

PARÂMETRO	Ponto de água - Código	Cavaca (sulfúrea) CVC									
	Referência bibliográfica	DGGM	In Ferreira Gomes 2004		In Morais 2012	LNEG 2006	In Calado, 2001	GDTP* (F3) 2008	GDTP* (F3) 2008	GDTP* (F2) 2008	GDTP* (F1) 2008
	Data de amostra	1986	1975	1999	1996	2006		2008	2008	2008	2008
	Captação		nascente	nascente	nascente						
	Caudal espontâneo (L/s)						0,2				
	Temperatura °C	27,9	29,6		30		29 30		31,2	23,4	
	pH	8,3	8,2	8,28	8,06	8,26	8,18	8,31	8,4	8,3	8,32
	Condutividade (µS/cm)	335		357	400	335		343	337	353	352
	Alcalinidade (mL/L)		2,66	27,5		219,5					
	Dureza (p.p. 10 ³ CaCO ₃)	1,58	1,6	1,5		13					
	Silica (mg/L de SiO ₂)	56	51,8	57,2	56,8	56		57	57	59	58
	CO ₂ total (mmol/L de CO ₂)		5,1	<5,0							
	Sulf. total (mL/L de I ₂ 0.01N)			4,0		4,7		6,6	5,4	7,5	4,2
	Eh, mV				-12						
	O ₂ dissolvido, mg/L				0,1						
	CID, mmol/L				2,45						
	TDS										
	Resíduo seco a 180°C (mg/L)	273	271,6	261		257		261	257	272	269
	Mineralização Total (mg/L)	360		336,7	326,9	331,53		339	337	351	350
Aniões (mg/L)	F	15	2,6	14	13,7	14		14	14	14	14
	Cl ⁻	21	23,8	20,2	19,2	19		19	19	20	21
	HCO ₃ ⁻	163,5	162,3	154	145,4	154		154	153	155	159
	HS ⁻	0,05	0,2		0,8			1	0,9	1,2	0,7
	SO ₄ ²⁻	1,9	1,7	1,9	0,6	1,9		1,4	2,9	2,4	1,8
	NO ₃ ⁻		0,2	<0,12	0,15	<0,3					
Catiões (mg/L)	NO ₂ ⁻			<0,02	<0,01	<0,01					
	Li ⁺	0,40	0,3	0,43	0,46	0,4		0,43	0,43	0,45	0,46
	Na ⁺	86,7	76,7	79,4	77,5	76		80	79	82	83
	K ⁺	2,7	4,4	2,7	2,6	4,5		3,9	2,8	3,9	2,6
	Mg ²⁺	0,46	1,34	0,09	0,08	<0,10				0,14	0,15
	Ca ²⁺	5,9	4,2	5,9	5,4	5,2		5,4	5,4	6,2	6,1
Elementos Secundários (µg/L)	NH ₄ ⁺			<0,1	0,06	0,09		0,08	0,13	0,1	0,07
	Al	40							3	3	
	As	5							4	3,8	
	B								80	80	
	Ba		10								
	Be								0,4	0,7	
	Br	20	20								
	Cr	5,2									
	Cd	0,2									
	Co	2									
	Cs	30									
	Cu	62	20								
	Fe	25	80								
	Mn	3,9	10						9	13	
	Mo										
	Ni	8,2									
	Pb	20,5									
	Rb	0,03									
	Sb										
	Se										
Sr	340	20						40	50		
U											
W											
V											
Y											
Zn	18,1	20									
Isótopos-Estáveis	δ ¹⁸ O (H ₂ O), ‰ vs VSMOW				-7,29						
	δD (H ₂ O), ‰ vs VSMOW				-46,6						
Isótopos-Radioativos	Tritio, U.T.				0,85±0,8						

Tabela A1.1- Parâmetros físico-químicos e isotópicos de águas referenciadas na bibliografia.

Ponto de água - Código		Caramulo (não sulfúrea) CMR	Cavaca (não sulfúrea) CVC-FR	Sangemil (não sulfúrea) SA4	Alcafache (não sulfúrea) Alc-1
PARÂMETRO					
Referência bibliográfica		In Morais,2012	In Morais 2012	In Calado, 2001	In Calado, 2001
Data de amostra		1998	1996	1990	1986
Captação		Furo Car4	nascente	Nascentes	
Caudal espontâneo (L/s)			0,06		
Temperatura °C		15,7	12,5	13	13,3
pH		8,11	5,74		
Condutividade (µS/cm)		119	50		
Alcalinidade (mL/L)					
Dureza (p.p.10 ³ CaCO ₃)					
Sílica (mg/L de SiO ₂)					
CO ₂ total (mmol/L de CO ₂)					
Sulf. total (mL/L de I ₂ 0.01N)					
Eh, mV			393		
O ₂ dissolvido, mg/L		1,5	6,2		
CID, mmol/L		1,24	0,92		
TDS					
Resíduo seco a 180°C (mg/L)					
Mineralização Total (mg/L)		152,3	24,5		
Aniões (mg/L)	F ⁻				
	Cl ⁻	6,5	6,2		
	HCO ₃ ⁻	9,5	74,6		
	HS ⁻				
	SO ₄ ²⁻	1	6,4		
	NO ₃ ⁻				
Catiões (mg/L)	NO ₂ ⁻				
	Li ⁺		0,11		
	Na ⁺	4,8	27,1		
	K ⁺	1	0,73		
	Mg ²⁺	1	1,26		
	Ca ²⁺	0,74	5,4		
Elementos Secundários (µg/L)	NH ₄ ⁺				
	Al				
	As				
	B				
	Ba				
	Be				
	Br				
	Cr				
	Cd				
	Co				
	Cs				
	Cu				
	Fe				
	Mn				
	Mo				
	Ni				
	Pb				
	Rb				
	Sb				
	Se				
Sr					
U					
W					
V					
Y					
Zn					
Isótopos- Estáveis	δ ¹⁸ O (H ₂ O), ‰ vs VSMOW			-5,36	-5,66
	δD (H ₂ O), ‰ vs VSMOW			-32,7	-38,0
Isótopos- Radioativos	Tritio, U.T.				0,0

Tabela A1.1- Parâmetros físico-químicos e isotópicos de pontos de água da Bacia do Rio Dão referenciados na bibliografia (continuação).

PARÂMETRO	Ponto de água Código	Sezures (sulfúrea) SZR		Alcafache (sulfúrea) ALC					
		In Morais 2012	Ferreira Gomes, 2004	DGGM (1992)	In Morais 2012	LNEG, 2006	Rebello <i>et al.</i> 2014		Calado, 2001
Referência bibliográfica		1996	1975	1999	1988	1996			1990
Data de amostra		1996	1975	1999	1988	1996			1990
Captação		nascente				nascente		nascente	nascente
Caudal espontâneo (L/s)						1,4			1,4
Temperatura °C		18	50,9		48,2	50,4		52,00	50,90
pH		7,56	8,38	8,44	8,4	8,48	8,45	8,20	8,38
Condutividade (μScm^{-1})		500		458	520	800	402,0	325,0	327,0
Alcalinidade (mL/L)				30			26,50		
Dureza (p.p.10 ³ CaCO ₃)				1,2	1,2		1,1		
Silica (mg/L de SiO ₂)		37,6	63,6	57,7	51,5	56,2	61,3		
CO ₂ total (mmol/L de CO ₂)									
Sulfuração total (mL/L de I ₂)			8,68	2,5	1,6		0,7		
Eh, mV		155				-4			
O ₂ dissolvido, mg/L		1,5				0,2			
CID, mmol/L		4,20				2,77			
TDS								541,0	545,0
Resíduo seco a 180°C (mg/L)			320	311	288,4		294		
Mineralização Total (mg/L)		491,4		392	359,7	389,9	318,79		
Aniões (mg/L)	F ⁻	20	14,5	18,1	14,0			17,8	17,8
	Cl ⁻	40,3	37,0	35,9	33,7	34,4		34	37
	HCO ₃ ⁻	239,9	187,9	163,0	2,4	162,0		197	177
	HS ⁻	<i.d.	1,37		0,07	0,1			
	SO ₄ ²⁻	<i.d.	1,6	2,7	3,4	4,2		3	6
	NO ₃ ⁻		0,04	0,27		0,35		1	1
Catiões (mg/L)	NO ₂ ⁻					<0,01			
	Li ⁺	-	0,37	0,75	0,7	0,85		0,76	0,75
	Na ⁺	130	105,0	99,8	91,5	100,0		96	106
	K ⁺	2,6	3,43	2,7	2,56	2,3		2	2
	Mg ²⁺	0,55	0,31	0,15		0,13		0,1	0,1
	Ca ²⁺	3,9	4,46	4,3	4,8	4,4		5	5
Elementos Secundários (µg/L)	NH ₄ ⁺			<0,10		<0,06			
	Al		<10					8	61
	As		<10		11			6	10
	B				280			145	141
	Ba		-					242	16
	Be				8				
	Br		0,02		226			267	272
	Cr							6	2
	Cd				2				
	Co				10				
	Cs							123,6	126,4
	Cu		8,8					1	21
	Fe				112			5	89
	Mn				10			6	5
	Mo				7			5,6	5,5
	Ni								
	Pb		<2		60				
	Rb							54,6	55,3
	Sb								
	Se								
Sr							81	88	
U							16,3	8,55	
W				51			68,3	56,3	
V									
Y				1			0,1	0,1	
Zn		62		11			0,3	8,9	
Isótopos- Estáveis	$\delta^{18}\text{O}$ (H ₂ O), ‰ vs VSMOW					-6,12			
	δD (H ₂ O), ‰ vs VSMOW					-39,8			-38,5
Isótopos- Radioativos	Tritio, U.T.					0,0±0,7			0,5

Tabela A1.1- Parâmetros físico-químicos e isotópicos de pontos de água da Bacia do Rio Dão referenciados na bibliografia (continuação).

Ponto de água Código		Sangemil (sulfúrea) SGM							
PARÂMETRO	Referência bibliográfica	Ferreira Gomes,2004		DGGM,199	Ferrari 2010	In Morais, 2012	Rebelo <i>et al.</i> 2014		Calado, 2001
	Data de amostra	1975	1999	1988	2005	1996			1990
	Captação	nascente	nascente			Furo HDN1	Furo HN1	Furo HN2	Nascente principal
	Caudal espontâneo (L/s)								
	Temperatura °C	49,50		48	49,00	49,10	45,00	45,00	49
	pH	8,12	8,11	8,4	8,22	8,11	8,30	8,00	
	Condutividade (μScm^{-1})		528	555	515,00	900	352	330	
	Alcalinidade (mL/L)	30	30,7		30,80				
	Dureza (p.p.10 ² CaCO ₃)	1,3	1,4	1,45	1,3				
	Sílica (mg/L de SiO ₂)	73,5	89,8	51,5	85,2	83,3			
	CO ₂ total (mmol/L de CO ₂)		<5						
	Sulfuração total (mL/L de I ₂ 0.01N)		19,1	20,6					
	Eh, mV					-94			
	O ₂ dissolvido, mg/L					<0,1			
	CID, mmol/L					2,86			
	TDS						586	550	
	Resíduo seco a 180°C (mg/L)	384,4	390	394,6	395				
	Mineralização Total (mg/L)		475	359,7		463			
Aniões (mg/L)	F	17,5	16,6	17,2	17,8	17,5	17,1	17,1	
	Cl	56,1	54	54,3	55	54,7	58	66	
	HCO ₃ ⁻	176,3	179	170,8	187	169	197	217	
	HS	3,7		0,07		3,7			
	SO ₄ ²⁻	4,2	4,4	7,4	5	4,5	15	15	
	NO ₃		0,33		0,23	0,32	1	1	
Catiões (mg/L)	NO ₂		<0,02		0,01	<0,01			
	Li ⁺		1,5	1,44	1,34	1,51	0,157	0	
	Na ⁺	120,3	116	113,5	118	113	129	138	
	K ⁺	3,8	4,5	4,5	4,1	4,3	4	5	
	Mg ²⁺	2,2	0,13	0,11	0,14	0,12	0,1	0,1	
	Ca ⁺⁺	1,6	5,2	5,6	5,1	5,1	5	4	
Elementos Secundários (µg/L)	NH ₄ ⁺		0,32		0,37	0,38			
	Al						7	3	
	As						8	7	
	B			2123			857	843	
	Ba						0,7	1	
	Be			0,5					
	Br			376			416	426	
	Cr						7	7	
	Cd								
	Co								
	Cs						257,8	274,9	
	Cu						1	1	
	Fe	80					5	11	
	Mn			6			9	6	
	Mo						2,2	2	
	Ni								
	Pb								
	Rb						94,4	108,8	
	Sb								
	Se						2	2	
Sr						60	61		
U						0,1	0,04		
W				92		142,5	148,1		
V						0,6	0,5		
Y									
Zn				4			1,3	1,9	
Isótopos- Estáveis	δ ¹⁸ O (H ₂ O), ‰ vs VSMOW					-5,48			-5,62
	δD (H ₂ O), ‰ vs VSMOW					-36,8			-36,8
Isótopos- Radioativos	Tritio, U.T.					0±0,6			8,1

Tabela A1.1- Parâmetros físico-químicos e isotópicos de pontos de água da Bacia do Rio Dão referenciados na bibliografia (continuação).

PARÂMETRO	Ponto de água - Código	FAIL (não sulfúrea) FAI		Alcafache (não sulfúrea) ALC-FR	Sangemil (não sulfúrea) SGM-FR	Granjal (não sulfúrea) GRJ-FR	Granjal (sulfúrea) GRJ	
		nascente		nascente	nascente	nascente	furo AQ1	nascente
Referência bibliográfica		Calado, 2001	Morais 2012	Morais 2012	Morais, 2012	Morais, 2012	Gomes da Costa (2011)	Morais, 2012
Data de amostra			1996	1996	1996	1996	2010-2011	1996
Caudal espontâneo (L/S)					0,05	0,02	1,4	
Temperatura °C			16,3	11,6	14,2	14,3	22,7	18,3
pH		5,95	6,02	5,90	5,82	6,67	9,06	8,69
Condutividade (μScm^{-1})			150	75	60	90	643	630
Alcalinidade (mL/L)							3,7	
Dureza (p.p. 10^3CaCO_3)							0,6	
Sílica (mg/L de SiO_2)		18					44,8	58,5
CO_2 total (mmol/L de CO_2)		48,5					2,54	
Sulfuração total (mL/L de I_2 0.01N)							53,5	
Eh, mV			405	320	377	369		-77
O_2 dissolvido, mg/L			6,2	5,5	5,1	7,2		<0,1
CID, mmol/L			0,71	1,53	1,25	1,02		2,79
TDS		165						
Resíduo seco a 180°C (mg/L)							433,4	
Mineralização Total (mg/L)			73,1	37,7	32,3	67,7	496,5	532,8
Aniões (mg/L)	F ⁻						27,7	26
	Cl ⁻	44	19,3	5,2	5,7	6,6	74,3	71,8
	HCO_3^-	22,0	13	21	15,5	40,2	145,3	164,2
	HS^-						8,8	6,8
	SO_4^{2-}	10,2	17	0,4	1,2	2,1	10,6	29,5
	NO_3^-						0,17	-
Catiões (mg/L)	NO_2^-							-
	Li^+						0,38	
	Na^+	34,7	17,1	7,2	7,3	12,6	155,17	165
	K^+		0,7	0,3	0,5	0,35	2,90	2,8
	Mg^{2+}	3,9	2,05	0,82	0,61	1,47	-	
	Ca^{2+}	7,6	3,9	2,8	1,5	4,4	2,22	2,0
Elementos Secundários ($\mu\text{g/L}$)	NH_4^+							
	Al						14	
	As							
	B						1120	
	Ba						0,18	
	Be							
	Br							
	Cr							
	Cd							
	Co							
	Cs						39,9	
	Cu							
	Fe	40						
	Mn						2,2	
	Mo						1,23	
	Ni							
	Pb							
	Rb						55,5	
	Sb							
	Se							
Sr						22,1		
U								
W						82,4		
V						0,80		
Y								
Zn								
Isótopos-Estáveis	$\delta^{18}\text{O}$ (H_2O), ‰ vs VSMOW							-5,06
	δD (H_2O), ‰ vs VSMOW							-32,7
Isótopos-Radioativos	Tritio, U.T.							0,92±0,8

I.2. Resultados de análises das amostras recolhidas no âmbito do presente trabalho

Tabela A1.II - Parâmetros físico-químicos e isotópicos das amostras efetuadas ao longo da Bacia do Rio Dão.

PARÂMETRO	Ponto de água Código	Tondela (Chuva) PVHQ	A. Beira (Chuva) PAG	Santa C. Dão (chuva) PGRQ	Cavaca (não sulfúrea) FCR	Sangemil (não sulfúrea) SGM-FR
pH (20 °C)		5,17		5,31		
Condutividade-(μScm^{-1})		9		9		
Alcalinidade (mL/L)		<0,05		0,1		
Dureza (p.p. $\cdot 10^3\text{CaCO}_3$)		0,10		0,10		
Silica (mg/L de SiO_2)		<1,1		<1,1		
Silício total (mg/L de SiO_2)						
CO_2 total (mmol/L de CO_2)						
Sulfuração total (mL/L de I_2 0.01N)						
Resíduo seco a 180°C (mg/L)		2		4		
Aniões (mg/L)	F ⁻	< 0,25		<0,25		
	Cl ⁻	1,0		1,3		
	HCO_3^-	<0,3		0,5		
	CO_3^{2-}					
	HS ⁻					
	SO_4^{2-}	<0,72		0,7		
	H_3SiO_4^-					
	H_2PO_4^-	<0,53		<0,53		
	NO_3^-	0,53		<0,39		
Catiões (mg/L)	NO_2^-	0,01		0,05		
	Li ⁺					
	Na ⁺	0,68		0,69		
	K ⁺	0,11		0,18		
	Mg ²⁺	0,09		0,11		
Aniões (mg/L)	Ca ²⁺	<0,16		0,40		
	NH ₄ ⁺	<0,1		<0,1		
Catiões (mg/L)		1,5				
Catiões (mg/L)		0,88				
Silica (mg/L)		<1,1				
Mineralização total (mg/L)		2		4		
Elementos Secundários (µg/L)	Be	<0,13		<0,13		
	B	<2,5		<2,5		
	Al	5,8		3,6		
	V	0,11		0,10		
	Cr	<0,63		<0,63		
	Mn					
	Co	<0,13		<0,13		
	Ni	<0,63		<0,63		
	Cu	<1,3		<1,3		
	Zn	4,10		5,50		
	As	<2,5		<2,5		
	Se	<0,63		<0,63		
	Rb	<0,63		<0,63		
	Sr	<3,1		<3,1		
	Y	<0,06		<0,06		
	Zr					
	Nb					
	Mo	<0,06		<0,06		
	Ag	<0,13		<0,13		
	Cd	<0,06		<0,06		
	Sn	<0,63		<0,63		
	Sb	<0,25		<0,25		
	Te					
	Cs	0,2		<0,13		
	Ba	<2,5		<2,5		
	Ta					
	W	<0,25		<0,25		
	Hg					
	Tl	<0,06		<0,06		
	Pb	<0,25		<0,25		
Bi	<0,06		<0,06			
U	<2,5		<2,5			
Isótopos- Estáveis	$\delta^{18}\text{O}$ (H ₂ O), ‰ vs VSMOW	-3,58	-5,37	-2,46	-6,11	-5,12
	δD (H ₂ O), ‰ vs VSMOW	-25,3	-35,0	-19,5	-35,2	-29,6
Isótopos- Radioativos	Tritio, U.T.	1,4±0,4	3,1±0,4	0,9±0,4	0,5±0,4	2,1±0,4

P.A. - Pontos de água com referência no Levantamento de campo

Tabela A1.II - Parâmetros físico-químicos e isotópicos das amostras efetuadas ao longo da Bacia do Rio Dão. (continuação)

PARÂMETRO	Ponto de água	Santa C. Dão	Santa C. Dão	Granjal	Granjal	Sezures
	Código	(não sulfúrea) BBQ (P. A n.º 143)	(não sulfúrea) CVQ (P.A.n.º 142)	(não sulfúrea) GRJ-FR	(sulfúrea) GRJ (P.A. n.º 147)	(sulfúrea) SZU (P.A. n.º 43)
Captação		Nascente	Nascente	Nascente	Furo AQ1	Nascente
Temperatura		15,2	15,9	14,3	22,7	
pH (20 °C)		5,63	6,41		9,07	8,17
Condutividade-(μScm^{-1})		158	224		634	542
Alcalinidade (mL/L)		1,7	3,3		32,7	45,0
Dureza (p.p.10 ³ CaCO ₃)		4,60	3,40		0,6	1,40
Silica (mg/L de SiO ₂)		16,9	7,9		45,5	40,0
Silício total (mg/L de SiO ₂)						
CO ₂ total (mmol/L de CO ₂)						4,56
Sulfuração total (mL/L de I ₂)					51,1	<0,25
Resíduo seco a 180°C (mg/L)		129	155		429,9	381
Aniões (mg/L)	F ⁻	<0,25	<0,44		29,00	15,9
	Cl ⁻	18,2	22,5		76,00	39,1
	HCO ₃ ⁻	10,6	20,3		168,10	275,0
	CO ₃ ⁻					
	HS ⁻				7,7	
	SO ₄ ²⁻	26,2	29,4		9,60	<1,0
	H ₂ SiO ₄					
	H ₂ PO ₄ ⁻	<0,53	1,3			
	NO ₃ ⁻	28,4	30,9		0,20	0,42
Catiões (mg/L)	NO ₂ ⁻	0,01	0,03		<0,0005	<0,005
	Li ⁺				0,39	0,61
	Na ⁺	16,9	23,9		155,7	140
	K ⁺	2,2	17,3		2,90	2,9
	Mg ²⁺	5,5	2,9		0,04	0,44
Aniões (mg/L)	Ca ²⁺	9,2	8,70		2,30	4,80
	NH ₄ ⁺	<0,1	<0,1		0,29	<0,1
Catiões (mg/L)		2,6	104,0			330,0
Silica (mg/L)		1,4	52,9			148
Mineralização total (mg/L)		<1,1	7,9			40,0
Elementos Secundários ($\mu\text{g/L}$)	Be	4	165			518,0
	B	0,44	<0,13			0,40
	Al	7	33			108
	V	16,0	11,0			3,5
	Cr	0,21	0,40			0,12
	Mn	<0,63	<0,63			<0,63
	Co					13,0
	Ni	<0,13	<0,13			<0,13
	Cu	<0,63	<0,63			<0,63
	Zn	<1,3	<1,3			<1,3
	As	3,70	6,30			<2,5
	Se	<2,5	<2,5			<2,5
	Rb	0,64	<0,63			0,73
	Sr	2,2	9,6			57,0
	Y	63,0	28,0			71,00
	Zr	0,68	0,91			<0,06
	Nb					
	Mo	<0,06	0,16			0,22
	Ag	<0,13	<0,13			<0,13
	Cd	<0,06	<0,06			<0,06
	Sn	<0,63	<0,63			<0,63
	Sb	<0,25	<0,25			<0,25
	Te					
	Cs	0,3	0,6			89,0
	Ba	35,00	40,00			<2,5
	Ta					
	W	<0,25	<0,25			36,0
	Hg					
Tl	<0,06	0,09			<0,06	
Pb	<0,25	<0,25			<0,25	
Bi	<0,06	<0,06			<0,06	
U	<2,5	<2,5			<2,5	
Isótopos- Estáveis	$\delta^{18}\text{O}$ (H ₂ O), ‰ vs VSMOW	-5,27	4,81	-5,04	-5,93-	-6,86
	δD (H ₂ O), ‰ vs VSMOW	-27,1	-24,1	-27,0	-31,7	-42,6
Isótopos- Radioativos	Tritio, U.T.	14,8±0,5	0,9±0,4	0,9±0,4	0±0,4	0±0,6

I.3. Resultados das leituras efetuadas na origem de cada um dos pontos de água (levantamento de campo)

Tabela A1.III - Parâmetros físico-químicos dos pontos de água (nascentes), com caudal perene medidos ao longo da Bacia do Rio Dão.

Datas de leitura	Pontos	Lugares	Coordenadas (*) (m)		Parâmetros								Observações/ inscrições na envolvente
			XX	YY	TDS (mg/L)	pH	Condutividade μScm^{-1}	Temperatura (°C)	Eh (mV)	Resistividade (Ωm)	Caudal (L/s)	Altitude (m)	
21-06-2014	1	Aguiar da Beira	249867,44	427785,97	159,00	4,92	172,60	16,90	42,50	3,15	0,010	765	Frente Câmara Municipal
	2	Aguiar da Beira	248330,31	427738,77	107,90	5,23	116,70	14,90	40,60	4,60	0,107	800	
	3	Coja	248340,32	426202,55	58,90	5,24	64,08	22,10	33,20	8,49	0,060	695	
	4	Coruche	250268,64	425302,24	83,75	5,05	90,62	13,30	40,70	5,95	1,000	775	2 Saídas
	5	Coruche	249978,53	424865,30	87,70	5,37	95,45	14,60	42,50	5691,00	0,176	778	
	6	Fonte Arcadinha	251573,64	428457,83	109,60	4,87	118,60	13,90	51,40	4,55	n.a	755	Tanque subterrâneo sem caudal
	7	Sargaçais	251455,18	427293,98	52,53	5,87	56,97	13,60	-3,10	9,43	0,050	730	
	8	Sargaçais	251556,52	427214,48	61,67	4,95	67,03	16,40	44,00	8,10	0,083	725	
	9	Largo	252987,76	426351,54	28,24	4,85	30,59	19,30	53,70	17,75	0,137	765	(Sargaçais)
	10	Valverde	251566,14	424145,05	39,70	5,03	42,81	12,40	41,90	12,50	2,500	718	Fonte romana
	11	Barranha	255535,75	424799,95	37,68	4,92	40,96	20,10	50,20	13,19	0,078	760	
	12	Carregais	254617,26	424398,25	29,28	4,97	32,53	21,20	48,80	16,66	0,042	740	
	13	Eirado	254281,18	422902,68	32,06	5,24	34,75	15,70	42,80	15,52	0,250	745	
	14	Carapito	256446,01	421956,33	51,07	5,79	55,50	15,60	2,50	9,77	1,000	690	
28-06-2014	15	Cortiçada	250044,14	421740,74	68,67	4,76	74,71	17,20	58,00	7,28	0,125	680	
	16	Cortiçada	250044,14	421740,75	132,10	4,83	143,40	13,90	52,90	3,77	0,167	680	
	17	Dornelas	249020,34	418355,96	172,90	4,90	188,60	17,00	50,20	2,89	0,167	530	
	18	Dornelas	248894,56	418213,23	155,00	5,28	168,60	15,40	3,00	3,23	n.a	530	Mina com depósito
	19	Dornelas	248577,77	418211,16	78,31	5,94	85,08	18,00	-6,30	5000,00	0,167	540	
	20	Pena Verde	253073,94	417899,48	55,92	5,00	60,61	15,90	45,30	9,01	0,083	670	
	21	Moreira	253281,05	418798,67	65,25	4,93	71,33	13,00	47,40	7,64	0,333	690	
	22	Mosteiro	253732,46	417703,69	52,08	5,55	55,26	14,40	19,70	9,60	0,278	670	
	23	Forninhos	248834,04	415279,13	84,39	5,78	91,82	16,80	5,40	5,93	0,091	500	
	24	Matela	248692,16	413282,30	209,00	5,70	227,30	14,10	6,80	2,39	0,250	640	"Água controlada"
	25	Matança	250952,21	412788,42	188,90	5,26	205,40	14,40	30,60	2,65	0,333	590	
	26	V. Cova Covelo	244662,35	410971,19	225,50	5,33	244,70	14,70	26,30	2,21	0,065	540	
	27	V. Cova Covelo	244842,27	411129,59	52,36	5,68	56,80	15,00	8,10	9,52	0,500	540	
	28	V. Cova Covelo	244635,11	410813,70	76,45	5,07	82,96	14,60	40,60	6,53	0,250	550	2 bicas
	29	Mareco	243905,39	409078,79	44,81	4,96	48,45	14,10	44,40	11,50	0,400	550	2 bicas
	30	Travanca de Tavares	242740,72	407727,06	91,01	5,52	98,74	5,00	17,70	5,50	5,000	520	Muito caudal
	31	Travanca de Tavares	242806,47	407326,41	114,60	5,80	123,90	13,90	14,10	4,32	0,161	575	
32	Chãs Tavares	244257,89	406295,31	67,36	5,39	73,20	14,60	22,80	7,42	0,400	625	Com mesas (2 bicas)	
33	Matados	241208,69	404294,35	38,45	5,20	42,07	13,40	33,50	12,94	0,379	590		
34	Matados	241174,04	404183,11	29,60	5,05	31,97	13,50	52,20	16,76	0,090	595	Parque "brijo do povo"	

Modelo geohidráulico das águas sulfúreas da bacia do Rio Dão

Datas de leitura	Pontos	Lugares	Coordenadas (*) (m)		Parâmetros								Observações/ inscrições na envolvente
			XX	YY	TDS (mg/L)	pH	Condutividade μScm^{-1}	Temperatura (°C)	Eh (mV)	Resistividade (Ωm)	Caudal (L/s)	Altitude (m)	
	35	Tragos	240414,28	404684,86	165,90	4,43	180,50	14,10	75,70	3,02	0,667	580	Com duas bicas, entubada
	36	Corvaceira	241012,67	405311,24	96,31	5,06	104,20	16,10	41,10	5,22	n.a.	580	Água suja
	37	Freixiosa	238221,24	404614,70	65,99	4,99	71,60	14,90	44,90	7,56	0,167	540	1916 c/azulejo
	38	Cunha alta	237222,30	403631,80	43,22	5,40	46,73	13,40	21,90	11,57	0,333	580	2 bicas , foto com S. Pedro
	39	Ribeira	236930,29	407051,33	94,51	5,00	102,60	17,20	45,70	5,29	0,071	450	Fontanário e tanque
	40	Real	238554,88	408293,44	87,05	5,32	94,45	15,50	26,90	5,73	1,000	525	
	41	Quintãs	240846,78	409419,25	69,53	5,30	75,44	15,00	26,90	7,18	0,181	525	
	42	Peges	239845,99	409407,66	133,90	5,07	145,60	14,20	40,20	3,73	0,185	557	
29-07-2014	43	"Campina"	243822,33	412416,06	553,60	7,42	602,40	15,70	-86,80	903,30	0,050	440	Denominada de Águas "féricas" pelos populares. Água sulfúrea de Sezures.
	44	Sezures	242580,83	414731,72	292,90	6,04	318,60	14,90	-11,50	1,71	0,500	635	
	45	Colheirinhas	246262,86	416499,72	29,00	5,20	31,37	15,00	33,60	17,13	0,500	560	
	46	Vila Longa	246124,26	420299,40	60,22	4,86	65,20	13,00	51,30	8,26	0,588	618	2 bicas , Rua de S. Tiago
	47	Rãs	241801,07	421464,57	77,73	5,35	84,33	14,20	25,30	6,42	0,190	650	Pintado de azul
	48	Decremilo	239697,00	421036,58	83,77	4,96	90,63	14,10	46,30	5,97	0,243	619	
	49	Romãs	240639,45	418561,47	77,54	5,14	84,12	14,30	36,70	6,43	0,098	580	C/ tanques (1978)
	50	Carvalhal	242303,09	418570,75	57,35	5,06	62,22	15,20	44,60	8,68	0,490	490	Com torneira verde
	51	Casal	238815,19	418304,94	70,31	5,24	76,15	15,00	31,40	7,09	0,833	541	Com riscas pretas
	52	Avelal	238565,58	420734,47	83,27	5,56	90,46	14,90	143,00	6,00	n.a.	615	
	53	Meã	235736,04	420347,07	95,54	4,64	103,60	13,90	62,60	5,21	0,455	645	
	54	Tojal	234264,57	420469,70	172,10	6,52	186,20	14,90	-38,40	2,90	0,500	600	
	55	Tojal	234681,72	420561,10	201,80	6,41	218,19	14,90	-32,30	2,47	0,357	618	Fonte dos namorados
	56	Mioma	234742,49	420104,83	183,30	6,62	198,90	15,90	-43,60	2,71	0,333	615	C/festa
	57	Silvã de Cima	237799,85	417698,17	48,90	5,94	53,05	14,10	-5,70	10,17	1,000	535	Estrada principal. Com tubo
	58	Rio Moinhos	236536,61	415446,13	217,40	5,74	235,20	15,20	5,30	2,29	0,167	500	Verde
	59	Lajedo	235952,30	415887,49	81,35	5,77	88,13	15,40	3,40	6,14	0,140	500	
	60	Lusinde	234035,05	413716,05	174,40	5,60	189,60	14,90	12,30	2,85	0,833	400	2 bicas
	61	Casal diz	233108,74	410812,21	235,00	5,39	254,90	15,60	23,90	2,12	0,357	650	
	62	Lisei	235691,41	410074,53	154,10	5,97	66,80	16,00	-7,30	3,23	1,250	360	
	63	Trancoselos	235919,31	409578,97	66,49	5,47	71,80	16,20	19,50	7,52	0,833	390	N
	64	Sangemil	236214,67	411165,97	251,50	5,80	271,90	15,90	1,80	1,98	0,200	460	
	65	Esmolfe	238165,21	412347,92	252,80	5,56	272,90	15,50	14,70	1,98	0,238	640	2 bicas com símbolo
	66	Insua	236135,94	411902,85	201,10	5,66	217,60	15,60	9,20	2,47	0,122	465	CM 1886
	67	Darei	232074,50	408244,27	82,92	5,52	89,68	14,40	16,30	6,02	1,250	360	Com tanque comunitário
	68	Germil	233394,69	407275,28	113,30	4,95	122,90	17,10	48,50	4,41	2,500	380	
	69	Germil	233746,48	407434,19	113,00	5,75	122,90	14,10	4,10	4,41	n.a	390	Depósito de mina
	70	Passos	232650,65	406525,49	209,70	5,55	227,50	15,00	15,10	2,38	0,132	425	C/ tubo atravessar tanque

Modelo geohidráulico das águas sulfúreas da bacia do Rio Dão

Datas de leitura	Pontos	Lugares	Coordenadas (*) (m)		Parâmetros								Observações/ inscrições na envolvente
			XX	YY	TDS (mg/L)	pH	Condutividade μScm^{-1}	Temperatura (°C)	Eh (mV)	Resistividade (Ωm)	Caudal (L/s)	Altitude (m)	
	71	Fornos M. Dão	226738,12	404339,61	165,80	5,20	179,90	16,90	34,60	3,01	0,123	420	Com chapas de zinco
6/7/2014	72	Cabernães	225319,30	415775,89	41,77	4,64	45,27	17,70	65,20	11,87	0,250	597	Largo dos Chafariz
	73	Passos	226705,70	416675,31	83,80	5,00	90,79	14,40	44,20	5,93	0,376	580	Água imprópria
	74	Esporão	230582,82	417304,09	80,94	5,26	87,59	16,20	31,00	6,18	0,086	525	CM Viseu 1936
	75	Vila Boa	231209,14	414573,58	155,40	5,36	168,60	15,50	25,10	3,22	0,067	380	Com santos 1926
	76	S.Eulália	232933,15	413337,85	162,30	5,35	176,50	18,40	26,60	3,08	0,190	470	Com charrua
	77	Cabril	230575,44	412809,56	228,30	5,46	247,50	14,20	23,00	2,19	0,229	500	Com hereas
	78	Cadima	229874,51	411921,40	124,10	5,23	134,30	15,20	32,20	4,02	0,029	480	
	79	Nespereira	229584,35	411654,96	108,20	5,57	117,40	15,40	14,20	4,61	0,170	465	Com muita água no chão
	80	Povolide	228936,89	410245,78	76,26	5,10	82,92	13,60	38,50	6,55	0,105	405	
	81	Prime	224926,52	407569,20	164,20	5,18	178,60	16,10	35,00	3,05	2,500	445	Com brasão
	82	Casal	228745,93	408591,63	150,70	5,31	163,50	16,90	28,80	3,31	0,022	360	
	83	Vila Corça	230804,83	408439,43	131,30	5,44	142,00	15,60	21,70	3,79	0,258	320	CMV 1951
	84	Santos Êvos	226307,38	410492,08	176,00	5,69	190,50	16,10	8,30	2,81	0,083	440	
	86	Corvos	227289,94	411593,77	58,50	5,54	63,48	13,40	15,50	8,52	0,296	445	
	87	Balisque	228259,55	413556,19	68,00	5,24	73,91	15,70	31,50	7,35	0,246	400	
	88	Silvares	227390,69	415496,34	80,91	5,38	87,78	14,60	24,00	6,16	0,549	515	Com casa e escadas atrás
	89	Casal	226000,59	415614,75	190,60	5,47	206,60	16,20	20,00	2,61	0,147	520	Largo da fonte
	90	Cavernães	225347,35	415813,00	156,30	5,02	169,20	14,60	43,30	3,20	2,500	600	Funda
91	Mundão	222454,01	413949,80	47,30	4,88	51,30	14,70	53,20	10,54	5,000	560	5 bicas	
92	Nespereira de Mundão	221872,03	414648,31	120,30	5,26	130,50	14,70	30,70	4,14	0,301	520		
93	Casal	221866,68	415675,51	65,02	4,70	70,44	14,40	61,60	7,66	1,667	560	2 bicas	
94	Campo	218381,50	415416,25	221,90	5,10	238,90	15,30	38,00	2,24	0,231	580	C/ cruz no meio	
95	Bassar	219067,21	415313,09	77,27	4,80	83,83	14,40	54,60	6,45	0,500	560	C/ santinha e capela atrás	
96	Abraveses	218000,39	411861,73	309,90	5,05	336,10	15,90	41,90	1,61	0,202	460	C/ garrações, com tanque	
97	Travassós de baixo	220926,18	412042,09	149,40	5,05	161,90	17,10	42,60	3,34	0,258	450	2 bicas	
98	Viseu	218974,26	410315,62	526,70	6,55	572,70	18,30	-41,80	947,80	0,017	445		
12-07-2014	99	Póvoa Arnosa	208229,95	384234,17	114,30	5,03	124,10	16,20	43,20	4,34	0,175	600	IV1924
	100	Beijós	214796,34	393090,76	168,70	5,11	183,10	20,80	40,20	2,96	0,167	220	
	101	Pardieiros	215450,21	395714,00	448,30	4,76	485,20	17,50	53,40	1,11	0,041	345	Com inscrições J.F.1941-42
	102	Carvalho Redondo	217962,17	395451,22	167,90	5,04	180,90	19,40	44,20	2,94	0,067	360	Fonte pequena
	103	Santar	220401,88	400186,20	218,90	5,31	236,90	17,50	28,60	2,27	0,167	395	Com coroa
	104	Santar	221286,11	400262,69	156,00	4,96	169,00	18,20	47,60	3,20	0,219	360	O.P.C
	106	Moimenta Maceira Dão	227137,48	401182,33	146,80	8,06	159,70	27,60	-134,90	3,41	0,500	420	2 bicas com repuxos
107	Lobelhe	225363,26	402126,19	243,80	5,44	257,80	18,30	22,50	2,08	0,053	425	1913 com tanque	

Modelo geohidráulico das águas sulfúreas da bacia do Rio Dão

Datas de leitura	Pontos	Lugares	Coordenadas (*) (m)		Parâmetros							Observações/ inscrições na envolvente	
			XX	YY	TDS (mg/L)	pH	Condutividade μScm^{-1}	Temperatura (°C)	Eh (mV)	Resistividade (Ωm)	Caudal (L/s)		Altitude (m)
	108	Alcáface	222035,77	402899,17	77,12	5,48	83,37	16,30	19,70	6,46	0,167	405	Com púcaro pendurado
	109	Couço	205874,65	390888,49	191,40	5,15	207,20	15,90	37,00	2,60	0,150	297	Com escadinhas
	110	Tonda	205572,35	392038,81	264,00	5,20	286,60	15,60	33,90	1,89	0,500	325	Água não controlada,
	111	Tondela	204560,93	394077,06	168,80	5,94	182,20	15,60	-5,20	2,96	0,201	298	Com varão no meio
	112	Vila Jusã	208500,87	394876,28	174,60	5,20	188,60	16,00	34,50	2,85	0,192	320	
	113	Mosteiro de Silgueiros	214660,55	398735,35	302,20	5,42	327,00	18,40	23,70	1,65	0,179	345	1935
	114	Lage Silgueiros	213385,08	398911,88	226,10	5,17	245,30	19,10	36,70	2,20	0,172	350	Bica com tanque
	115	Pindelo Silgueiros	216688,06	401080,83	363,10	5,33	393,90	15,10	27,00	1,37	0,189	380	
	116	Vilela	218637,79	404879,55	185,40	4,92	200,00	15,80	51,30	2,68	0,714	425	"Pesada"
	117	Lourosa	219484,59	404678,12	67,69	4,84	72,75	15,10	53,10	7,34	1,250	420	3 bicas , com 2 a deitar
	118	Fragosela	223041,59	406903,03	183,90	6,14	199,00	16,00	-15,00	2,71	0,121	445	3 bicas
	119	Nandufe	204735,73	396921,17	63,60	4,95	68,88	16,80	47,60	7,73	2,500	299	C/ análises bact. de 16-4-2013- água própria
	120	Nandufe	204827,44	397035,36	39,50	5,03	42,65	22,50	46,10	12,54	0,233	299	Com azulejos azuis
	121	Nandufe	204975,73	396970,68	229,10	4,92	248,20	17,40	50,90	2,17	16,66 7	280	Com azulejos azul bebé
	122	Sabugosa	209101,86	400108,49	138,60	5,31	148,40	17,30	28,70	3,54	0,039	340	Bica apertada
	123	S. Miguel Outeiro	208897,23	402097,84	83,20	4,34	91,01	17,60	81,10	5,95	0,500	350	Com azulejos com escudo
	124	Parada de Gonta	210559,27	402488,65	92,90	5,52	100,50	18,80	17,60	5,36	0,036	380	
	125	Fail	213067,57	404269,35	150,90	5,16	161,60	17,00	36,50	3,29	0,122	325	Com símbolo da junta Fail
	126	Vil de Souto	212529,55	411100,99	100,50	5,61	108,50	18,60	12,20	4,95	0,145	430	Com santos em azulejos
	127	Couto de Baixo	210703,92	409898,22	106,80	5,29	115,20	16,10	32,00	4,60	0,279	420	Fonte de Santa Eulália
	128	Figueiró	213506,71	409760,85	88,67	5,27	95,53	17,40	30,80	5,59	0,180	420	Com pedra
	129	Torredeita	210592,36	407374,79	71,76	5,69	77,44	17,30	8,00	6,97	0,127	350	Com mangueira verde
	130	Várzea	208630,53	407042,23	162,40	4,73	174,70	14,60	59,30	3,05	0,238	428	Com tanque atrás
	131	Farminhão	209818,25	404520,43	123,40	5,52	133,60	17,70	16,90	4,04	1,667	360	CM 1895
	132	Boa Aldeia	206029,09	406959,50	88,66	5,22	95,93	16,00	32,90	5,63	1,000	410	Com tanques
	133	Póvoa Codeçais	203316,54	408265,73	101,70	5,38	108,70	14,70	24,50	4,89	0,102	630	Com arco paisagem
	134	Fornelo do Monte	202571,74	408135,89	61,66	4,94	66,83	14,30	48,10	8,07	0,208	780	2 bicas
	135	Caparrosa	203341,11	405801,10	40,48	5,15	43,78	17,10	37,00	12,33	0,057	440	No meio de um parque
	136	Silvares	200193,86	406127,37	110,80	7,00	120,00	13,20	104,10	4,49	0,167	805	CMT
	137	Santiago Besteiros	200356,19	401543,59	61,37	6,10	68,72	14,80	79,50	7,94	5,000	370	2 bicas Santo António
	138	Campo Besteiros	199815,19	399168,43	100,40	5,70	109,30	14,90	106,90	4,96	0,167	290	Com jardim à volta
	139	Molelos	202345,08	396102,65	106,50	5,60	113,90	15,80	107,60	4,69	0,250	295	Junto à estrada
	140	Molelinhos	201298,03	394523,09	126,30	5,70	137,30	15,90	104,60	3,96	5,000	240	Com azulejos 1935

Modelo geohidráulico das águas sulfúreas da bacia do Rio Dão

Datas de leitura	Pontos	Lugares	Coordenadas (*) (m)		Parâmetros								Observações/ inscrições na envolvente
			XX	YY	TDS (mg/L)	pH	Condutividade μScm^{-1}	Temperatura (°C)	Eh (mV)	Resistividade (Ωm)	Caudal (L/s)	Altitude (m)	
	141	S. Joaninho	199466,00	387295,85	56,35	5,30	61,14	14,30	119,90	8,93	0,250	320	“antiga lixeira”
	142	Fonte do Loreto (Calvário) SCD	200083,33	380725,73	245,40	6,20	266,40	15,90	118,30	2,05	0,033	180	
	143	Bica- SCD	199986,63	380488,22	187,20	5,40	203,20	15,20	120,10	2,67	0,250	175	
	144	Cavaca	246624,78	422860,19	537,2	8,26 (*)	351,00 (*)	29,65 (*)	-12,00 (*)	(**)	0,2 (*)	580	(*)Dados dos parâmetros obtidos através da ponderação dos elementos da bibliografia e inseridos na tabela para utilização de software. (**) Sem dados. Avaria no equipamento de leitura portátil
	145	Alcáface	222070,68	404226,10	543,00 (*)	8,37 (*)	472,00 (*)	50,68 (*)	-4 (*)	(**)	1,4 (*)	240	
	146	Sangemil (Furo HDN1)	213992,01	395274,72	568 (*)	8,32 (*)	530,00 (*)	49,00 (*)	-94,00 (*)	(**)	2,0 (*)	180	
	147	Granjal (Furo AQ1)	202953,63	382662,44	578,5	9,07 (*)	634,00 (*)	22,70 (*)	-77,00 (*)	(**)	1,4 (*)	160	

(*) Coordenadas Retangulares Planas no sistema Hayford-Gauss, referidas ao Ponto Central