

# **Os recursos hídricos subterrâneos da bacia da Nascente do Mondeguinho**

**Carlos Eduardo da Cunha Aragão**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Civil**  
(Ciclo de estudos integrado)

Orientador: Prof. Doutor Luís Manuel Ferreira Gomes

**outubro de 2025**

Folha em branco

## **Declaração de Integridade**

Eu, Carlos Eduardo da Cunha Aragão, que abaixo assino, estudante com o número de inscrição 30443 do Mestrado Integrado em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia, declaro ter desenvolvido o presente trabalho e elaborado o presente texto em total consonância com o **Código de Integridade da Universidade da Beira Interior**.

Mais concretamente, afirmo não ter incorrido em qualquer das variedades de Fraude Académica, e que aqui declaro conhecer, que em particular atendi à exigida referenciação de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assumindo assim na íntegra as responsabilidades da autoria.

Universidade da Beira Interior, Covilhã 04/10/2025

(assinatura conforme Cartão de Cidadão ou preferencialmente  
assinatura digital no documento original se naquele mesmo formato)

Folha em branco

# Dedicatória

A presente dissertação de mestrado é dedicada à minha família.

Folha em branco

## **Agradecimentos**

Este trabalho é do âmbito da unidade curricular de dissertação de mestrado do MIEC (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) da UBI (Universidade da Beira Interior). Um agradecimento ao pessoal docente do MIEC que me acompanhou ao longo de todo o meu percurso académico. Queria agradecer ao meu orientador de dissertação de mestrado Prof. Doutor Luís Manuel Ferreira Gomes pelo apoio na elaboração da mesma. Queria ainda agradecer aos meus colegas de curso e especialmente à minha família pelo apoio ao longo do mesmo.

Folha em branco

## Resumo

A Nascente do Mondeguinho apresenta uma situação singular no panorama português. É o local que tradicionalmente é considerado como o início do rio Mondego, que é o rio com o percurso mais extenso em território totalmente nacional. A sua posição geográfica, geomorfológica, paisagística, e outras, tem merecido ao longo do tempo uma atenção especial, pois atualmente corresponde a um fontanário que oferece condições fáceis de ser acessado, e ser desfrutado pelos turistas, transeuntes, e pessoas singulares, que por aí circulam. Além disso, aquele local é considerado um Geossítio de interesse Hidrogeológico (código Geossítio- H2 Nascente do Mondeguinho), fazendo parte da lista de Geossítios do Estrela Geopark Mundial da UNESCO, levando a ser procurado por turistas de várias partes do mundo.

Naquele panorama, a Nascente do Mondeguinho merece um estudo aturado no sentido de contribuir para um melhor conhecimento de todo o seu sistema geohidráulico, e criar condições desde logo para os seus devidos melhoramentos, preservação, proteção, obtendo adequadas garantias para ser acessado e desfrutado no seu recurso, pois é uma água hipossalina e de quimismo similar a algumas águas engarrafadas no panorama português.

Assim este trabalho, depois de num primeiro momento se apresentar o objetivo, a justificação do tema, aspetos metodológicos seguidos no trabalho, apresentam-se de seguida os elementos hidrogeológicos conceituais no sentido de enquadrar o desenvolvimento em termos científicos do trabalho. Depois apresenta-se então o caso em estudo, nomeadamente com o seu enquadramento geográfico, geomorfológico, geológico, climático e hidrológico. Dá-se particular atenção ao controlo de caudal e qualidade físico-química do recurso no próprio fontanário, além de uma análise singular físico-química e microbiológica, no sentido de se ter uma noção da qualidade do recurso. Apresenta-se ainda o modelo conceptual do recurso e propõe-se o perímetro de proteção para aquela captação, constituída por três zonas: imediata, intermédia e alargada. Por fim, apresentam-se algumas conclusões e tecem-se algumas considerações sobre potenciais medidas a tomar para que a Nascente do Mondeguinho, seja mais robusta, desde logo na produção de um caudal mais constante, e de melhor qualidade.

## Palavras-chave

Fonte do Mondeguinho, Rio Mondego, Recursos hídricos subterrâneos; Serra da Estrela, Estrela Geopark Mundial da UNESCO.

**Folha em branco**

## **Abstract**

The Mondeguinho Spring presents a unique location within the Portuguese landscape. It is traditionally considered the beginning of the Mondego River, the longest river in Portugal. Its geographic, geomorphological, and scenic location, among other features, has garnered special attention over time, as it currently serves as a fountain that offers easy access and enjoyment for tourists, passersby, and individuals. Furthermore, the site is considered a Geosite of Hydrogeological Interest (code Geosite-H2 Nascente do Mondeguinho), and is included in the list of Geosites of the UNESCO Estrela Global Geopark, leading to its popularity among tourists from around the world.

In that context, the Mondeguinho Spring deserves a thorough study in order to contribute to a better understanding of its entire geohydraulic system, and to create conditions from the outset for its due improvements, preservation, protection, obtaining adequate guarantees for its access and enjoyment, as it is a hyposaline water with a similar chemistry to some bottled waters in the Portuguese landscape.

Thus, this work, after initially presenting the objective, the justification for the topic, and the methodological aspects followed, presents the conceptual hydrogeological elements to frame the scientific development of the work. Next, the case study is presented, specifically with its geographic, geomorphological, geological, climatic, and hydrological context. Particular attention is paid to flow control and the physical-chemical quality of the resource at the standpipe itself, in addition to a unique physical-chemical and microbiological analysis, to gain a sense of the resource's quality. The conceptual model of the resource is also presented and the protection perimeter for that catchment is proposed, consisting of three zones: immediate, intermediate, and extended. Finally, some conclusions are presented and some considerations are made regarding potential measures to ensure a more robust Mondeguinho Spring, primarily by producing a more constant and higher-quality flow.

## **Keywords**

Mondeguinho Spring, Mondego River, Groundwater resources; Serra da Estrela, Estrela UNESCO Global Geopark.

Folha em branco

# Índice

1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Objetivos .....	1
1.2 Justificativa do tema .....	1
1.3 Metodologia.....	3
1.3.1 Pesquisa bibliográfica.....	3
1.3.2 Trabalho de campo.....	4
1.3.3 Trabalho de gabinete.....	6
2 ELEMENTOS HIDROGEOLOGÍCOS .....	7
2.1 Introdução .....	7
2.2 Balanço hidrológico.....	9
2.3 Sistemas aquíferos .....	13
2.3.1 Classificação de aquíferos quanto ao confinamento.....	14
2.3.2 Classificação de aquíferos quanto ao conteúdo em água e à capacidade de a transmitir .....	15
2.3.3 Classificação de aquíferos quanto à Porosidade .....	15
2.3.4 Elementos básicos da caracterização hidráulica de terrenos .....	16
2.4 Modelos geohidráulicos .....	19
2.5 Tipos de águas subterrâneas .....	24
2.5.1 Aspectos globais .....	24
2.5.2 Elementos físicos-químicos de águas subterrâneas.....	25
2.6 Contexto legal das águas subterrâneas .....	30
2.7 Aplicações de Águas Subterrâneas Especiais .....	32
2.8 Elementos sobre Proteção de águas subterrâneas.....	34
2.9 A importância dos hidrogeossítios no Geoparque Estrela .....	46
3 O CASO DE ESTUDO DA NASCENTE DO MONDEGUINHO .....	55
3.1 Enquadramento geográfico.....	55
3.2 Caracterização socioeconómica .....	57
3.3 Elementos geomorfológicos.....	59
3.4 Elementos geológicos .....	64
3.4.1 Geologia regional.....	64
3.4.2 Geologia local .....	66
3.5 Caracterização climática.....	70
3.6 Caracterização hidrológica .....	76
3.6.1 Balanço hidrológico .....	76
3.6.2 Recarga de aquíferos .....	79
3.6.3 Quantidade e Qualidade da água da Nascente do Mondeguinho .....	81
3.6.3.1 Parâmetros físico-químicos a partir de ensaios in situ.....	81
3.6.3.2 Parâmetros físico-químicos e microbiológicos a partir de ensaios de laboratório .....	86
3.6.3.3 Classificação da água da Nascente do Mondeguinho .....	87

3.6.4 Modelo conceptual de escoamento subterrâneo .....	88
3.6.5 Otimização do Perímetro de Proteção da Nascente do Mondeguinho .....	90
3.6.5.1 Parâmetros para a determinação do Perímetro de Proteção .....	90
3.6.5.2 Proposta de Perímetro de Proteção .....	91
4 CONCLUSÕES .....	96
BIBLIOGRAFIA.....	100

Anexos:

Anexo I - Relatório das análises físico-químicas e microbiológicas da água da Nascente do Mondeguinho.

Folha em branco

# Lista de Figuras

Figura 1.1 - A Fonte do Mondeguinho (Nascente do Rio Mondego).....	3
Figura 1.2 - Medição do caudal da Fonte do Mondeguinho. ....	5
Figura 1.3 - Medidor paramétrico portátil de água (Eutech PC650) e medidor multiparâmetro portátil (Hanna HI98195), em fase de registos físico-químicos <i>in situ</i> .....	5
Figura 2.1 - Ciclo hidrológico global (NOAA, 2021). ....	9
Figura 2.2 - Expressão gráfica do balanço hidrológico apresentado na Tabela 3, para a zona a montante da cidade da Covilhã (Serra da Estrela). I - Excedentes; II - Consumo das reservas; III - Défice hídrico; IV - Restituição das reservas (Mendes, 2006).....	13
Figura 2.3 - Esquema dos diferentes tipos de aquíferos (Lencastre e Franco, 2006).....	14
Figura 2.4 - Porosidade em diferentes formações geológicas: a) Depósito sedimentar constituído por areias; b) Rocha que desenvolveu vazios por fraturação (essencialmente do tipo diaclases); c) cársica rocha que desenvolveu vazios por dissolução (adaptado de Freeze e Cherry, 2017).....	16
Figura 2.5 - Esquema hidráulico para determinação da condutividade hidráulica de um solo, a partir da Lei de Darcy (Fernandes, 2016). ....	19
Figura 2.6 - Exemplo de um modelo geohidráulico conceptual da bacia da Ribeira das Cortes (Barata dos Santos, 2014).....	21
Figura 2.7 - Exemplo de um esboço do modelo hidrogeológico conceptual para a zona da freguesia do Creixomil (Enes, 2011). ....	21
Figura 2.8 - Exemplo do modelo hidrogeológico para a zona da Covilhã (Mendes, 2006). ....	22
Figura 2.9 - Exemplo de um modelo hidrogeológico conceptual da área de recarga da Nave de Santo António - Serra da Estrela (a partir de Espinha Marques, 2007).....	22
Figura 2.10 - Modelo hidrogeológico 3D da água mineral natural das Termas de Longroiva (Guarda), com: a) elementos geomorfológicos e geológicos; b) registo do fluxo do escoamento superficial (setas a azul) e do escoamento subterrâneo profundo (setas a amarelo); c) representação da circulação subterrânea em profundidade (Ferreira, 2023). ....	23
Figura 2.11 - Exemplo de um diagrama de Piper para águas subterrâneas com as concentrações dos iões em meq/L (INETI, 2005, <i>in</i> Plácido, 2007). ....	29
Figura 2.12 - Exemplo de um diagrama de Stiff com a representação dos principais iões da água subterrânea (INETI, 2005, <i>in</i> Plácido, 2007). ....	30
Figura 2.13 - Organograma do enquadramento legislativo português dos recursos hídricos subterrâneos especiais (a partir de Torgal, 2024). ....	32
Figura 2.14 - Localização das águas minerais naturais e o seu tipo de aproveitamento em Portugal Continental (DGEG, 2024a). ....	33
Figura 2.15 - Localização das águas minerais naturais com o tipo de aproveitamento para engarrafamento em Portugal Continental (DGEG, 2024b).....	34
Figura 2.16 - Localização das águas minerais naturais com o tipo de aproveitamento para termalismo em Portugal Continental (DGEG, 2024c). ....	35
Figura 2.17 - Localização das águas de nascente em Portugal Continental, que são usadas apenas em engarrafamento (DGEG, 2024d).....	36
Figura 2.18 – Elementos para estabelecer o perímetro de proteção de uma captação de água subterrânea em zonas de montanha, de acordo com o método de Mendes (2006) - a), e discriminação dos elementos envolvidos do método de Wyssling - b) ( <i>in</i> Brito, 2011). ....	39

Figura 2.19 - Esboço exemplificativo da aplicação da 2ª fase sobre a metodologia proposta para a delimitação da Zona de Proteção Imediata, com encurtamento da área inicial, devido à ocorrência uma estrutura geológica (falha F1) num terreno de baixa vulnerabilidade à poluição, em captações semi - horizontais em zona de montanha (Mendes, 2006). .....	40
Figura 2.20 - Esboço exemplificativo da aplicação da 2ª fase sobre a metodologia de Mendes (2006) para a delimitação da Zona de Proteção Imediata, com o alargamento da área inicial, devido à ocorrência de uma estrutura geológica muito permeável (filão de quartzo) num terreno de alta vulnerabilidade à poluição, em captações semi - horizontais em zona de montanha. ....	40
Figura 2.21 - Esboço exemplificativo da aplicação da 2ª fase sobre a metodologia de Mendes (2006) para a delimitação da Zona de Proteção Imediata, com alteração da área inicial devido à ocorrência uma estrutura geológica (filão de quartzo) em terrenos com diferentes vulnerabilidades, em captações semi - horizontais em zona de montanha. ....	40
Figura 2.22 - Esboço exemplificativo da aplicação da 1ª fase da metodologia de Mendes (2006) para a delimitação da Zona de Proteção Intermédia, em captações semi - horizontais em zona de montanha. ....	41
Figura 2.23 - Esboço exemplificativo da aplicação da 2ª fase da metodologia de Mendes (2006) para a delimitação da Zona de proteção intermédia onde são evidenciadas duas estruturas geológicas (falhas F1 e F2) num terreno de baixa vulnerabilidade à poluição em captações semi - horizontais em zona de montanha. ....	41
Figura 2.24 - Esboço exemplificativo da aplicação da 1ª fase da metodologia de Mendes (2006) para a delimitação da zona de proteção alargada em captações semi - horizontais em zona de montanha. ....	42
Figura 2.25 - Esboço exemplificativo da aplicação da 2ª fase da metodologia de Mendes (2006) para a delimitação da Zona de Proteção Alargada, onde em especial é evidenciado o ajuste desta zona, diminuindo-a, devido ao limite de bacia, em captações semi - horizontais em zona de montanha. ....	43
Figura 2.26 - Resultado do exercício de otimização do perímetro de proteção, considerando a ocorrência individual, da captação SN6d do sector do Souto Novo - Covilhã (Mendes, 2006). ....	44
Figura 2.27 - Imagem do local em estudo, Nascente do Mondeguinho integrada no Estrela Geopark (Património Mundial da UNESCO) como um geossítio do tipo hidrogeológico (a partir de AGE, 2025). ....	46
Figura 2.28 - Locais dos pontos de água subterrânea que Belgas (2007) propôs para serem considerados como potenciais hidrogeossítios para o Aspiring a Geopark Estrela (Gonçalves Belgas,2017). ....	49
Figura 2.29 - Resultados dos parâmetros físico-químicos globais e principais catiões (a partir da Tabela 11) dos pontos de água subterrânea que Belgas (2007) propôs para serem considerados como potenciais hidrogeossítios para o Aspiring a Geopark Estrela (Gonçalves Belgas,2017). ....	50
Figura 2.30 - Resultados dos parâmetros físico-químicos em termos de principais aniões (a partir da Tabela 11) dos pontos de água subterrânea que Belgas (2007) propôs para serem considerados como potenciais hidrogeossítios para o Aspiring a Geopark Estrela (Gonçalves Belgas,2017). ....	51
Figura 2.31 - Diagramas de Piper e de Stiff (a partir da Tabela 11) dos pontos de água subterrânea que Belgas (2007) propôs para serem considerados como potenciais hidrogeossítios para no Aspiring a Geopark Estrela (Gonçalves Belgas,2017). ....	52
Figura 2.32 - Termas de Unhais da Serra (a partir de Termas Centro, 2025b). ....	53
Figura 2.33 - Termas de Manteigas (a partir de Termas Centro, 2025a). ....	53
Figura 2.34 - Termas de S. Miguel (a partir de Palace Hotel & SPA Termas de S. Miguel, 2025). ....	54
Figura 2.35 - Caldas de S. Paulo (a partir de DGEG, 2025). ....	54
Figura 3.1 - Enquadramento geográfico global da zona em estudo: a) em relação à Europa (adaptado do Google Maps, 2024), b) em relação ao concelho de Gouveia (adaptado Município de Gouveia, 2024). ....	56
Figura 3.2 - Carta do uso e ocupação do território de Portugal Continental (Adaptado da DGT, 2024). ....	58

Figura 3.3 - Carta do uso e ocupação do território da área em estudo (adaptado da DGT, 2024). .....	59
Figura 3.4 - A Fonte da Nascente do Mondeguinho. ....	59
Figura 3.5 - Mapa das principais bacias hidrográficas de Portugal Continental, com destaque da bacia do Rio Mondego (adaptado de Rodrigues et al., 1989).....	60
Figura 3.6 - Implantação detalhada da bacia hidrográfica do Mondeguinho em carta topográfica (a partir da Folha 212, SCE, 2024). ....	61
Figura 3.7 - Imagens/fotografias da sub-bacia do Mondeguinho, mostrando aspetos da sua morfologia de blocos de granito globalmente arredondados. ....	62
Figura 3.8 - Imagens da represa de Vale do Rossim: a) imagem global; b) imagem da zona de descarga. ...	62
Figura 3.9 - Mapa da rede de drenagem da área em estudo e envolvente (adaptado das cartas militares, folhas 212, 213, 223 e 224, à escala 1:25000, SCE, 2024). ....	63
Figura 3.10 - Classificação das redes de drenagem da área em estudo e envolventes segundo o método de Strahler. ....	65
Figura 3.11 - Mapa: a) das grandes unidades hidrogeológicas de Portugal Continental, b) dos sistemas aquíferos do Maciço Antigo de Portugal Continental (Ribeiro, 2003).....	66
Figura 3.12 - Enquadramento da zona de estudo (retângulo a amarelo) em termos de geologia regional (a partir SGP,1992). ....	67
Figura 3.13 - Enquadramento da zona da Nascente do Mondeguinho em termos de geologia local (a partir de Teixeira et al.,1966). ....	69
Figura 3.14 - Imagens/fotografias das litologias que ocorrem na zona de estudo, em termos de escala de afloramento (a) e em termos de amostras de mão (b). ....	70
Figura 3.15 - Mapa da geologia local (ver localização do corte A-B nas Fig.3.9 e Fig.3.13). ....	71
Figura 3.16 - Método dos polígonos de Thiessen (a partir de cartas topográficas militares, folhas 201, 202, 212, 213, 223, 224, 234, 235, 245, 246 à escala 1:25000, SCE, 2024). ....	72
Figura 3.17 - Mapa da temperatura média do ar em Portugal Continental (adaptado do SNIAMB, 2024). ....	74
Figura 3.18 - Mapa da insolação em Portugal Continental (adaptado do SNIAMB, 2024). ....	74
Figura 3.19 - Comparação da precipitação mensal média entre o período de 1931/1960 e o período de 2005/2024, a partir de registos na estação meteorológica de Penhas Douradas - 11L/10G. ....	75
Figura 3.20 - Mapa da precipitação anual média em Portugal Continental (adaptado do SNIAMB, 2024). ....	76
Figura 3.21 – Mapa da evapotranspiração real em Portugal Continental (adaptado do SNIAMB, 2024). ....	78
Figura 3.22 - Diagrama do balanço hidrológico sequencial mensal para a zona da Nascente do Mondeguinho. ....	78
Figura 3.23 - Áreas de recarga potenciais (Adaptado dos SCE, cartas topográficas militares, folhas 201, 202, 212, 213, 223, 224, 234, 235, 245, 246 à escala 1:25000, 2024). ....	80
Figura 3.24 - Mapa da disponibilidade hídrica dos aquíferos de Portugal Continental (Ribeiro, 2003). ....	81
Figura 3.25 – Resultados gráficos dos registos do caudal do Nascente do Mondeguinho. ....	82
Figura 3.26 - Resultados gráficos dos registos da temperatura da Nascente do Mondeguinho. ....	84
Figura 3.27 - Resultados gráficos dos registos da condutividade da Nascente do Mondeguinho. ....	84
Figura 3.28 - Resultados gráficos dos registos do total de sólidos dissolvidos da Nascente do Mondeguinho. ....	85
Figura 3.29 - Resultados gráficos dos registos do pH da Nascente do Mondeguinho. ....	85
Figura 3.30 - Resultados dos registos do potencial redox da Nascente do Mondeguinho. ....	85
Figura 3.31 - Esboço do modelo hidrogeológico da zona em estudo (ver localização do corte A-B na Fig.3.2). ....	89

Figura 3.32 – Ensaio de ZPI <sub>m</sub> em extrato do mapa militar com inclusão da bacia hidrográfica da Nascente do Mondeguinho. ....	92
Figura 3.33 - Estabelecimento da ZPI <sub>m</sub> da Nascente do Mondeguinho no Google Earth (Adaptado do Google Earth, 2025). ....	92
Figura 3.34 - Estabelecimento da ZPI <sub>n</sub> da Nascente do Mondeguinho. ....	93
Figura 3.35 - Estabelecimento da ZPA da Nascente do Mondeguinho. ....	94
Figura 3.36 – Perímetro de Proteção da Nascente do Mondeguinho, em proposta. ....	95

Folha em branco

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Fator de correção da duração mensal de insolação K (in Lencastre e Franco, 2006).....	11
Tabela 2 - Exemplo de cálculo de Evapotranspiração (ETP) a partir do método de Thorntwaite para a zona a montante da cidade da Covilhã (Serra da Estrela) (Mendes, 2006). ....	11
Tabela 3 - Exemplo de aplicação do método do Balanço Hidrológico (Mendes, 2006). ....	13
Tabela 4 - Valores típicos de porosidade em diferentes formações geológicas (Lencastre e Franco, 2006). .	17
Tabela 5 - Valores típicos de condutividade hidráulica ou coeficiente de permeabilidade (k) de diferentes formações geológicas (Lencastre e Franco, 2006). ....	18
Tabela 6 - Classificação da água de acordo com a temperatura de emergência (Carvalho et al., 1961). ....	26
Tabela 7 - Classificação da água quanto à dureza total (Custódio e Llamas, 2001). ....	28
Tabela 8 - Classificação da água mineral em relação ao resíduo seco (Custódio e Llamas, 2001). ....	28
Tabela 9 - Classificação da água em relação à mineralização total (Custódio e Llamas, 2001). ....	28
Tabela 10 - Restrições à ocupação do território nas várias zonas de proteção a captações de água subterrânea, de acordo com a legislação portuguesa (DL,1999; Lei,2015). ....	45
Tabela 11 - Pontos de Água subterrânea propostos em Gonçalves Belgas (2017) serem integrados na rede de Hidrogeossítios do Aspiring Geoparque Estrela, e suas características físico-químicas associadas. ....	48
Tabela 12 - Dados climáticos dos anos de 1931 a 1960 da estação meteorológica de Penhas Douradas (11L/10G) (Ferreira, 1970). ....	73
Tabela 13 - Precipitação mensal média para o período de 1931 a 1960 para a estação meteorológica de Penhas Douradas (Ferreira, 1970). ....	73
Tabela 14 - Precipitação mensal média para anos hidrológicos de 2005 a 2024 da estação meteorológica de Penhas Douradas (11L/10G) (SNIRH, 2024). ....	75
Tabela 15 - Precipitação mensal média (mm) para a estação meteorológica de Penhas Douradas para os períodos de registo disponíveis. ....	75
Tabela 16 - Resultados do cálculo da evapotranspiração potencial mensal (ETP) a partir do método de Thorntwaite para a área em estudo da Nascente do Mondeguinho. ....	77
Tabela 17 - Resultados do método do Balanço Hidrológico sequencial mensal (L/m <sup>2</sup> ) para a área em estudo da Nascente do Mondeguinho. ....	77
Tabela 18 – Estimativas sobre o caudal potencial da Nascente do Mondeguinho, considerando a recarga avaliada a partir do balanço hidrológico local (G=428,16 L/m/ano), e admitindo diferentes área à partida como potencias de recarga. ....	79
Tabela 19 - Resultados das medições do caudal da Nascente do Mondeguinho. ....	82
Tabela 20 - Resultados dos parâmetros físico-químicos para a área em estudo da Nascente do Mondeguinho. ....	83
Tabela 21 - Resultados estatísticos dos parâmetros físico-químicos para a área em estudo da Nascente do Mondeguinho. ....	83
Tabela 22 - Resultados das análises de água físico-químicas. ....	86
Tabela 23 - Resultados das análises de água microbiológicas. ....	87
Tabela 24 – Resultados da aplicação do método do Decreto-Lei 382/99 para as várias zonas de proteção da Nascente do Mondeguinho. ....	93
Tabela 25 - Resultados da aplicação do método Wyssling para as várias zonas de proteção da Nascente do Mondeguinho. ....	93

Folha em branco

## Lista de Acrónimos

A	Área
AGE	Associação Geopark Estrela
AM	Águas Minerindustriais
AMN	Águas Minerais Naturais
AN	Águas de Nascente
ASC	Águas Subterrâneas comuns
a	Parâmetro
b	Espessura saturada do aquífero
C	Condutividade elétrica
DECA	Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
DGT	Direção Geral do Território
DH	Défice hídrico
Diss.	Dissertação
DL	Decreto-lei
Eh	Potencial redox
EN	Estrada Nacional
Eq.	Equação
ETR	Evapotranspiração real ou efetiva
ETP	Evapotranspiração potencial
Fig.	Figura
G	Escoamento subterrâneo
H	Espessura saturada na captação
I	Índice de calor anual
$i_{gh}$	Gradiente hidráulico
i	Índice de calor médio
INE	Instituto Nacional de Estatística
K	Fator de correção da duração mensal de insolação
k	condutividade hidráulica ou coeficiente de permeabilidade
L	Perda potencial de água
Máx.	Máximo
Mín.	Mínimo
meq/L	Milequivalentes por litro
NOAA	Administração Oceânica e Atmosférica Nacional
n	Porosidade
$n_e$	Porosidade efetiva
$n_u$	Capacidade utilizável pelas plantas

P	Precipitação
PP	Perímetro de proteção
Q	Caudal
R	Escoamento superficial
r	Raio do perímetro de proteção
RG	Recursos Geotérmicos
SCE	Serviços Cartográficos do Exército
SGP	Serviços Geológicos de Portugal
SH	Superavit hídrico
SNIAMB	Sistema Nacional de Informação de Ambiente
SNIRH	Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos
So	Distância a montante da captação
Su	Distância a jusante da captação
T	Temperatura
t	Temperatura média diária do mês
$t_n$	Tempo necessário para o poluente atingir a captação
TDS	Total de sólidos dissolvidos
UBI	Universidade da Beira Interior
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação
$V_T$	Volume total
$V_V$	Volume de vazios
ZPA	Zona de Proteção Alargada
ZPI <sub>m</sub>	Zona de Proteção Imediata
ZPI <sub>n</sub>	Zona de Proteção Intermédia
$\Delta h$	Diferença de carga hidráulica
$\Delta L$	Distância ao longo do caminho do fluxo
$\Delta S_s$	Variação do armazenamento de água à superfície
$\Delta S_{s0}$	Variação do armazenamento de água no solo arável
$\Delta S_{s00}$	Variação do armazenamento de água no subsolo

Folha em branco

# Capítulo 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 Objetivos

O objetivo principal da presente dissertação prende-se com a contribuição do conhecimento nas várias áreas do saber, nomeadamente do foro hidrogeológico, de modo a que a Fonte da Nascente do Mondeguinho venha a melhorar na sua qualidade em relação às suas funções, quer como lugar singular no panorama turístico local e nacional, associado ao Parque Natural da Serra da Estrela, quer ainda como lugar especial de geossítio, designação recente, integrada no Estrela Geopark – Património Mundial da UNESCO, que lhe veio dar uma importância a nível mundial, onde é fundamental ser garantida a sua “geoconservação e proteção”, de modo a cumprir as regras desse património mundial.

Assim, naquele sentido há um conjunto de objetivos parciais, nomeadamente conhecer o regime anual da disponibilidade hídrica da Fonte do Mondeguinho, qualidade da sua água, conhecer o modelo geohidráulico do sistema aquífero que lhe está na origem, bem como avançar com a definição do perímetro de proteção, com proposta da sua implementação, de modo a que a sua água, cumpra as regras de se manter potável e adequada à saúde pública como um recurso hídrico de origem subterrânea, mas também que cumpra as regras da conservação e proteção do local, situações absolutamente fundamentais para a Fonte do Mondeguinho se afirmar no panorama internacional na rota dos vários geoparques mundiais integrados na rede da UNESCO.

### 1.2 Justificativa do tema

A água é um recurso essencial para a saúde e o bem-estar para todos no planeta Terra. Está presente em diferentes “reservatórios naturais”, como oceanos, rios, lagos, glaciares, aquíferos subterrâneos e na atmosfera. É fundamental para processos vitais, como respiração, fotossíntese, digestão e regulação corporal, além de ser fundamental para o ciclo hidrológico que envolve os processos de evaporação, condensação, precipitação, escoamento superficial e infiltração subterrânea.

A água é importante para o equilíbrio ambiental na regulação do clima, e na preservação da biodiversidade. A água também é importante para atividades económicas sendo essencial para as atividades agrícolas, industriais, de pesca, de turismo e de transporte

fazendo desta maneira que seja recurso essencial para o desenvolvimento socioeconómico de todo o mundo.

Ela é importante para a biodiversidade, para o uso doméstico, agrícola e industrial, para o turismo, desempenhando assim, um papel muito importante nas diferentes regiões de todo o mundo.

A água subterrânea é também utilizada na agricultura e na indústria. Para o uso deste recurso hídrico é necessário proceder à sua captação no local, que pode ser feita a partir de poços manuais ou a partir de poços ou furos associados a drenos horizontais.

A água subterrânea, que se encontra em aquíferos originados pela infiltração da água da chuva na camada do subsolo, é uma das principais fontes de água potável, especialmente em regiões onde as águas superficiais são escassas ou impróprias para consumo humano. A gestão sustentável deste recurso hídrico, é essencial para proteger o meio ambiente, para evitar a sua sobre-exploração que pode resultar na sua escassez, e na sua contaminação, sendo necessário promover a sustentabilidade. A gestão da água subterrânea, é ainda essencial para o planeamento urbano e rural que depende do acesso a fontes de água. Assim, para a implementação de políticas e práticas de gestão deste recurso hídrico, por forma a garantir o seu uso sustentável, de maneira a garantir a disponibilidade e a qualidade da água para toda a população é necessário ter conhecimento do aquífero em exploração.

Os principais rios da zona em estudo são o Rio Mondego, o Rio Zêzere e o Rio Alva. O Rio Mondego é muito importante para Portugal, porque é o maior rio que nasce e desagua totalmente dentro do país, desempenhando um papel essencial na economia, fornecendo água para a agricultura, energia hidroelétrica e sendo usado para navegação e recreação, e ainda na biodiversidade, proporcionando habitat para várias espécies de fauna e flora. É ainda importante na área da saúde e lazer. Esta dissertação foca-se na Fonte do Mondeguinho (Fig.1.1), usualmente considerada por início do Rio do Mondego, situado na Serra da Estrela. O estudo hidrogeoambiental desta nascente é importante para contribuir para a preservação do fluxo de água ao longo do rio, beneficiando tanto a vida selvagem quanto as atividades humanas que dependem desse recurso. A Fonte do Mondeguinho é um lugar turístico que permite às pessoas visitar o local e usufruir da água da fonte, tendo assim valor simbólico e histórico, sendo um espaço de interesse cultural e turístico para a região.



Figura 1.1 - A Fonte do Mondeguinho (Nascente do Rio Mondego).

## 1.3 Metodologia

A metodologia desta dissertação de mestrado organiza-se em 3 fases principais. A primeira fase é a pesquisa bibliográfica, que sintetiza os principais tópicos relacionados com o estudo hidrogeoambiental da Nascente do Mondeguinho. A segunda fase envolve o trabalho de campo, na Serra da Estrela, na freguesia de Mangualde da Serra, Concelho de Gouveia, que consiste na recolha de dados, e em particular contacto com os vários tipos litológicos da zona de estudo, e na Nascente do Mondeguinho a medição do caudal, registo dos parâmetros físico-químicos *in-situ*, ao longo do tempo, além da recolha de amostras de água da Fonte do Mondeguinho para análises microbiológica e físico-química em laboratório. A terceira fase compreende estudos em gabinete, nomeadamente o tratamento de dados, com a elaboração de mapas, análise e interpretação de resultados, sistematização das conclusões, e então a elaboração do presente documento.

### 1.3.1 Pesquisa bibliográfica

Para o desenvolvimento desta dissertação, a principal literatura sobre os recursos hídricos subterrâneos com foco nas bacias hidrográficas e na qualidade da água subterrânea, foram nomeadamente os trabalhos desenvolvidos na Universidade da Beira Interior, pelos seguintes autores:

- i) Mendes (2006). "Perímetros de proteção de captações de água subterrânea para consumo humano em zonas de montanha Caso de estudo da cidade da Covilhã".
- ii) Plácido (2007). "Qualidade da água mineral do campo geotérmico e hidromineral de São Pedro do Sul".

- iii) Almeida Soeiro (2009). “Estudos hidrogeoambientais para a implementação de uma nova unidade termal - Caso de estudo da água sulfúrea da fonte Santa de Águas - Penamacor”.
- iv) Quintela (2009). “Estudos geohidráulicos, ambientais e de ocupação urbana na área da estância termal e climatológica de Unhais da Serra”.
- v) Mendes (2010). “Modelos geohidráulicos em meios fracturados de rochas graníticas - Caso de estudo do aquífero da Fonte da Fraga - Serra da Gardunha”.
- vi) Brito (2011). “Modelação do escoamento subterrâneo do sector do Ribeiro Frio do sistema aquífero da água Fonte da Fraga”.
- vii) Enes (2011). “Contribuição para o conhecimento hidrogeológico da freguesia de Creixomil no concelho de Barcelos”.
- viii) Santos (2014). “Potencial Hídrico Subterrâneo da Ribeira das Cortes”.
- ix) Marcos (2016). “Contribuição para o conhecimento do potencial geotérmico do distrito da Guarda”.
- x) Costa (2018). “Modelo geohidráulico das águas sulfúreas da Bacia do Rio Dão”.
- xi) Belgas (2019). “Contribuição para um Geoparque na Região da Serra da Estrela com recurso a SIG”.
- xii) Ferreira (2023). “Modelação de Sistemas Geohidráulicos Profundos Associados a Fraturas Extensas da Região da Meda”.

Entretanto, consultaram-se muitos outros trabalhos e livros da literatura do domínio das águas subterrâneas, nomeadamente:

- i) Espinha Marques (2007). “Contribuição para o conhecimento da hidrogeologia da Região do Parque Natural da Serra da Estrela”.
- ii) Magalhães Carvalho (2008). “Contribuição para o Conhecimento da Hidropedologia e da Hidrogeologia Ambiental na Região do Parque Natural da Serra da Estrela (Sector de Nave de Santo António-Torre)”.
- iii) Magalhães Carvalho (2013). “Hidrogeologia Ambiental da região do Parque Natural da Serra da Estrela (setor de Seia-Torre-Covilhã): uma abordagem multidisciplinar”.
- iv) Lencastre e Franco (2006). “Lições de hidrologia”.
- v) Custódio e Llamas (2001). “Hidrologia Subterrânea”.
- vi) Fetter (2001). “Applied Hydrogeology”.

### **1.3.2 Trabalho de campo**

Numa primeira fase do trabalho de campo foi realizada uma inspeção ao local do Mondeguinho (Nascente do Rio Mondego), situado na Serra da Estrela, para o

levantamento de dados. Foi feito o levantamento do local da fonte e o reconhecimento da geologia do local.

Foram registadas sistematicamente, uma vez por mês, de junho de 2024, a maio de 2025, as medições do caudal (Q) da Fonte do Mondeguinho (Fig.1.2), e em simultâneo obtiveram-se os parâmetros físico-químicos da água, nomeadamente a temperatura (T), a condutividade elétrica (C), o total de sólidos dissolvidos (TDS), o pH e o potencial redox (Eh), com recurso ao medidor paramétrico portátil de água (Eutech PC650), e ao medidor multiparâmetro portátil (Hanna HI98195), observados em registos na Fig.1.3.

Recolheu-se uma amostra para posterior análise microbiológica e físico-química para avaliação da qualidade da água da Nascente do Mondeguinho. Foram realizadas mais fases de campo com o objetivo de medir novamente o caudal da fonte da nascente e obter os parâmetros anteriormente referidos para se proceder ao tratamento de dados.



Figura 1.2 - Medição do caudal da Fonte do Mondeguinho.



Figura 1.3 - Medidor paramétrico portátil de água (Eutech PC650) e medidor multiparâmetro portátil (Hanna HI98195), em fase de registos físico-químicos *in situ*.

### **1.3.3 Trabalho de gabinete**

Esta fase refere-se ao desenvolvimento de mapas, com recurso a vários softwares, nomeadamente o AutoCad, e no tratamento de dados numéricos através de folha Excel e à análise de resultados e conclusões.

## Capítulo 2

# ELEMENTOS HIDROGEOLÓGICOS

Neste item desenvolvem-se os elementos hidrogeológicos necessários à compreensão e comparação com resultados a apresentar e a desenvolver na dissertação na parte do caso de estudo (Cap.3).

### 2.1 Introdução

Segundo Quintela (1996), pode-se definir ciclo hidrológico da seguinte forma: O ciclo hidrológico é a sequência fechada de fenómenos pelos quais a água passa do globo terrestre para a atmosfera, na fase de vapor, e volta àquele, nas fases líquida ou sólida.

Assim, de acordo com o autor anteriormente citado, entende-se por ciclo hidrológico como um conjunto de processos naturais que fazem a água circular entre a superfície terrestre e a atmosfera, em que a água se transforma em vapor e ascende à atmosfera, retornando à superfície terrestre em estado líquido ou sólido.

A água evapora da superfície terrestre para a atmosfera e, junto com a transpiração das plantas, forma o processo conhecido como evapotranspiração. O vapor de água é transportado pela circulação atmosférica e armazenado nas nuvens, eventualmente se transformando em precipitação. Quando a precipitação ocorre, parte da água torna-se escoamento superficial, outra parte infiltra-se no solo alimentando os aquíferos como escoamento subterrâneo, e uma porção retorna à atmosfera. O escoamento superficial leva a água para rios, que desaguam em lagos ou oceanos, enquanto o escoamento subterrâneo pode direcionar o fluxo de água para rios ou diretamente para lagos e oceanos. A água chega aos oceanos tanto através da precipitação direta quanto pelo escoamento (Quintela, 1996).

De acordo com o autor anteriormente citado as principais etapas do ciclo hidrológico são as seguintes:

- i) Evaporação, sublimação e transpiração;
- ii) Evapotranspiração;
- iii) Condensação;
- iv) Transporte;
- v) Precipitação;
- vi) Escoamento superficial e subterrâneo;

- vii) Infiltração;
- viii) Percolação.

A evaporação, que é a etapa em que a água dos oceanos, rios e lagos se transforma do estado líquido para o estado de vapor. A sublimação consiste em a água passar do estado sólido para o estado gasoso sem que passe pelo estado líquido. A transpiração, que consiste na libertação da água da superfície terrestre para a atmosfera, e por transpiração das plantas e dos seres vivos. A evapotranspiração, que se entende como as fases de evaporação e de transpiração em conjunto.

A condensação é o resultado da etapa em que o vapor de água sobe para a atmosfera e ao atingir uma temperatura inferior condensa-se em pequenas gotículas formando deste modo as nuvens.

A etapa de transporte, que consiste na circulação da água na atmosfera.

A precipitação que é a etapa em que a água condensada na atmosfera passa desta para a superfície terrestre sob a forma de chuva, neve, granizo ou orvalho.

A etapa de escoamento ocorre quando a água flui pela superfície terrestre, originando rios, lagos, glaciares e oceanos. Esse escoamento pode ser superficial, quando a água não se infiltra no solo, ou subterrâneo, quando ocorre a infiltração, formando aquíferos.

A infiltração, é a etapa em que parte da água da precipitação se infiltra no solo movendo-se do solo para o subsolo, dando origem a águas subterrâneas que desta maneira abastecem os aquíferos.

A percolação, que se entende como o movimento da água genericamente descendente através das camadas de solo e rochas em profundidade. A percolação depende das características do solo, tais como, a sua textura, estrutura, fissuração e porosidade (Quintela, 1996).

As principais fontes de energia que permitem todo o processo do ciclo hidrológico são: A energia solar, que se transforma em energia térmica e mantém a água em circulação no ciclo, pela gravidade, que causa a precipitação e o escoamento, e pela energia das mudanças de fase, como evaporação e condensação, que absorvem ou liberam calor. (Quintela, 1996).

Na Figura 2.1 encontra-se representado o processo do ciclo hidrológico e as suas principais etapas.



- P, é a precipitação;
- ETR, é a evapotranspiração real ou efetiva;
- R , é o escoamento superficial;
- G, é o escoamento subterrâneo;
- $\Delta S_s$ ,  $\Delta S_{so}$ ,  $\Delta S_{sso}$ , são as variações do armazenamento de água, respetivamente à superfície, no solo arável e no subsolo;

Para o cálculo da evapotranspiração potencial (ETP), utiliza-se a fórmula de Thornthwaite, a partir da seguinte equação (Eq.2.2):

$$ETP = K \times ETPo \text{ (mm/mês)} \quad (\text{Eq. 2.2})$$

Em que:

- ETPo, é a evapotranspiração potencial média para meses teóricos de 30 dias e 12 horas de luz por dia, em um local do equador de latitude zero, e é calculada pela seguinte equação (Eq.2.3):

$$ETPo = 16 \times (10 \times t/I)^a \text{ (mm/mês)} \quad (\text{Eq. 2.3})$$

Em que:

- t, é a temperatura média diária do mês (°C);
- a, é um parâmetro dado pela seguinte equação (Eq.2.4):

$$a = (675 \times 10^{-9} \times I^3) - (771 \times 10^{-7} \times I^2) + (179 \times 10^{-4} \times I) + 0,49 \quad (\text{Eq. 2.4})$$

- I, é o índice de calor anual dado pela seguinte equação (Eq.2.5):

$$I = \sum_{j=1}^{12} i_j \quad (\text{Eq. 2.5})$$

Em que,  $i$ , é o índice de calor mensal dado pela seguinte equação (Eq.2.6):

$$i = (t/5)^{1,5} \text{ (t em } ^\circ\text{C)} \quad (\text{Eq. 2.6})$$

- K, é o fator de correção da duração mensal de insolação, sendo determinado de acordo com os valores da Tabela 1.

Tabela 1 - Fator de correção da duração mensal de insolação K (in Lencastre e Franco, 2006).

Latitude	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
60°N	0,54	0,67	0,97	1,19	1,33	1,56	1,55	1,33	1,07	0,84	0,58	0,48
50°N	0,71	0,84	0,98	1,14	1,28	1,36	1,33	1,21	1,06	0,90	0,76	0,68
40°N	0,80	0,89	0,99	1,10	1,20	1,25	1,23	1,15	1,04	0,93	0,83	0,78
30°N	0,87	0,93	1,00	1,07	1,14	1,17	1,16	1,11	1,03	0,96	0,89	0,85
20°N	0,92	0,96	1,00	1,05	1,09	1,11	1,10	1,07	1,02	0,98	0,93	0,91
10°N	0,97	0,98	1,00	1,03	1,05	1,06	1,05	1,04	1,02	0,99	0,97	0,96
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10°N	1,05	1,04	1,02	0,99	0,97	0,96	0,97	0,98	1,00	1,03	1,05	1,06
20°N	1,10	1,07	1,02	0,98	0,93	0,91	0,92	0,96	1,00	1,05	1,09	1,11
30°N	1,10	1,11	1,03	0,96	0,89	0,85	0,87	0,93	1,00	1,07	1,14	1,17
40°N	1,16	1,15	1,04	0,93	0,83	0,78	0,80	0,89	0,99	1,10	1,20	1,25
30°N	1,23	1,19	1,05	0,89	0,75	0,68	0,70	0,82	0,97	1,13	1,27	1,36

Exemplo de cálculo de Evapotranspiração (ETP) a partir do método de Thornthwaite, para as zonas das captações de água subterrânea em estudo nas áreas a montante da cidade da Covilhã (Serra da Estrela), apresenta-se na Tabela 2, a partir de dissertação de mestrado de Mendes (2006).

Tabela 2 - Exemplo de cálculo de Evapotranspiração (ETP) a partir do método de Thornthwaite para a zona a montante da cidade da Covilhã (Serra da Estrela) (Mendes, 2006).

Parâmetro	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
$t$ (°C) (*)	2,4	3,0	4,7	6,7	9,2	13,9	17,2	17,0	14,3	9,6	5,6	3,2
$i$	0,330	0,462	1,219	1,556	2,511	4,683	6,460	6,346	4,888	2,678	1,187	0,510
ETPo (mm)	11,8	14,8	23,4	33,6	46,4	70,8	88,0	87,0	72,9	48,5	28,0	15,8
$K$	0,80	0,89	0,99	1,10	1,20	1,25	1,23	1,15	1,04	0,93	0,83	0,78
$ET_p$ (mm)	9,4	13,2	23,2	37,0	55,7	88,5	108,2	100,1	75,8	45,1	23,2	12,3
l=32,83						a=1,022						

(\*) temperatura média mensal, entre 1931 e 1960, na estação meteorológica das Penhas Douradas (Ferreira, 1970, in Mendes, 2006). Estação meteorológica das Penhas Douradas (Latitude: 40°25'N; Longitude: 7°33'W; Altitude: 1383m).

Um exemplo da determinação de todos os termos do balanço hidrológico, para o caso da zona a montante da cidade da Covilhã (Serra da Estrela) apresenta-se na Tabela 3, onde:

- P, é a precipitação média mensal (mm);

-ETP, é a evapotranspiração potencial (mm/mês), neste exemplo avaliada em Tabela 2;

- L, é a perda potencial de água, em cada intervalo de tempo do período seco ( $P < ETP$ ), calculada pela seguinte equação (Eq.2.7):

$$L(i) = \sum_{j=1}^i (P - ETP)_j \quad (L < 0) \quad (\text{Eq. 2.7})$$

Sendo:

- $i$ , o nº da sequência do intervalo (coluna), em causa, desde o início do período seco,
- $j$  é o nº de qualquer intervalo do mesmo período seco;
- $(Sso)_i$ , é o armazenamento de água que fica no solo de capacidade utilizável pelas plantas ( $n_u$ ) que é calculado para o período seco e para o período húmido respetivamente pelas seguintes equações (Eq.2.8) e (Eq.2.9):

Para o período seco ( $P - ETP < 0$ ):

$$(Sso)_i = (n_u \times e^{L/n_u})_i \quad (\text{Eq. 2.8})$$

Para o período húmido ( $P - ETP > 0$ ):

$$(Sso)_i = (P - ETP)_i + (Sso)_{i-1} \quad \text{se } Sso < n_u \quad (\text{Eq. 2.9})$$

- $(\Delta Sso)_i$ , é a variação do armazenamento de água em cada intervalo de tempo, e é determinada pela seguinte equação (Eq.2.10):

$$(\Delta Sso)_i = (Sso)_i - (Sso)_{i-1} \quad (\text{Eq. 2.10})$$

- $ETR$ , é a evapotranspiração real ou efetiva que sucede a cada intervalo de tempo  $i$ , e é determinada pelas seguintes equações (Eq.2.11) e (Eq.2.12):

$$(ETR)_i = (ETP)_i \quad (\Delta Sso \geq 0) \quad (\text{Eq. 2.11})$$

$$(ETR)_i = (P - \Delta Sso)_i \quad (\Delta Sso < 0) \quad (\text{Eq. 2.12})$$

- $(DH)_i$ , representa os défices hídricos nos sucessivos intervalos de tempo  $i$ , com a condição de que  $P < ETP$ , e é determinada pela seguinte equação (Eq.2.13):

$$(DH)_i = [ETP - (ETR)_i] = (ETP + \Delta Sso - P)_i \quad (\Delta Sso < 0) \quad (\text{Eq. 2.13})$$

- $(SH)_i$ , são os resultados do superavit hídrico, dos sucessivos intervalos de tempo  $i$ , com a condição de  $P \geq ETP$ , sendo determinada pela seguinte equação (Eq.2.14):

$$(SH)_i = [P - (ETP + \Delta Sso)]_i \quad (\Delta Sso \geq 0) \quad (\text{Eq. 2.14})$$

Tabela 3 - Exemplo de aplicação do método do Balanço Hidrológico (Mendes, 2006).

Termo	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
P	239,1	200,0	165,0	119,8	107,4	42,4	13,5	15,7	60,2	171,8	214,2	240,8	1589,9
ETP	9,4	13,2	23,2	37,0	55,7	88,5	108,2	100,1	75,8	45,1	23,2	12,3	591,7
P-ETP	229,7	186,8	141,8	82,8	51,7	-46,1	-94,7	-84,4	-15,6	126,7	191,0	228,5	998,2
L	-	-	-	-	-	-46,1	-140,8	-225,2	-240,8	-	-	-	-
Sso	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	63,1	24,5	10,5	9,0	100,0	100,0	100,0	-
$\Delta$ Sso	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-36,9	-38,6	-14,0	-1,5	91,0	0,0	0,0	-
ETR	9,4	13,2	23,2	37,0	55,7	79,3	52,1	29,7	61,7	45,1	23,2	12,3	441,9
DH	-	-	-	-	-	9,2	56,1	70,4	14,1	-	-	-	149,8
SH	229,7	186,8	141,8	82,8	51,7	-	-	-	-	35,7	191,0	228,5	1148,0

Nota: todos os termos têm as unidades em mm. (\*) admite-se que nu se encontra integralmente satisfeito no início do período seco, ou seja, Sso=100mm, em maio.

Os resultados do balanço hidrológico sequencial mensal em termos gráficos apresentam-se na Figura 2.2.

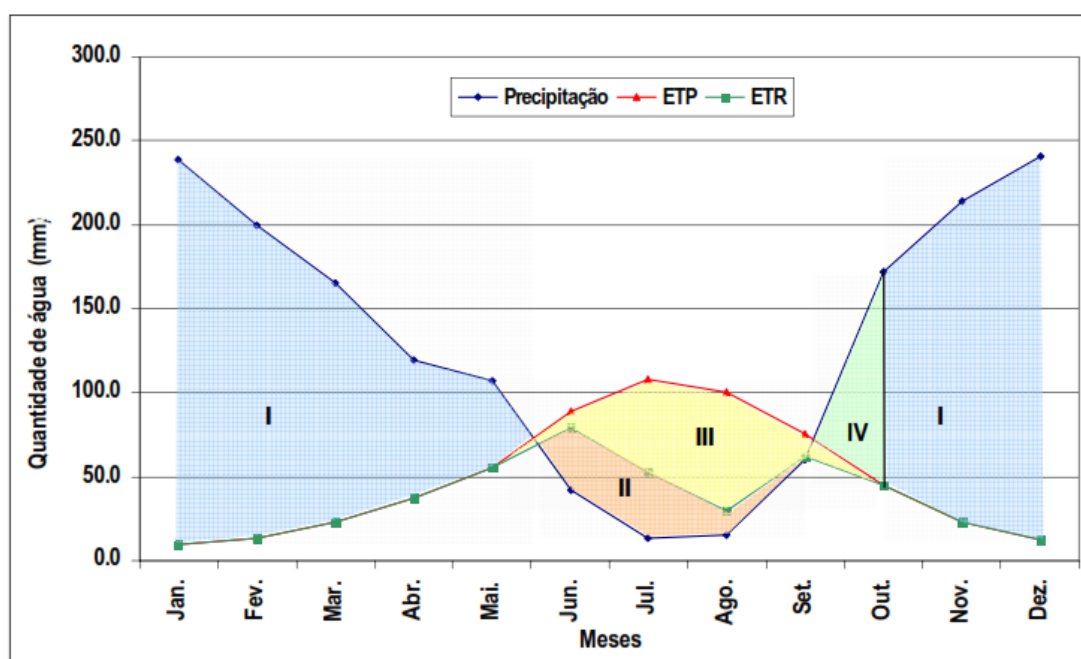


Figura 2.2 - Expressão gráfica do balanço hidrológico apresentado na Tabela 3, para a zona a montante da cidade da Covilhã (Serra da Estrela). I - Excedentes; II - Consumo das reservas; III - Défice hídrico; IV - Restituição das reservas (Mendes, 2006).

Dos resultados do balanço hidrológico (Tabela 3, Fig.2.2) verifica-se a ocorrência de um período seco e um período húmido, sendo o primeiro é traduzido por DH, que vai de junho a setembro, com o máximo em agosto; o segundo, o período húmido, traduzido pelo SH, que vai de outubro a maio, verificando-se o excesso máximo de água, em janeiro.

No período húmido, o superavit divide-se em duas parcelas: o escoamento superficial (R) e escoamento subterrâneo (G), ou seja:  $SH = R + G = 1148 \text{ mm}$ .

## 2.3 Sistemas aquíferos

Denomina-se aquífero uma formação geológica que permita a circulação e o armazenamento de água nos seus espaços vazios, possibilitando o aproveitamento

daquele líquido pelo homem em quantidades economicamente apreciáveis (Lencastre e Franco, 2006).

De acordo com Freeze et al. (2017), compreende-se que os aquíferos mais comuns são as formações geológicas do tipo: areias não consolidadas e cascalhos, rochas sedimentares permeáveis como arenitos e calcários, e rochas vulcânicas e cristalinas fraturadas.

### 2.3.1 Classificação de aquíferos quanto ao confinamento

A partir de Lencastre e Franco (2006), é possível sistematizar os aquíferos em diferentes tipos quanto ao seu confinamento (Fig.2.3), de acordo com o seguinte:

- i) Aquífero freático ou livre, quando o nível de água nele contido coincide com o nível atingido num furo de observação, isto é, à superfície freática correspondente a pressão atmosférica.
- ii) Aquífero confinado, cativo ou artesiano, quando o escoamento se processa entre duas superfícies impermeáveis, e se o nível atingido num furo de observação no mesmo, é superior ao nível do aquífero freático local.
- iii) Aquífero semi-confinado, quando uma das camadas que limitam o aquífero é semipermeável, e também, e se o nível atingido num furo de observação no mesmo, é superior ao nível do aquífero freático local.
- iv) Aquífero suspenso, quando uma formação impermeável aparece entre a zona saturada e a superfície do solo, dando origem à retenção de águas de infiltração acima dessa formação, formando um aquífero do tipo freático isolado.

Por exemplo, segundo a Fig.2.3, o aquífero B na zona a) é freático, na zona b) é confinado, na zona c) é semi-confinado, na zona d) é confinado e na zona e) volta a ser semi-confinado.

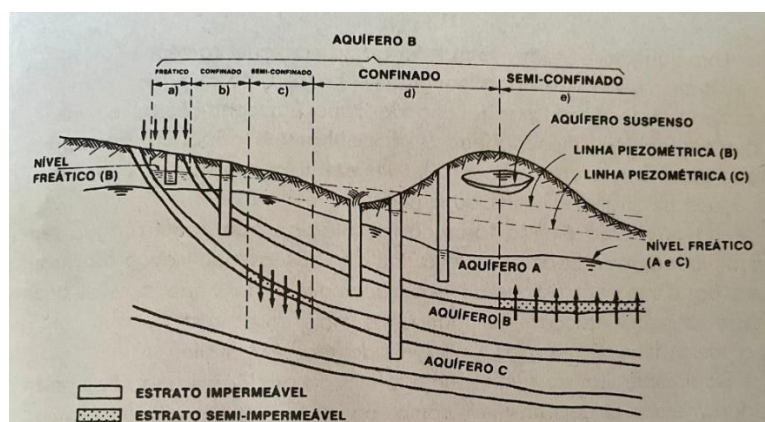


Figura 2.3 - Esquema dos diferentes tipos de aquíferos (Lencastre e Franco, 2006).



### 2.3.4 Elementos básicos da caracterização hidráulica de terrenos

Há alguns parâmetros físicos dos maciços geológicos que são importantes na sua identificação, caracterização, e estudos e projetos geohidráulicos sobre os mesmos. De entre outros parâmetros destacam-se a porosidade e a permeabilidade.

#### i) Porosidade

A porosidade é uma propriedade do solo, que é definida como a fração relativa do volume da rocha, ocupada por vazios, que podem estar preenchidos por ar ou água. A porosidade representa a capacidade do solo em reter fluidos.

A porosidade,  $n$  (%) é definida pela razão entre o volume de vazios e o volume total, sendo calculada pela equação (Eq.2.15) (Fernandes, 2016):

$$n = \frac{V_V}{V_T} \times 100 \quad (\text{Eq. 2.15})$$

Em que:

- $V_V$ , Volume de vazios;
- $V_T$ , Volume total.

A porosidade divide-se em 3 principais tipos, intersticial, fissural e cársica, que se encontram representados na Fig.2.4 nas alíneas a), b) e c) respetivamente.

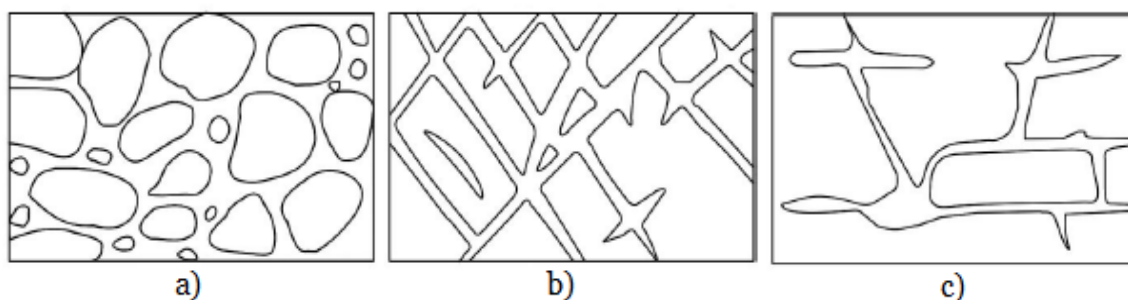


Figura 2.4 - Porosidade em diferentes formações geológicas: a) Depósito sedimentar constituído por areias; b) Rocha que desenvolveu vazios por fraturação (essencialmente do tipo diaclases); c) cársica rocha que desenvolveu vazios por dissolução (adaptado de Freeze e Cherry, 2017).

A Tabela 4 apresenta valores de porosidade típicos de diferentes maciços. Realça-se por exemplo nos terrenos sedimentares a particularidade de as argilas terem porosidades superiores às areias, no entanto a ocorrência de argilas dificulta a percolação das águas subterrâneas.

Tabela 4 - Valores típicos de porosidade em diferentes formações geológicas (Lencastre e Franco, 2006).

Material		Porosidade, n [%]					Porosidade efetiva, n <sub>e</sub> [%]			Observações
Tipo	Descrição	Média	Normal		Extraordinária		Média	Máx.	Mín.	
			Máx.	Mín.	Máx.	Mín.				
Rochas eruptivas vulcânicas	Piroclastos e tufo	30	50	10	60	5	5	20	0,0	C, E
	Escória	25	80	10			20	50	1	C, E
	Pormitos	85	90	50			5	20	0,0	D
	Basaltos compactos	2	5	0,1			1	2	0,1	A
	Basaltos Vacuolares	12	30	5			5	10	1	C
Rochas eruptivas plutónicas	Granito	0,3	4	0,2	9	0,05	0,2	0,5	0,0	A
Rochas sedimentares consolidadas	Argilito	5	15	2	30	0,5	2	5	0,0	E
	Arenito	15	25	3	30	0,5	10	20	0,0	F
	Cré Brando	20	50	10			1	5	0,2	B
	Calcário detritico	10	30	1,5			3	10	0,5	
	Calcário compacto	8	15	0,5	20		0,5	1	0,0	B
	Dolomita	5	10	2			0,5	1	0,0	B
Rochas sedimentares soltas	Aluviões	25	40	20	45	15	15	35	5	E
	Dunas	35	40	30			20	30	10	
	Cascalheira	30	40	25	40	20	25	35	15	
	Loess	45	55	40			5	10	0,1	E
	Areias	35	45	20			25	35	10	
	Depósitos glaciares	25	35	15			15	30	5	
	Siltos	40	50	35			10	20	2	E
	Arg. Pouco consolidadas	45	60	40	85	30	2	10	0,0	E
Solos superficiais	50	60	30			10	20	1	E	
Rochas metamórficas		0,5	5	0,2			0,5	2	0,0	A
A - n e n <sub>e</sub> aumentam com a meteorização					D - n pode diminuir e n <sub>e</sub> aumentar com o tempo					
B - n e n <sub>e</sub> aumentam devido a fenómenos de dissolução					E - n é muito variável, dependendo das circunstâncias					
C - n e n <sub>e</sub> diminuem com o tempo					F - variável segundo o grau de cimentação e solubilidade					

## ii) Permeabilidade

A permeabilidade é uma propriedade que representa a maior ou menor capacidade de o solo permitir que ocorra percolação da água através dos poros do maciço. A permeabilidade do solo depende da granulometria, da forma e textura das partículas, da composição mineralógica e da estratificação do maciço. Em areias por exemplo a permeabilidade é alta, facilitando o fluxo de água através do solo, em argilas a permeabilidade é baixa, dificultando o fluxo de água através do solo.

A permeabilidade é expressa através do coeficiente de permeabilidade  $k$ , a partir da lei experimental de Darcy. O coeficiente de permeabilidade  $k$  é um parâmetro que também pode ser denominado de condutividade hidráulica.

A sua determinação pode ser obtida pela equação da lei de Darcy (1856), (in Fernandes 2016), conforme dado pela seguinte equação (Eq.2.16):

$$Q = k \times A \times i_{gh} \quad (\text{Eq. 2.16})$$

Escrevendo a equação anterior em ordem ao parâmetro k, a condutividade hidráulica (em m/s) fica expressa da seguinte forma, equação (Eq.2.17):

$$k = \frac{Q}{A \times i_{gh}} \quad (\text{Eq. 2.17})$$

Em que, considerando o esquema da Fig.2.5:

- Q, Caudal (m<sup>3</sup>/s);
- A, Área da seção transversal (m<sup>2</sup>);
- i<sub>gh</sub>, Gradiente hidráulico.

Para a determinação do gradiente hidráulico, i<sub>gh</sub>, utiliza-se a seguinte equação (Eq.2.18):

$$i_{gh} = \frac{\Delta h}{\Delta L} \quad (\text{Eq. 2.18})$$

Em que:

- Δh, Diferença de carga hidráulica.
- ΔL, Distância ao longo do caminho do fluxo.

Valores típicos de k, de diferentes maciços, apresentam-se na Tabela 5. Realça-se por exemplo nos terrenos sedimentares a particularidade das argilas que apesar de terem porosidades superiores às areias, a permeabilidade é brutalmente muito inferior à das areias, sendo até comum, as argilas se considerarem impermeáveis.

Tabela 5 - Valores típicos de condutividade hidráulica ou coeficiente de permeabilidade (k) de diferentes formações geológicas (Lencastre e Franco, 2006).

Tipos de solos	Condutividade hidráulica (k)	
	m/s	m/dia (valor aproximado)
Argila	≤ 10 <sup>-8</sup>	≤ 10 <sup>-3</sup>
Silte	10 <sup>-7</sup> a 5 × 10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-2</sup> a 0,5
Areia Siltosa	10 <sup>-6</sup> a 2 × 10 <sup>-5</sup>	0,1 a 2
Areia fina	10 <sup>-5</sup> a 5 × 10 <sup>-5</sup>	1 a 5
Areia (mistura)	5 × 10 <sup>-5</sup> a 10 <sup>-4</sup>	5 a 10
Areia grossa	10 <sup>-4</sup> a 10 <sup>-2</sup>	10 a 10 <sup>3</sup>
Burgau limpo	≥ 10 <sup>-2</sup>	≥ 10 <sup>3</sup>

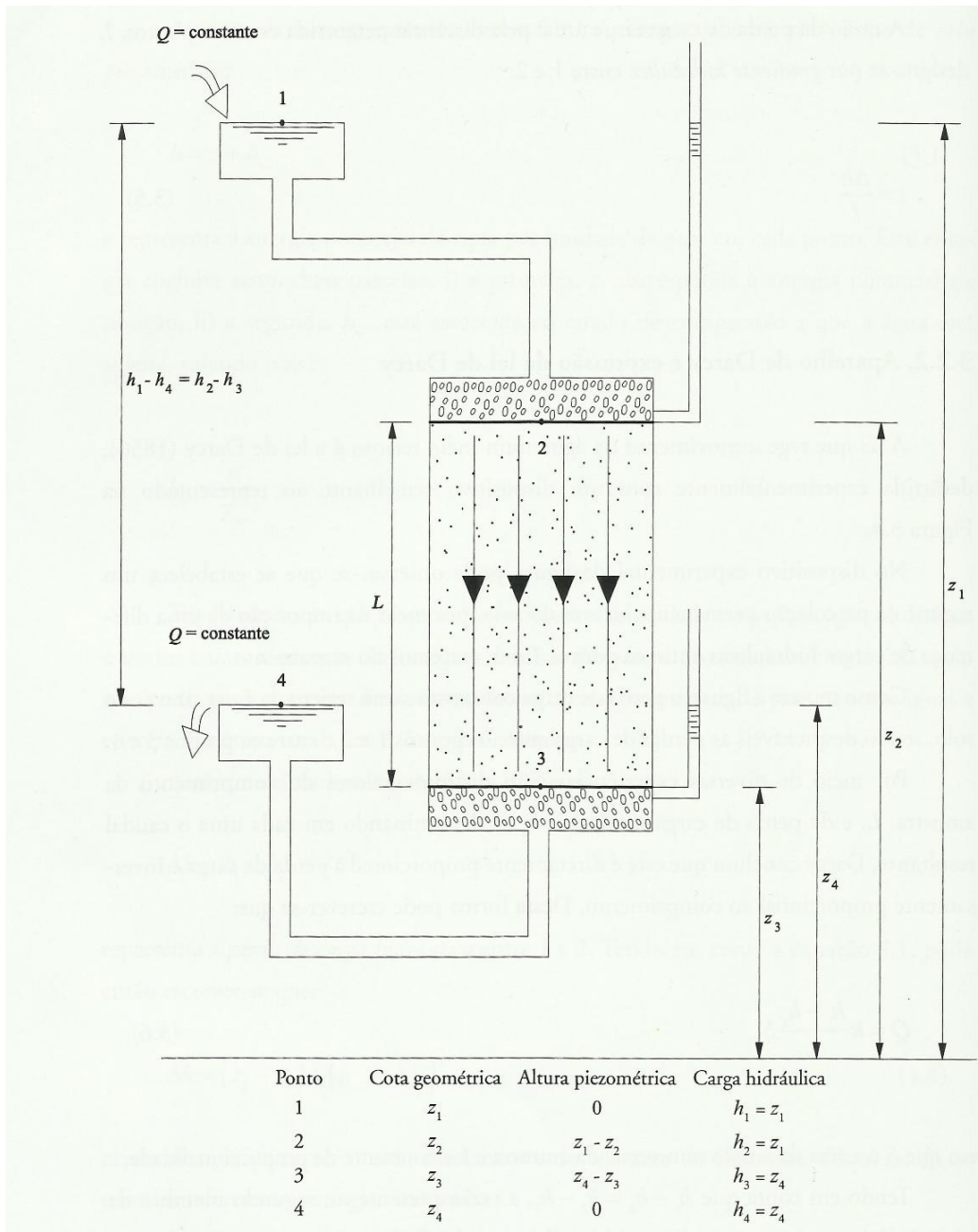


Figura 2.5 - Esquema hidráulico para determinação da condutividade hidráulica de um solo, a partir da Lei de Darcy (Fernandes, 2016).

## 2.4 Modelos geohidráulicos

Segundo Ferreira Gomes (2011a), compreende-se como um modelo geohidráulico, a representação do trajeto ou percurso subterrâneo que uma partícula de água segue, desde a sua origem até à zona de ressurgência ou nascente.

Assim, compreende-se que um modelo geohidráulico, é uma representação do comportamento do fluxo da água subterrânea em formações geológicas.

Os principais componentes de um modelo geohidráulico são os dados geológicos (litologia, estratigrafia e estrutura geológica), hidrológicos (recarga, níveis de água subterrânea e interações superficiais) e as propriedades hidráulicas (porosidade, permeabilidade, condutividade hidráulica).

Os modelos geohidráulicos são utilizados para compreender e gerir os recursos hídricos subterrâneos de um modo eficaz e sustentável, permitindo fazer o planeamento e gestão do uso de aquíferos para abastecimento de água potável, irrigação e uso industrial. São utilizados na avaliação de contaminação possibilitando a avaliação de riscos ambientais consequentes das atividades humanas. São ainda importantes no desenvolvimento urbano e industrial permitindo a avaliação do impacto de construções e atividades industriais sobre os aquíferos. São ainda utilizados na previsão de impactos climáticos possibilitando a avaliação da recarga e a disponibilidade de águas subterrâneas.

Devido à importância dos modelos geohidráulicos, apresentam-se de seguida alguns exemplos dos mesmos.

A Fig.2.6 é um exemplo de um modelo geohidráulico conceptual da Ribeira das Cortes, na Serra da Estrela, zona de estudo da dissertação de mestrado de Barata dos Santos, (2014), intitulada como “Potencial Hídrico Subterrâneo da Ribeira das Cortes”, em que de acordo com o autor se representam as unidades hidrogeológicas e a rede de fluxo dos pontos de água para a zona da bacia da Ribeira das Cortes. Enfatiza-se o facto, que nas rochas graníticas o sistema funciona como um aquífero, onde as partículas de águas evoluem num movimento descendente, até “esbarrarem” com as formações metamórficas, que são rochas xistentas, que funcionam como impermeáveis, resultando no conjunto uma nascente especial, conhecida como a Nascente dos Calções, nas Cortes do Meio.

Outro exemplo de um modelo geohidráulico ou hidrogeológico apresenta-se na Fig.2.7, que corresponde à situação da freguesia do Creixomil, obtido a partir da dissertação de mestrado de Enes (2011). Neste modelo, ressalta a particularidade de estruturas geológicas como filões, falhas, e contactos litológicos condicionarem o modelo num todo e em particular as zonas de descarga, traduzidas em nascentes.

A Fig.2.8 corresponde a um modelo hidrogeológico em corte para a região da cidade da Covilhã, obtido a partir da dissertação de mestrado de Mendes (2006), onde se pode visualizar a água infiltrada a ressurgir em locais muito próximos, ainda que parte do fluxo subterrâneo pode ir para profundidades ao longo das falhas e assim recarregar os aquíferos profundos.

A Fig.2.9 é um exemplo de um modelo hidrogeológico conceptual da área de recarga da Nave de Santo António na Serra da Estrela, avançado por Espinha Marques (2007), onde sobressai a particularidade de na zona central, na área da Nave de Santo António, as rochas graníticas em profundidade, muito fissuradas, funcionarem como zona de recarga em profundidade.

Por fim, merece referência um exemplo detalhado e completo de um modelo geohidráulico, desenvolvido por Ferreira (2023), apresentado na Fig.2.10, onde tem as várias componentes do ciclo hidrológico esquematizadas.

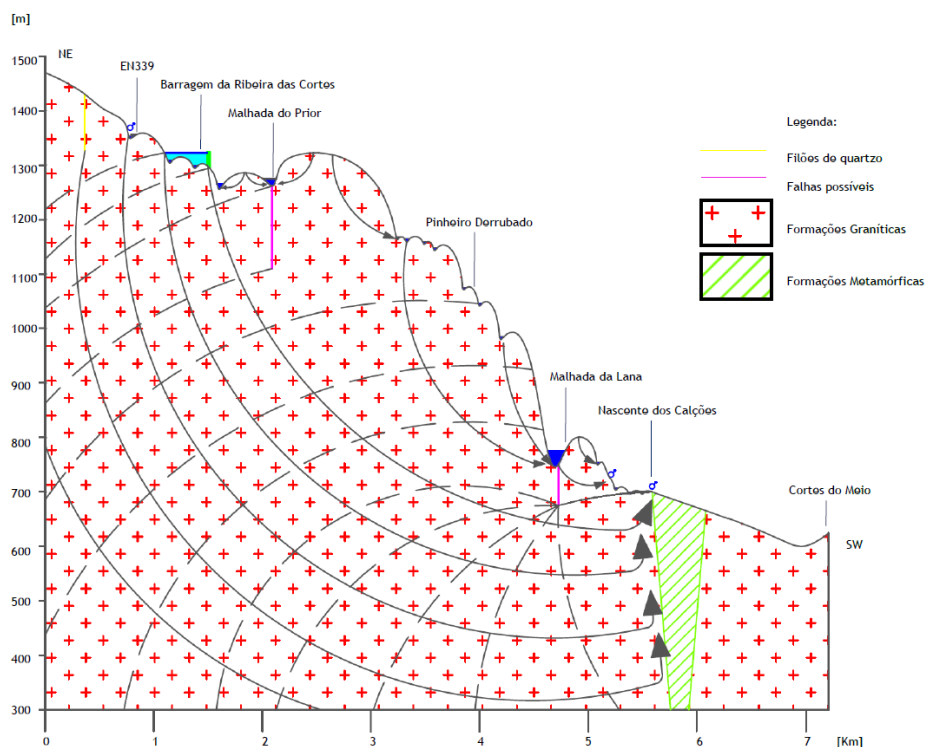


Figura 2.6 - Exemplo de um modelo geohidráulico conceptual da bacia da Ribeira das Cortes (Barata dos Santos, 2014).

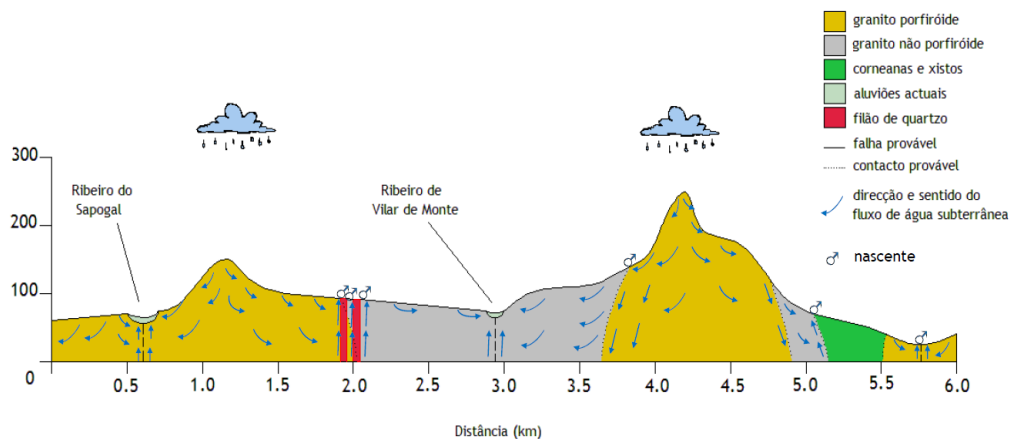


Figura 2.7 - Exemplo de um esboço do modelo hidrogeológico conceptual para a zona da freguesia do Creixomil (Enes, 2011).

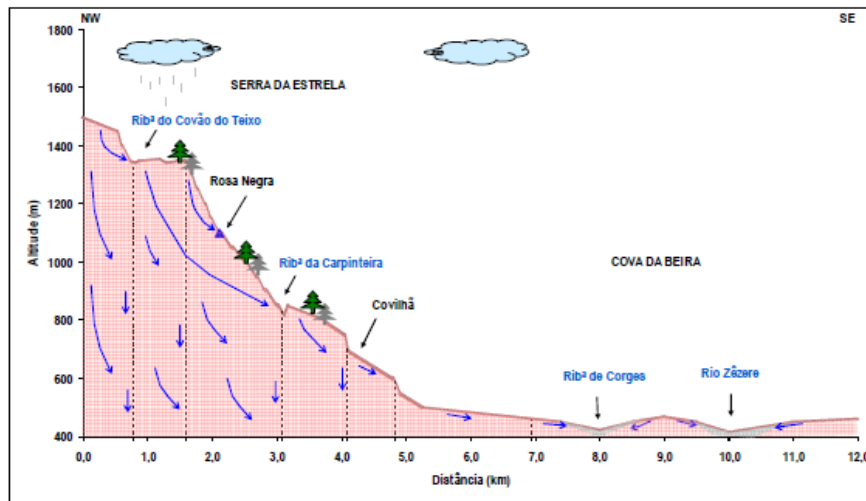


Figura 2.8 - Exemplo do modelo hidrogeológico para a zona da Covilhã (Mendes, 2006).

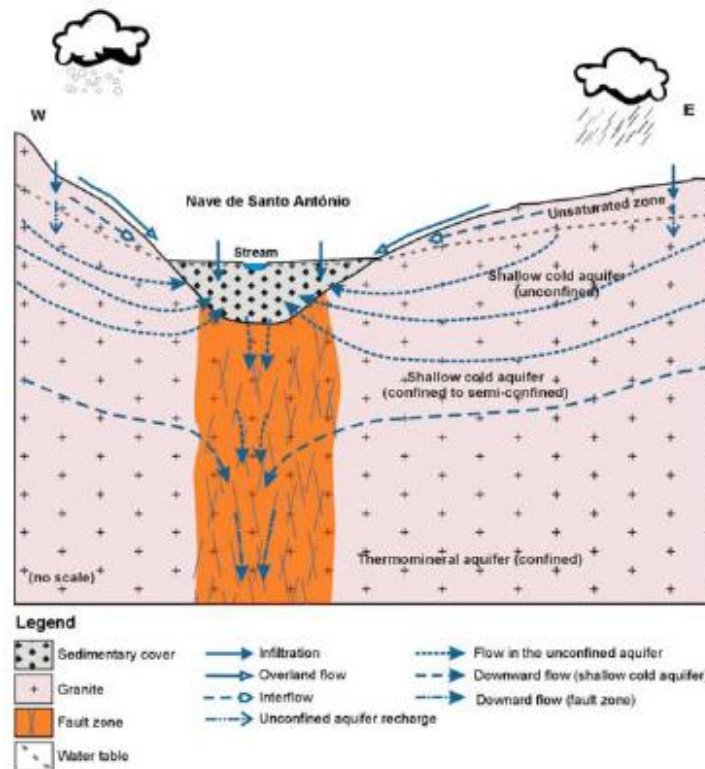


Figura 2.9 - Exemplo de um modelo hidrogeológico conceptual da área de recarga da Nave de Santo António - Serra da Estrela (a partir de Espinha Marques, 2007).

De entre muitos aspetos interessantes, daquele modelo, salienta-se o facto de serem as grandes falhas que condicionam a circulação do fluxo subterrâneo profundo (seta a amarelo, Fig.2.10b) em rochas graníticas, e que este evolui em profundidade, até cerca de 2 a 3 km, onde adquire temperatura de cerca de 115,4°C, para “esbarrar” com o contacto das formações xistentas (rochas com cores esverdeadas e amareladas, Fig.2.10c) para conseqüentemente, por questões hidráulicas, ressurgir à superfície como água naturalmente quente, junto às Termas de Longroiva.

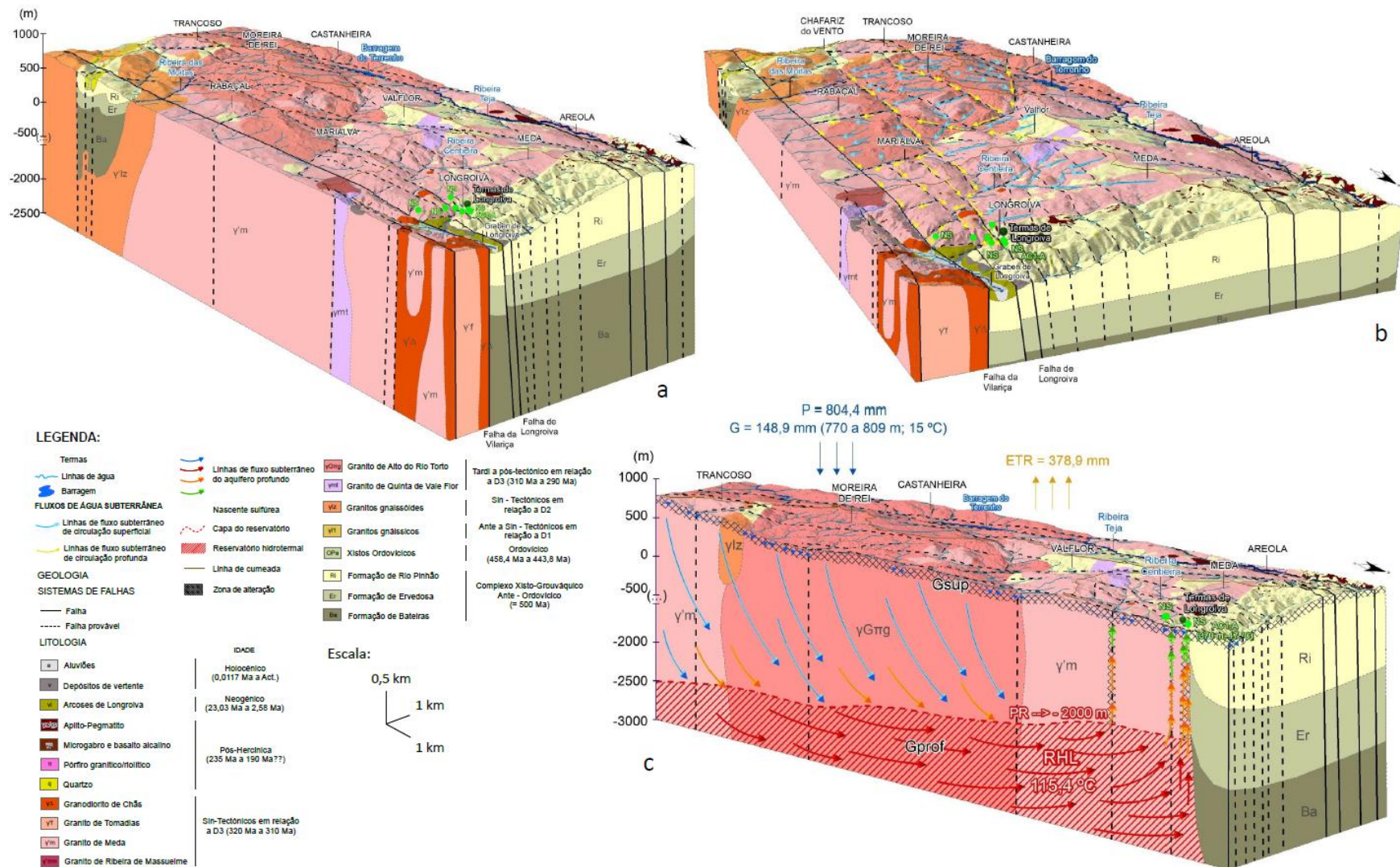


Figura 2.10 - Modelo hidrogeológico 3D da água mineral natural das Termas de Longroiva (Guarda), com: a) elementos geomorfológicos e geológicos; b) registo do fluxo do escoamento superficial (setas a azul) e do escoamento subterrâneo profundo (setas a amarelo); c) representação da circulação subterrânea em profundidade (Ferreira, 2023).

## **2.5 Tipos de águas subterrâneas**

### **2.5.1 Aspectos globais**

Neste subcapítulo, abordam-se os tipos de águas subterrâneas, sendo importante distinguir este termo de águas superficiais. O escoamento superficial e o escoamento subterrâneo são dois processos distintos da circulação da água na natureza. O escoamento superficial é o movimento da água na superfície do solo após a precipitação ou o degelo; este ocorre quando a quantidade de água que atinge o solo excede a sua capacidade de infiltração. Este tipo de escoamento pode dar origem a riachos, ribeiras, rios e lagos. O escoamento subterrâneo é o movimento da água na camada do subsolo; este acontece quando a água se infiltra no solo e se move através dele. Este tipo de escoamento pode alimentar aquíferos e emergir em nascentes.

Uma definição de água subterrânea, de acordo com os autores Freeze et al. (2017), pode ser a seguinte: o termo água subterrânea é normalmente reservado à água subsuperficial que se encontra abaixo do nível freático em solos e formações geológicas que estão totalmente saturados.

Segundo Ferreira Gomes (2011b), as águas subterrâneas podem ser de dois tipos diferentes, as águas comuns e as águas nobres, cada qual com o seu enquadramento legal estipulado.

As águas subterrâneas comuns, genericamente não apresentam uma composição química muito mineralizada e têm fraca estabilidade química, em especial em algumas espécies iónicas, além de serem genericamente muito vulneráveis à contaminação química e microbiológica. Frequentemente associam-se a aquíferos do tipo livres ou freáticos, e apresentam uma temperatura aproximadamente igual à da temperatura média anual da região em que se encontram. Estas águas comuns, naturalmente ou com alguns tratamentos, podem ser usadas para consumo humano, agricultura, indústria e lazer, de entre muitas outras aplicações.

As águas nobres dividem-se principalmente em dois tipos, as águas minerais naturais e as águas de nascente. Algumas destas águas, podem ainda ser classificadas como águas minerindustriais e recursos geotérmicos.

Águas Minerais Naturais (AMN) são águas bacteriologicamente próprias, de circulação subterrânea, com particularidades físico-químicas estáveis na origem dentro da gama de flutuações naturais, de que podem resultar eventuais propriedades terapêuticas ou efeitos favoráveis à saúde (DL, 2015). Algumas AMN podem ser classificadas como águas de

mesa sendo utilizadas para engarrafamento para consumo humano. Algumas AMN podem ainda ser classificadas como águas termais (para termalismo), onde se subdividem em águas termais frias e águas termais quentes, que são utilizadas para fins terapêuticos. As AMN quentes, podem ser classificadas também como Recursos Geotérmicos.

Águas de Nascente (AN), são as águas naturais de circulação subterrânea, bacteriologicamente próprias, que não apresentem as características necessárias à qualificação como AMN, desde que na origem se conservem próprias para beber (DL, 2015). A diferença de AMN e AN, deve-se ao facto das primeiras apresentarem estabilidade físico-química espetacular, enquanto as AN, por vezes nas espécies iónicas de menor quantidade apresentam desvios padrões significativos em torno da média.

Águas Minerindustriais (AM) são as águas de circulação subterrânea que permitem a extração económica de substâncias nelas contidas (DL, 2015).

As águas subterrâneas classificadas como Recursos Geotérmicos (RG), segundo a lei portuguesa (DL, 2015) enquadram-se na definição de fluidos e as formações geológicas do subsolo, cuja temperatura é suscetível de aproveitamento económico. Enfatiza-se desde já, que em Portugal ocorrem muitas AMN que devido à sua temperatura natural, à boca da captação, são também classificadas, ou têm potencial de o ser, como RG.

Assim, entende-se como Águas Subterrâneas comuns (ASC), todas as águas que se encontram abaixo da superfície do solo na zona de saturação e em contacto direto com o solo ou com o subsolo, que não sejam classificadas como AMN, AN, AM, e RG.

### **2.5.2 Elementos físicos-químicos de águas subterrâneas**

A água é uma substância química de fórmula ( $H_2O$ ), em que uma molécula tem dois átomos de hidrogénio ligados a um átomo de oxigénio.

Os principais sais de origem inorgânica das águas subterrâneas são os seguintes (Plácido, 2007):

- sódio, potássio, cálcio, e magnésio, dentro dos catiões, ou seja, dos iões com carga elétrica positiva, pois têm a capacidade de perder eletrões;
- hidrogenocarbonato, carbonato, sulfato, cloreto e fluoreto, dentro dos aniões, ou seja, dos iões com carga elétrica negativa, pois têm a capacidade de captar eletrões.

Aspetos detalhados sobre os vários iões das águas subterrâneas podem observar-se em vários autores como Carvalho (1961), Custódio e Llamas (2001) e Plácido (2007).

Os principais parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas e alguns aspetos associados, como algumas classificações, apresentam-se de seguida.

i) Temperatura:

A temperatura é um parâmetro físico que possibilita conhecer a movimentação da água subterrânea, pois está relacionada com a profundidade do meio onde se encontra e com os valores do gradiente geotérmico local. A temperatura é um parâmetro que depende do gradiente geotérmico, estabelecendo patamares de temperatura, permitindo desta maneira obter a profundidade da circulação das águas subterrâneas.

A água pode ser classificada de acordo com a temperatura de emergência, de acordo com o apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Classificação da água de acordo com a temperatura de emergência (Carvalho et al., 1961).

Classificação	Temperatura de emergência - T (°C)
Hipotermiais	<25
Mesotermiais	25 < T ≤ 35
Termais	35 < T ≤ 40
Hipertermais	T > 40

ii) Condutividade elétrica:

A condutividade elétrica indica a facilidade que a água é capaz de conduzir corrente elétrica, sendo inversamente proporcional à resistividade. Quanto mais elevada for a condutividade elétrica de uma água, maior a quantidade de sais dissolvidos na mesma.

iii) PH:

O pH de uma solução indica a concentração efetiva dos iões de hidrogénio H<sup>+</sup> (Plácido, 2007), indicando a acidez ou basicidade de uma solução de água. O pH corresponde a uma escala numérica adimensional.

De acordo com os valores de pH é usual a água quanto a este parâmetro se classificar de acordo com o seguinte:

pH = 7 → Água neutra

pH < 7 → Água ácida

pH > 7 → Água básica

Uma solução ácida tem uma concentração alta de iões de hidrogénio, enquanto as soluções básicas têm uma concentração baixa de iões de hidrogénio.

iv) Eh:

O Eh ou potencial redox de um sistema mede o estado de uma determinada solução relativamente à capacidade de oxidar ou reduzir, sendo de referir que se o Eh for positivo ocorre a oxidação, se for negativo ocorre a redução (Plácido, 2007).

v) Propriedades organoléticas:

As propriedades organoléticas são as características da água que são perceptíveis pelos sentidos humanos, que são a cor, o odor e o sabor.

A cor depende das substâncias dissolvidas na água. A água pura é incolor à luz visível, ainda que o composto químico da água seja de uma coloração azulada.

O odor e o sabor dependem das substâncias dissolvidas na água. A água comum e potável à temperatura ambiente é insípida e inodora.

vi) Alcalinidade:

A alcalinidade representa a capacidade que a água tem para neutralizar ácidos fortes. Uma solução de água de baixa alcalinidade tem o pH diminuído por um ácido fraco, enquanto em uma solução de água de alta alcalinidade não tem alteração significativa no pH, pois os seus iões livres neutralizam o ácido fraco.

A alcalinidade depende principalmente dos carbonatos e dos bicarbonatos, e ainda dos iões hidróxidos, silicatos, boratos, fosfatos e amônia.

vii) Dureza total:

A dureza total da água é uma propriedade que depende da concentração de iões dos minerais dissolvidos na água. A dureza da água é devida à presença de sais de cálcio e magnésio, sendo os principais iões os de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ).

A dureza da água é medida com base na quantidade de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), em partes por milhão (ppm), ou em mg/L. Quanto maior a quantidade de carbonato de cálcio mais dura será considerada a água. A água pode ser classificada quanto à dureza de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7 - Classificação da água quanto à dureza total (Custódio e Llamas, 2001).

Classificação	Dureza (ppm CaCO <sub>3</sub> )
Branda	< 50
Ligeiramente dura	50-100
Dura	100-200
Muito dura	>200

viii) Resíduo seco:

O resíduo seco é o peso do material resultante da evaporação de 1 litro de água. O total de sais dissolvidos mede o peso de todas as substâncias dissolvidas na água, sejam ou não voláteis. O resíduo seco varia um pouco com a temperatura de secagem, e convém fixar a temperatura, por exemplo nos 105-110°C ou 180°C. A 105-110°C podem existir alguns bicarbonatos, um pouco de água de hidratação e algumas matérias orgânicas. A 180°C não aparecem bicarbonatos pois estes transformam-se em carbonatos, volatilizando-se a maioria da matéria orgânica e desprende-se toda a água de hidratação.

A classificação da água subterrânea segundo o resíduo seco, apresenta-se na Tabela 8.

Tabela 8 - Classificação da água mineral em relação ao resíduo seco (Custódio e Llamas, 2001).

Designação	Resíduo seco (mg/L)
Água doce	0 a 2000 (por vezes 3000)
Água salobra	2000 a 5000 (por vezes 10000)
Água salgada	5000 a 40000 (por vezes 100000)
Salmoura	>40000

ix) Mineralização total:

A mineralização total é a massa que é obtida quando se evapora a totalidade da água, ficando apenas um resíduo que corresponde a espécies químicas que estavam dissolvidas na água, quer em espécies ionizadas, quer não ionizadas.

A classificação da água mineral em relação à mineralização total, apresenta-se na Tabela 9.

Tabela 9 - Classificação da água em relação à mineralização total (Custódio e Llamas, 2001).

Designação	Mineralização total (mg/L)
Hipossalina	<200
Fracamente mineralizada	200 a 1000
Mesossalina	1000 a 2000
Hipersalina	>2000

Sobre a classificação das águas subterrâneas, além de se usarem as classificações anteriormente apresentadas, é muito usual se utilizar os diagramas hidroquímicos, que representam de uma forma gráfica a composição iônica principal da sua composição, sendo os mais populares o diagrama de Piper e o diagrama de Stiff.

Estes diagramas ajudam a visualizar as relações entre os diferentes íons presentes na água, permitindo a identificação de características químicas, a classificação das águas, a interpretação de processos hidrogeológicos, tais como a mistura de águas ou a interação com as rochas, e ainda a identificação de fontes de contaminação.

O diagrama de Piper é um procedimento gráfico proposto por Arthur M. Piper (Piper, 1944), que apresenta dados de química da água para ajudar a compreender as fontes dos sais dos constituintes dissolvidos na água. Este diagrama é fundamentado partindo do princípio de que a soma algébrica das cargas elétricas de cátions e aniões é zero. O diagrama de Piper é uma representação gráfica da química de uma amostra de água, e é utilizado para comparar a composição iônica de amostras de água, e ainda classificar grupos de águas em relação aos principais íons. Os cátions e os aniões, são representados em dois triângulos separados, e um losango central (Fig.2.11).

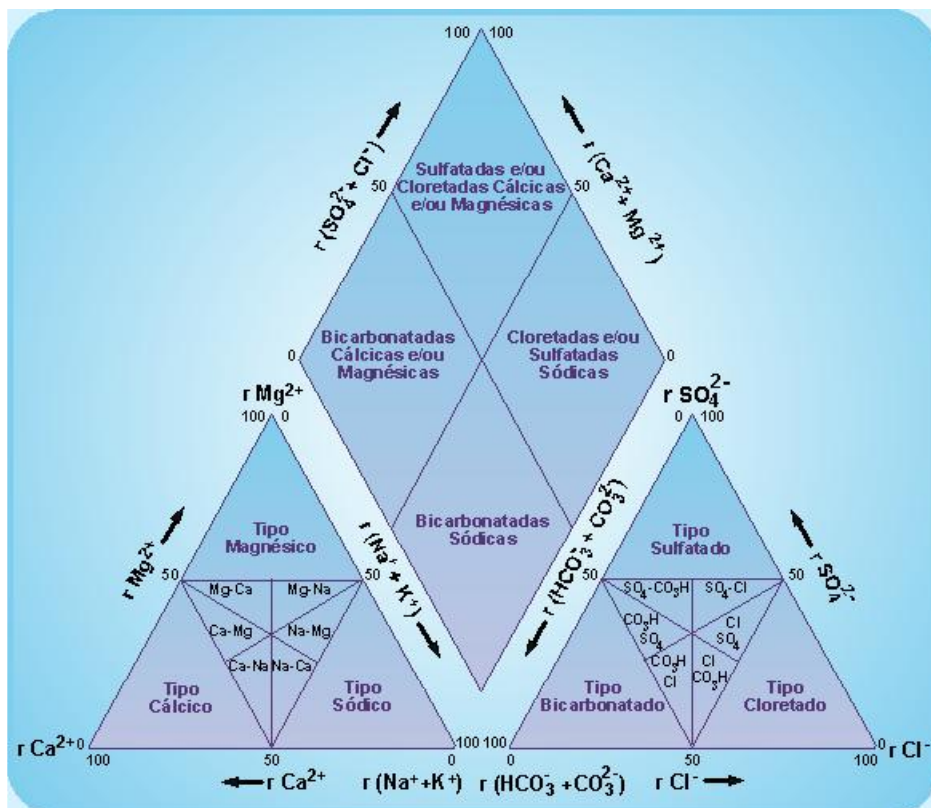


Figura 2.11 - Exemplo de um diagrama de Piper para águas subterrâneas com as concentrações dos íons em meq/L (INETI, 2005, in Plácido, 2007).

O diagrama de Stiff (Fig.2.12) é uma representação gráfica de análises químicas, criado por Stiff (1951). Este tipo de diagrama é utilizado para representar a principal composição de iões de uma amostra de água. A partir de 4 eixos horizontais paralelos que se estendem em ambos os lados de um eixo vertical que criam uma forma de um polígono. Os catiões são representados no lado esquerdo do eixo zero, e os aniões do lado direito. Os diagramas de Stiff são utilizados para comparar visualmente águas de diferentes origens; eles permitem visualizar águas ionicamente relacionadas podendo facilitar a determinação do caminho de fluxo, e ainda evidenciar como a composição iónica da água muda com o espaço e o tempo.

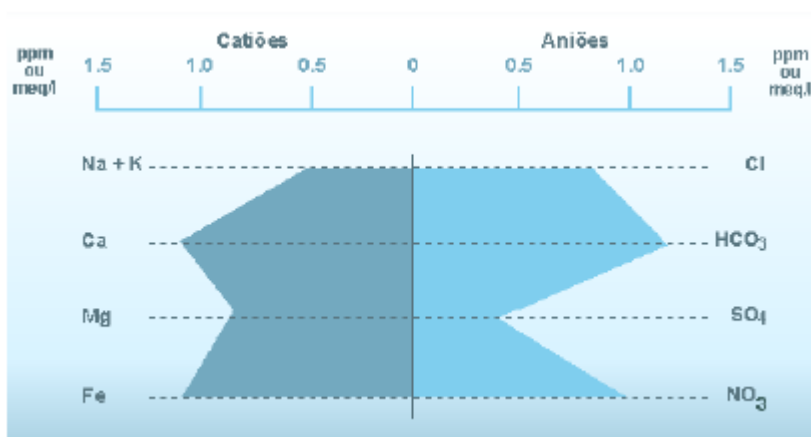


Figura 2.12 - Exemplo de um diagrama de Stiff com a representação dos principais iões da água subterrânea (INETI, 2005, *in* Plácido, 2007).

## 2.6 Contexto legal das águas subterrâneas

A legislação de Portugal sobre a água subterrânea é regida por um conjunto de decretos-lei, regulamentações e normas.

Os Decretos-lei têm o papel de proteger as águas subterrâneas e garantem que os recursos hídricos sejam utilizados de forma sustentável e que a sua qualidade seja monitorizada e protegida.

Os principais decretos-lei que abordam a gestão e proteção das águas subterrâneas são os seguintes:

A Lei n.º 54, 2015 (DL, 2015) que veio revogar o Decreto-lei n.º 90/90, de 16 de março (DL, 1990e), que disciplina o regime geral de revelação e aproveitamento dos recursos geológicos, onde as águas subterrâneas especiais, como as AMN, AN, AM e RG, se enquadram.

Decreto-lei n.º 84/90, de 16 de março (DL, 1990a): Aprova o regulamento de exploração das águas de nascente.

Decreto-lei n.º 85/90, de 16 de março (DL,1990b): Aprova o regulamento de exploração das águas mineroindustriais.

Decreto-lei n.º 86/90, de 16 de março (DL,1990c): Aprova o regulamento das águas minerais naturais.

Decreto-lei n.º 87/90, de 16 de março (DL,1990d): Aprova o regulamento dos recursos geotérmicos.

Decreto-lei n.º 90/90, de 16 de março (DL 1990e): Disciplina o regime geral de revelação e aproveitamento dos recursos geológicos.

Decreto-lei n.º 235/1997, de 3 de setembro (DL,1997): Transpõe para o direito interno a Diretiva n.º 91/676/CEE, do Conselho, de 12 de dezembro de 1991, relativa à proteção das águas contra a poluição causada por nitratos de origem agrícola.

Decreto-lei n.º 236/98, de 1 de agosto (DL,1998): Estabelece normas, critérios e objetivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos. Revoga o Decreto-Lei n.º 74/90, de 7 de março.

Decreto-lei n.º 382/99, de 22 de setembro (DL,1999): Estabelece perímetros de proteção para captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público.

Decreto-lei n.º 58/2005, de 29 de dezembro (DL,2005): Aprova a Lei da Água, transpondo para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro, e estabelecendo as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas.

Decreto-lei n.º 77/2006, de 30 de março (DL,2006): Complementa a transposição da Diretiva n.º 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro, que estabelece um quadro de ação comunitária no domínio da política da água, em desenvolvimento do regime fixado na Lei n.º 58/2005, de 29 de dezembro.

Decreto-lei n.º 226-A/2007, de 31 de maio (DL,2007a): Estabelece o regime da utilização dos recursos hídricos.

Decreto-lei n.º 235/1997, de 3 de setembro (DL 2007b): Transpõe para o direito interno a Diretiva n.º 91/676/CEE, do Conselho, de 12 de Dezembro de 1991, relativa à proteção das águas contra a poluição causada por nitratos de origem agrícola.

Decreto Lei nº 306/07 de 27 de Agosto de 2007 (DL 2007c).

Decreto-lei n.º 208/2008, de 28 de outubro (DL,2008): Estabelece o regime de proteção das águas subterrâneas contra a poluição e deterioração, transpondo para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2006/118/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 12 de dezembro, relativa à proteção da água subterrânea contra a poluição e deterioração.

Portaria n.º 259/2012, de 28 de agosto (DL,2012): Estabelece o programa de ação para as zonas vulneráveis de Portugal continental.

Decreto-lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro (DL,2017): Altera o regime da qualidade da água para consumo humano, transpondo as Diretivas 2013/51/EURATOM e 2015/1787.

A sistematização dos tipos de águas subterrâneas segundo o contexto legal pode ser esquematizada de acordo com a Fig.2.13.

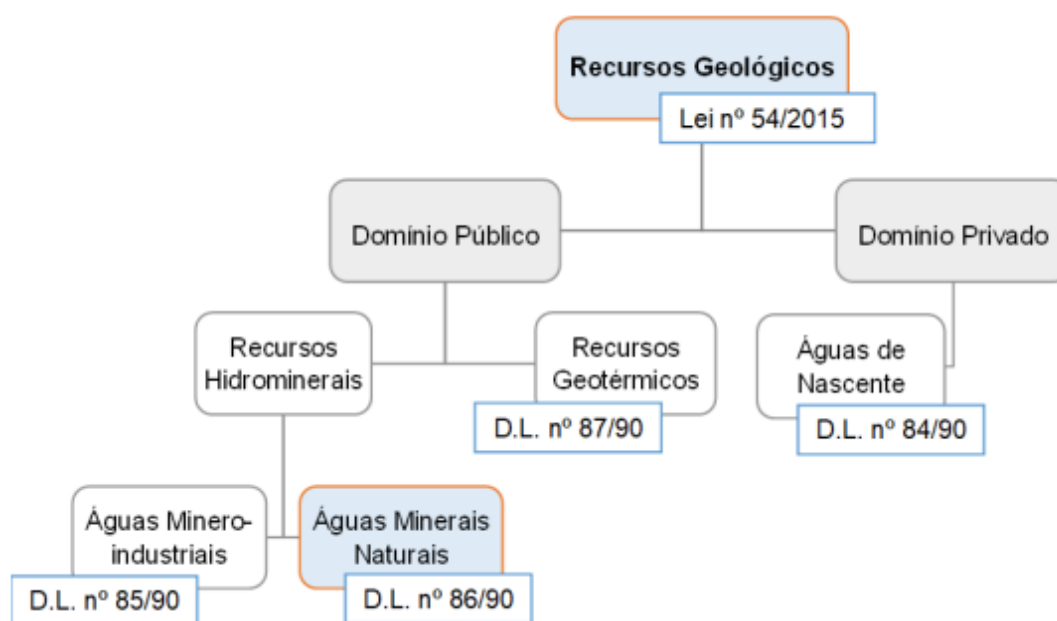


Figura 2.13 - Organograma do enquadramento legislativo português dos recursos hídricos subterrâneos especiais (a partir de Torgal, 2024).

## 2.7 Aplicações de Águas Subterrâneas Especiais

As águas subterrâneas especiais em Portugal, estão licenciadas como Águas Minerais Naturais (AMN) ou como Águas de Nascente (AN). As aplicações daquelas águas globalmente são em dois principais domínios: para termalismo, e para a indústria de engarrafamento como águas de mesa. Entretanto há a singularidade de algumas AMN, aquelas que têm circulação mais profunda, por vezes serem naturalmente quentes, e essas além de AMN por vezes têm também a classificação como Recursos Geotérmico.

De acordo com o cenário legal de 2024 (DGEG,2024) apresentam-se as AMN de Portugal Continental na Figura 2.14, sendo de salientar que esta figura mostra que há águas classificadas como tal, em diferentes aplicações: i) engarrafamento apenas, como o caso das Águas de Bem Saúde (5) ou a Água de Caldas de Penacova (22); ii) engarrafamento e termalismo, como é o caso da Água do Luso (7); iii) em termalismo apenas, como o caso das Termas das Águas de Penamacor (67); e iv) em termalismo e geotermia, como o caso de Termas de São Pedro do Sul (33).

As AMN usadas para engarrafamento e termalismo, são mostradas detalhadamente na Figura 2.15 e Figura 2.16 respetivamente. As AN são apresentadas detalhadamente na Figura 2.17, sendo de salientar que estas são usadas apenas para engarrafamento.

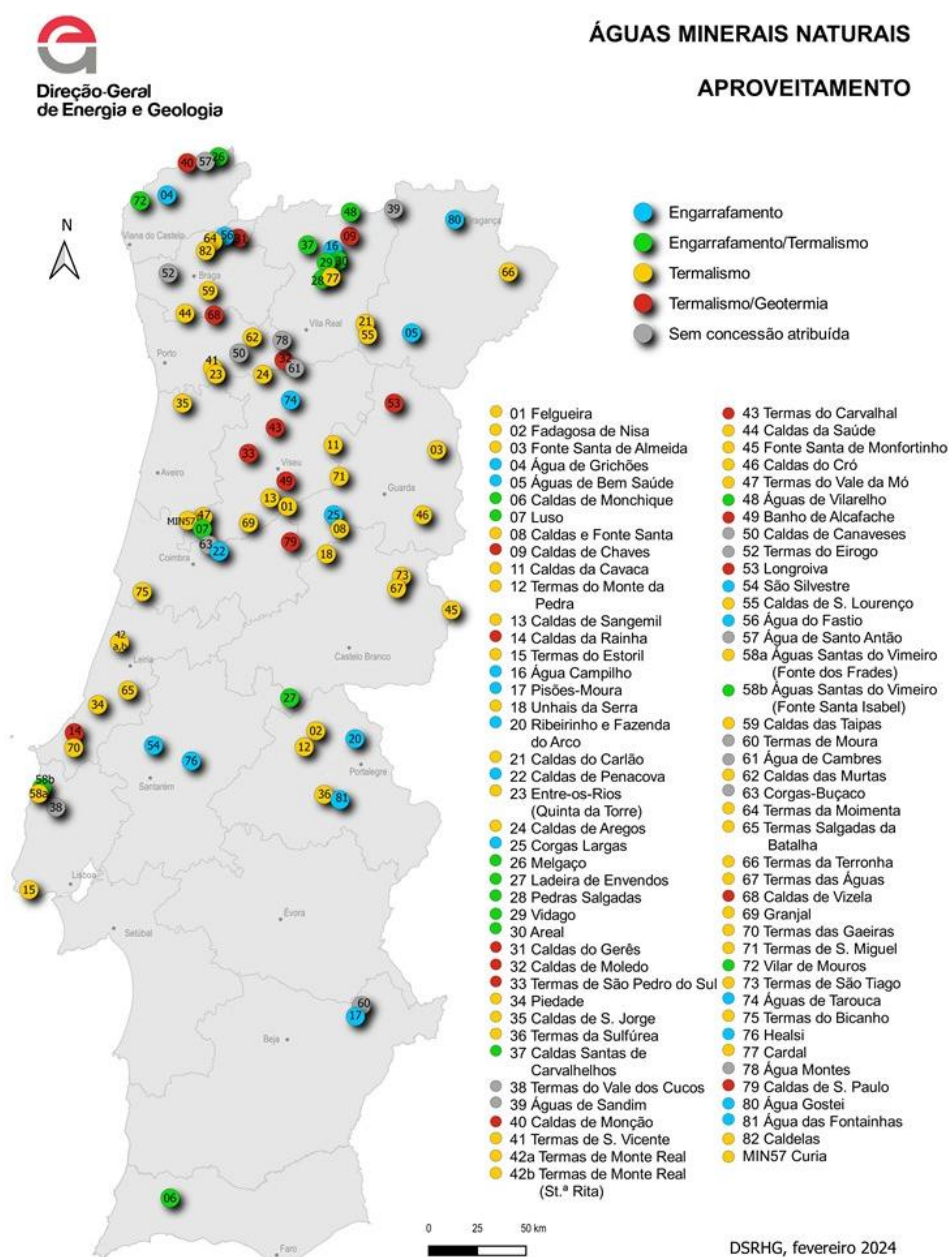


Figura 2.14 - Localização das águas minerais naturais e o seu tipo de aproveitamento em Portugal Continental (DGEG, 2024a).

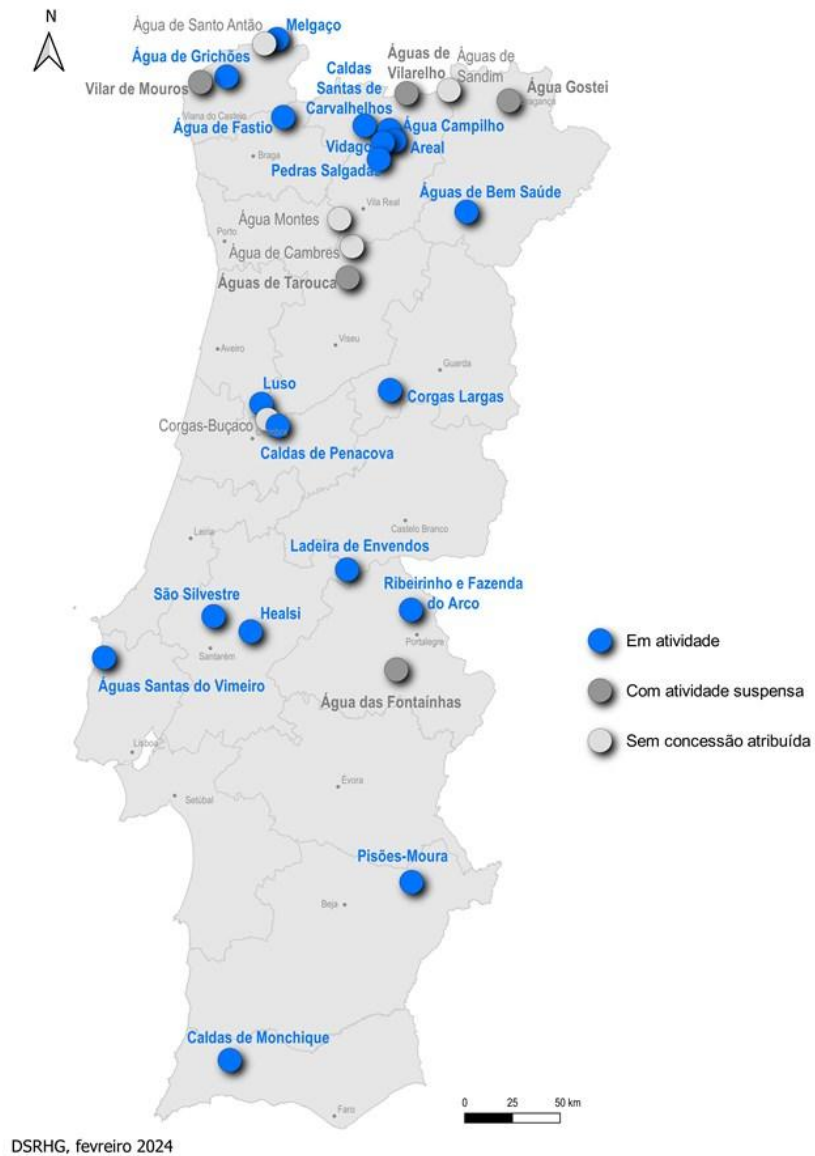


Figura 2.15 - Localização das águas minerais naturais com o tipo de aproveitamento para engarrafamento em Portugal Continental (DGEG, 2024b).

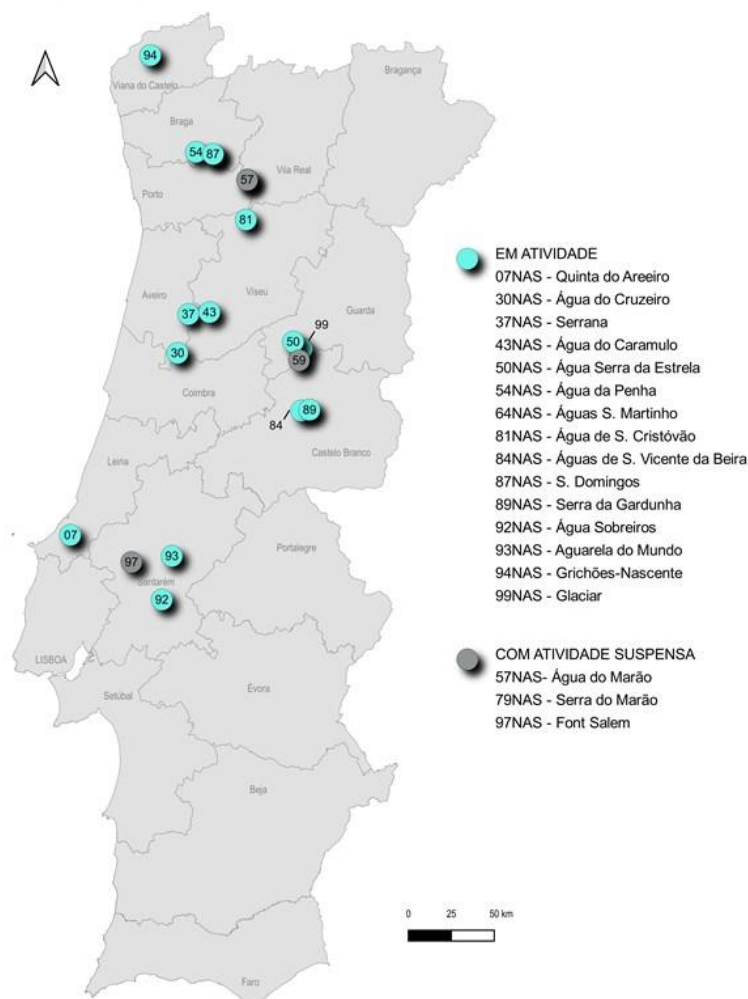
## 2.8 Elementos sobre Proteção de águas subterrâneas

A proteção das águas subterrâneas é um tema crucial para a garantia da qualidade e sustentabilidade dos recursos hídricos, não só em áreas urbanas e rurais onde a dependência de fontes subterrâneas é significativa, como mesmo em zonas de montanha, onde a atividade de animais selvagens pode comprometer a qualidade da água subterrânea. A vulnerabilidade dos terrenos, associada a fatores como o uso do solo e a permeabilidade do solo, desempenha um papel determinante na proteção das captações

de água subterrânea. O estabelecimento de perímetros de proteção adequados ao redor das captações é fundamental para minimizar o risco de contaminação, uma vez que esses limites contribuem para a preservação da qualidade da água, protegendo-a de poluentes provenientes de atividades humanas e de outras origens.



Figura 2.16 - Localização das águas minerais naturais com o tipo de aproveitamento para termalismo em Portugal Continental (DGE, 2024c).



DSRHG, novembro 2023

Figura 2.17 - Localização das águas de nascente em Portugal Continental, que são usadas apenas em engarrafamento (DGEG, 2024d).

Em Portugal, o perímetro de proteção (PP) de uma captação corresponde à área definida na vizinhança da captação, em que se estabelecem restrições de utilidade pública ao uso e ocupação do solo, englobando três zonas: Zona de Proteção Imediata, Zona de Proteção Intermédia e Zona de Proteção Alargada (Mendes, 2006).

O PP, nomeadamente em situação de águas subterrâneas especiais, como o caso de águas minerais naturais, é previsto no Dec. Lei 86/90 (DL, 1990c) e na Lei nº 54/2015 (DL, 2015). Ferreira Gomes (2021) ao estabelecer o PP para a nova água mineral natural das Termas de São Tiago (Penamacor), para as três zonas de proteção, teve em consideração os seguintes aspetos globais: i) zona Imediata, como a área de proteção mais vulnerável, e que se destina a proteger a zona de descarga da água mineral, ou seja, no essencial a água na captação; ii) zona Intermédia, como a área necessária para proteger o aquífero

mineral ou mesmo outros aquíferos não minerais, eventualmente interferentes com o circuito de água mineral; iii) zona Alargada, como a área que pretende proteger no essencial as zonas de recarga e em particular as estruturas (fraturas) principais que servem de significativa recarga ao circuito hidromineral.

O estabelecimento do PP para captações de água subterrânea destinadas ao abastecimento público, a partir de águas comuns, considerando exatamente aquelas três zonas de proteção, é previsto no Dec.-Lei (DL, 1999). Segundo aquele Decreto-Lei, admitindo que a captação em estudo seja o único elemento drenante do aquífero onde convergem todas as linhas de fluxo e que não existem direções privilegiadas de fluxo, propõe para o seu estabelecimento o “Método do Raio Fixo”, cujas distâncias ao centro da captação podem ser obtidas a partir de:

$$r = \sqrt{\frac{Q \times t_n}{(3.1416 \times n_e \times H)}} \quad (\text{Eq. 2.19})$$

sendo:

- r, raio do perímetro de proteção;
- Q, caudal de exploração;
- $t_n$ , tempo necessário para o poluente atingir a captação;
- $n_e$ , porosidade eficaz, expressa de acordo com o quadro anexo do Decreto-Lei;
- H, espessura saturada na captação.

Aquele Dec.-Lei (DL, 1999) sistematiza ainda as formações aquíferas em 6 tipos, de terrenos de modo a se otimizarem as três zonas de proteção referidas acima. Por exemplo, para os terrenos como aqueles onde se desenvolve o presente estudo, formações ígneas e metamórficas fissuradas (Tipo 5), o PP, será de acordo com o seguinte:

- Zona de Proteção Imediata:  $r = 60$  m ( $r$  é o raio da zona de proteção);
- Zona de Proteção Intermédia:  $r$  é o maior valor entre 140 m e  $r_{(t=50 \text{ dias})}$ ;
- Zona de Proteção Alargada:  $r$  é o maior valor entre 1200 m e  $r_{(t=3 \text{ 500 dias})}$ .

Entretanto, porque aquele método é direcionado para captações verticais, com caudais bombeados na própria captação e oriundos de todas as direções, situação que não se adequa, ao que é frequentemente na zona da Serra da Estrela e outras zonas de montanha, onde muitas captações são semi-horizontais, com ressurgências a resultarem geralmente localizadas junto a algumas estruturas geológicas (filões, falhas, diaclases), ou seja em meios muito heterogéneos, a somar ao facto que raramente os locais onde se

implantam as captações, são terrenos muito inclinados, não permitindo de modo algum a afluência de um modo simétrico de todas as direções para a captação, há necessidade de usar outros métodos mais complexos.

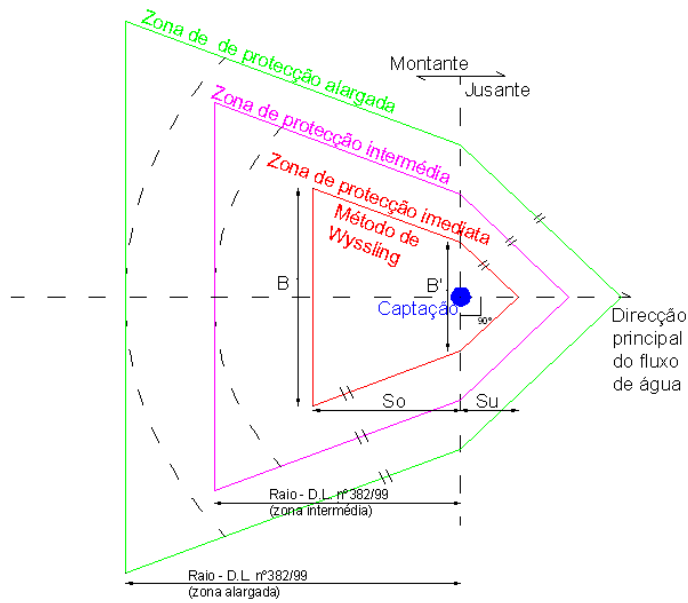
Por essas razões, Mendes (2006) com objetivo de estabelecer os PP para captações na zona da Covilhã, a montante da zona urbana, desenvolveu uma nova metodologia. A mesma foi apresentada com detalhe em Mendes et al. (2009), sendo em síntese de acordo com a aplicação de 4 fases, de acordo com o seguinte:

- 1) Utilizar o Método de Wyssling (Wyssling, 1979, *in* Mendes et al., 2009, Brito, 2011);
- 2) Aplicar a fórmula expressa no Decreto-Lei nº 382/99 de 22 de setembro (DL, 1999);
- 3) Analisar localmente os aspetos geológicos/estruturais e geomorfológicos da envolvente às captações;
- 4) Considerar a vulnerabilidade das formações geológicas envolventes às captações.

#### Zona de Proteção Imediata

A zona de proteção imediata é consequência da aplicação do método de Wyssling com alguns ajustes (Fig.2.18), ou seja, depois da aplicação dos formulários, impõem-se algumas particularidades. Para jusante da captação consideram-se os valores de  $S_u$  com 5 e 25m como distância mínima e máxima respetivamente a partir da boca da captação. O valor mínimo impõe-se por questões de operacionalidade. Em relação ao valor máximo esta limitação impõe-se porque em algumas situações a aplicação do método direto leva a valores muito grandes, considerados não adequados, por se entender que em zonas de grandes declives como o presente caso, seria um exagero. Para as distâncias a montante da captação ( $S_0$ ) consideram-se sempre os valores resultantes das equações deste método (Fig.2.18).

Após aquela configuração, resultante da primeira fase, analisam-se os aspetos da 2ª fase, como por exemplo as fronteiras (falhas e limites de bacias), as ocorrências de estruturas permeáveis como filões de rochas extremamente fissuradas e altamente permeáveis e ainda a vulnerabilidade geral das várias formações envolvidas. Na delimitação desta zona de proteção as áreas poderão ser encurtadas ou alargadas consoante a situação; por exemplo, se se verificar a ocorrência de uma falha, com preenchimento argiloso, nas proximidades da captação (Figura 2.19) e se esta se encontrar com uma atitude que afaste os fluxos subterrâneos da captação, a área à partida como zona de proteção imediata é truncada no sentido de diminuir, não havendo necessidade assim de restringir o uso do território a terceiros. Outros exemplos são apresentados nas Figuras 2.20 e 2.21.



a)

**Método de Wyssling:**

- Distância a montante da captação ( $S_0$ ) (na direção do fluxo):

$$S_0 = \frac{+1 + \sqrt{1 * (1 + 8 * X_0)}}{2} \quad (\text{Eq. 2.19})$$

- Distância a jusante da captação ( $S_u$ ) (na direção do fluxo):

$$S_u = \frac{-1 + \sqrt{1 * (1 + 8 * X_0)}}{2} \quad (\text{Eq. 2.20})$$

onde:

$$X_0 = \frac{Q}{2\pi k b i_{gh}} \quad (\text{Eq. 2.21}), \quad I = v_e / t \quad (\text{Eq. 2.22}), \quad v_e = \frac{k i_{gh}}{n} \quad (\text{Eq. 2.23}), \quad B = \frac{Q}{k b i_{gh}} \quad (\text{Eq. 2.24}), \quad B' = \frac{B}{2} \quad (\text{Eq. 2.25}).$$

sendo:

- $Q$ , é o caudal de exploração;
- $k$ , a condutividade hidráulica;
- $b$ , a espessura saturada do aquífero;
- $t_n$ , o tempo necessário para o poluente atingir a captação;
- $i_{gh}$ , o gradiente hidráulico = declive da superfície freática;
- $n_e$ , a porosidade efetiva.

b)

Figura 2.18 – Elementos para estabelecer o perímetro de proteção de uma captação de água subterrânea em zonas de montanha, de acordo com o método de Mendes (2006) - a), e discriminação dos elementos envolvidos do método de Wyssling - b) (in Brito, 2011).

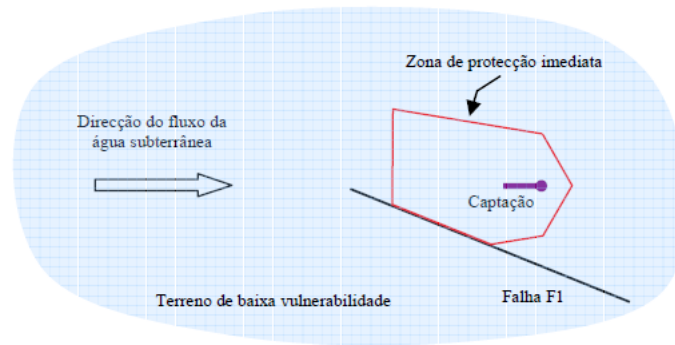


Figura 2.19 - Esboço exemplificativo da aplicação da 2ª fase sobre a metodologia proposta para a delimitação da Zona de Proteção Imediata, com encurtamento da área inicial, devido à ocorrência uma estrutura geológica (falha F1) num terreno de baixa vulnerabilidade à poluição, em captações semi - horizontais em zona de montanha (Mendes, 2006).

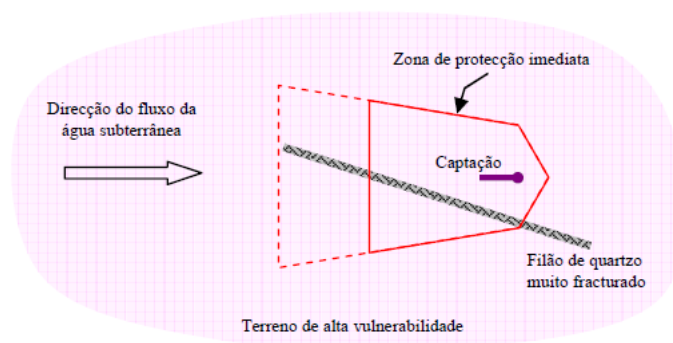


Figura 2.20 - Esboço exemplificativo da aplicação da 2ª fase sobre a metodologia de Mendes (2006) para a delimitação da Zona de Proteção Imediata, com o alargamento da área inicial, devido à ocorrência de uma estrutura geológica muito permeável (filão de quartzo) num terreno de alta vulnerabilidade à poluição, em captações semi - horizontais em zona de montanha.

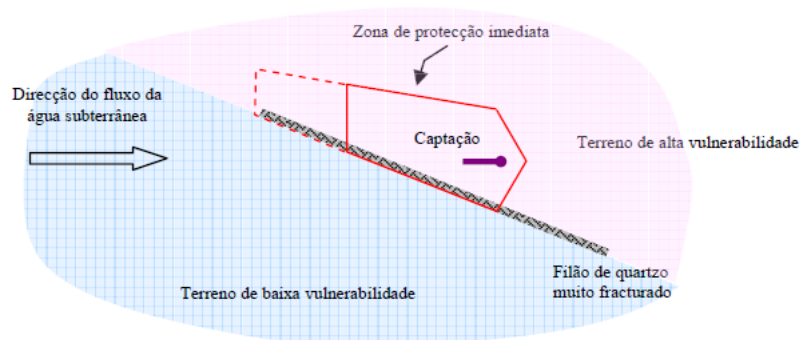


Figura 2.21 - Esboço exemplificativo da aplicação da 2ª fase sobre a metodologia de Mendes (2006) para a delimitação da Zona de Proteção Imediata, com alteração da área inicial devido à ocorrência uma estrutura geológica (filão de quartzo) em terrenos com diferentes vulnerabilidades, em captações semi - horizontais em zona de montanha.

### Zona de Proteção Intermédia

Para a delimitação da zona de proteção intermédia é também aplicado na 1ª fase o método de Wyssling com os valores de ajuste a jusante, de 10 e 35 m para as distâncias mínimas e máximas respetivamente, a partir da boca da captação (Fig.2.22). Após esta retificação traçam-se, a partir deste ponto, linhas paralelas em relação à zona de proteção imediata

anteriormente definida até se intersectar para montante da captação a tangente ao círculo resultante da aplicação do Dec.-Lei 382/99 na situação da zona intermédia. Também nesta zona de proteção se deve avançar com a 2ª fase se necessário, como se apresentou para a zona de proteção imediata, e como ainda se exemplifica na Figura 2.23, sendo de realçar que cada caso é um caso, mas que, com grande probabilidade, investigadores diferentes tenderão para soluções similares.

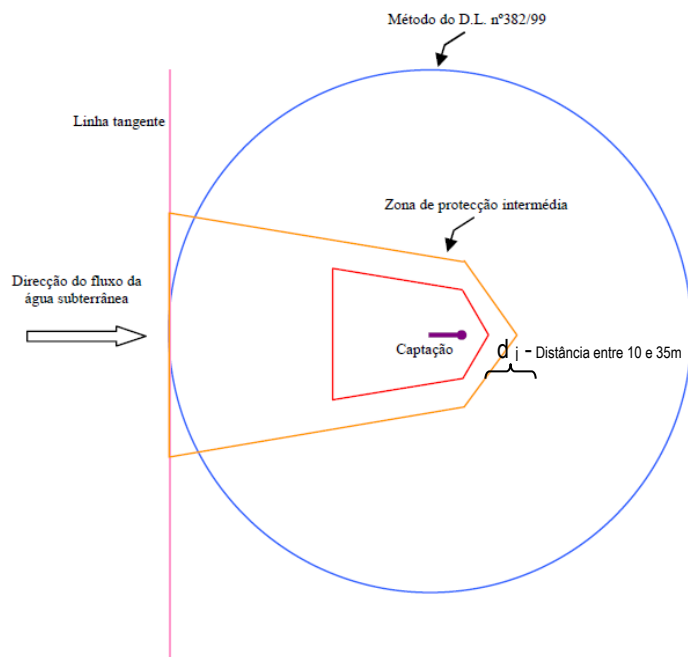


Figura 2.22 - Esboço exemplificativo da aplicação da 1ª fase da metodologia de Mendes (2006) para a delimitação da Zona de Proteção Intermédia, em captações semi - horizontais em zona de montanha.

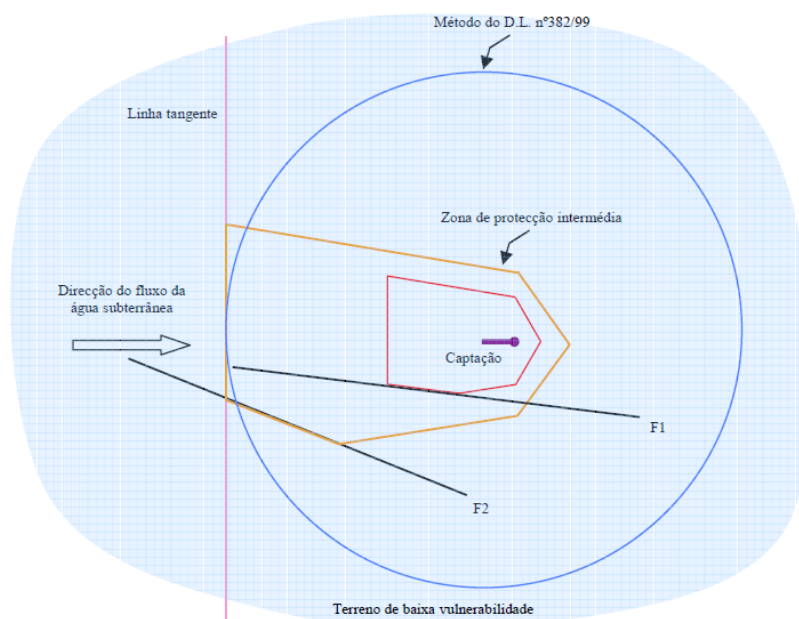


Figura 2.23 - Esboço exemplificativo da aplicação da 2ª fase da metodologia de Mendes (2006) para a delimitação da Zona de proteção intermédia onde são evidenciadas duas estruturas geológicas (falhas F1 e F2) num terreno de baixa vulnerabilidade à poluição em captações semi - horizontais em zona de montanha.

### Zona de Proteção Alargada

A zona de proteção alargada também aqui numa 1ª fase é consequência da aplicação do método de Wyssling com os valores limites de ajustes a jusante de 15 e 40m, traçando-se depois, a partir deste ponto, linhas paralelas em relação à zona proteção intermédia anteriormente definida até se intersectar para montante da captação a tangente ao círculo resultante da aplicação do Dec.-Lei 382/99 agora na situação da zona alargada (Figura 2.24). À semelhança das zonas de proteção imediata e intermédia, também nesta zona de proteção deverá ser prevista a 2ª fase, podendo ocorrer eventual alteração da delimitação da área, função das singularidades geológicas, bem como da situação frequente de fronteiras do tipo limites de bacias, se essas ocorrerem a distâncias menores que as anteriores (Fig.2.25). Este tipo de situação, do limite das bacias hidrográficas, também se pode aplicar no caso das zonas de proteção intermédia apesar de ser menos frequente do que na zona de proteção alargada. Salienta-se que os elementos apresentados sobre os aspetos de vulnerabilidade, mencionados para as outras zonas de proteção, associados às restantes particularidades, também aqui se verificam.

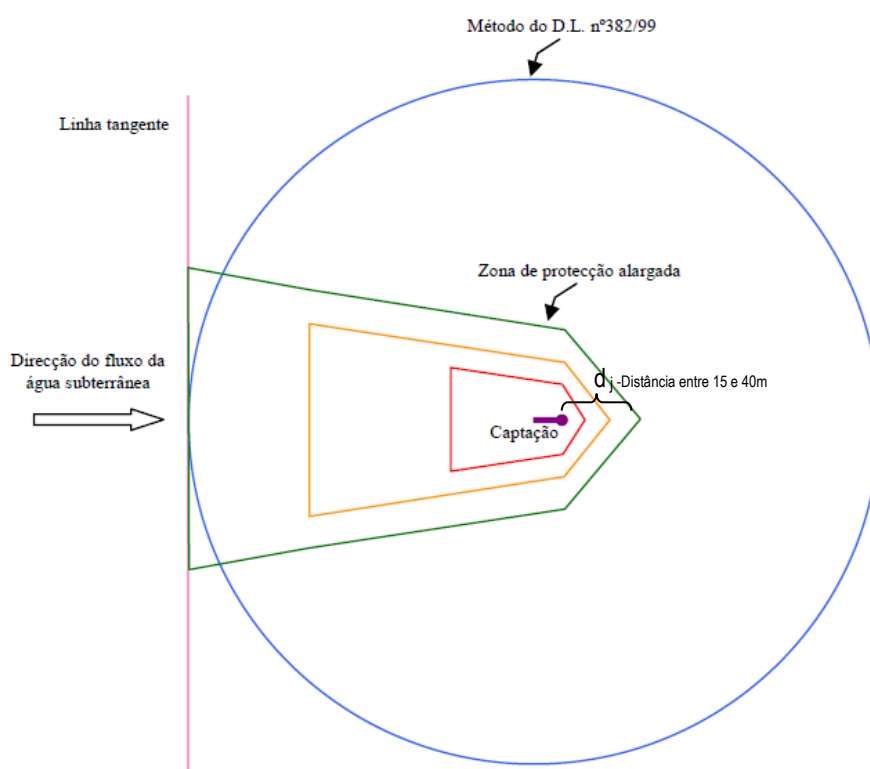


Figura 2.24 - Esboço exemplificativo da aplicação da 1ª fase da metodologia de Mendes (2006) para a delimitação da zona de proteção alargada em captações semi - horizontais em zona de montanha.



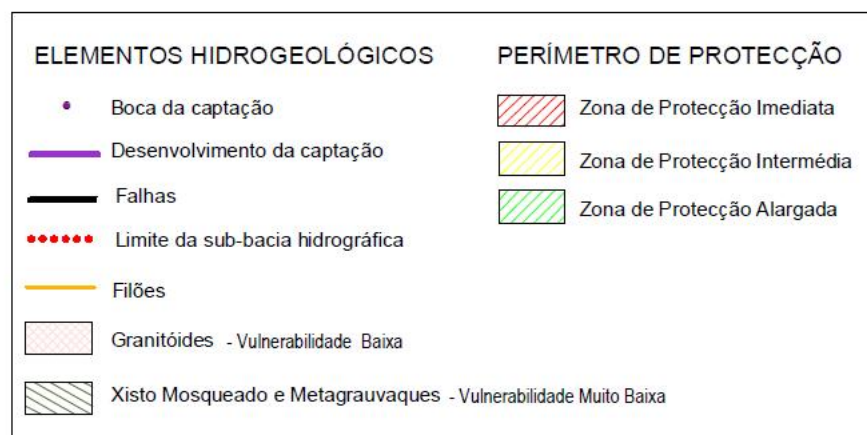
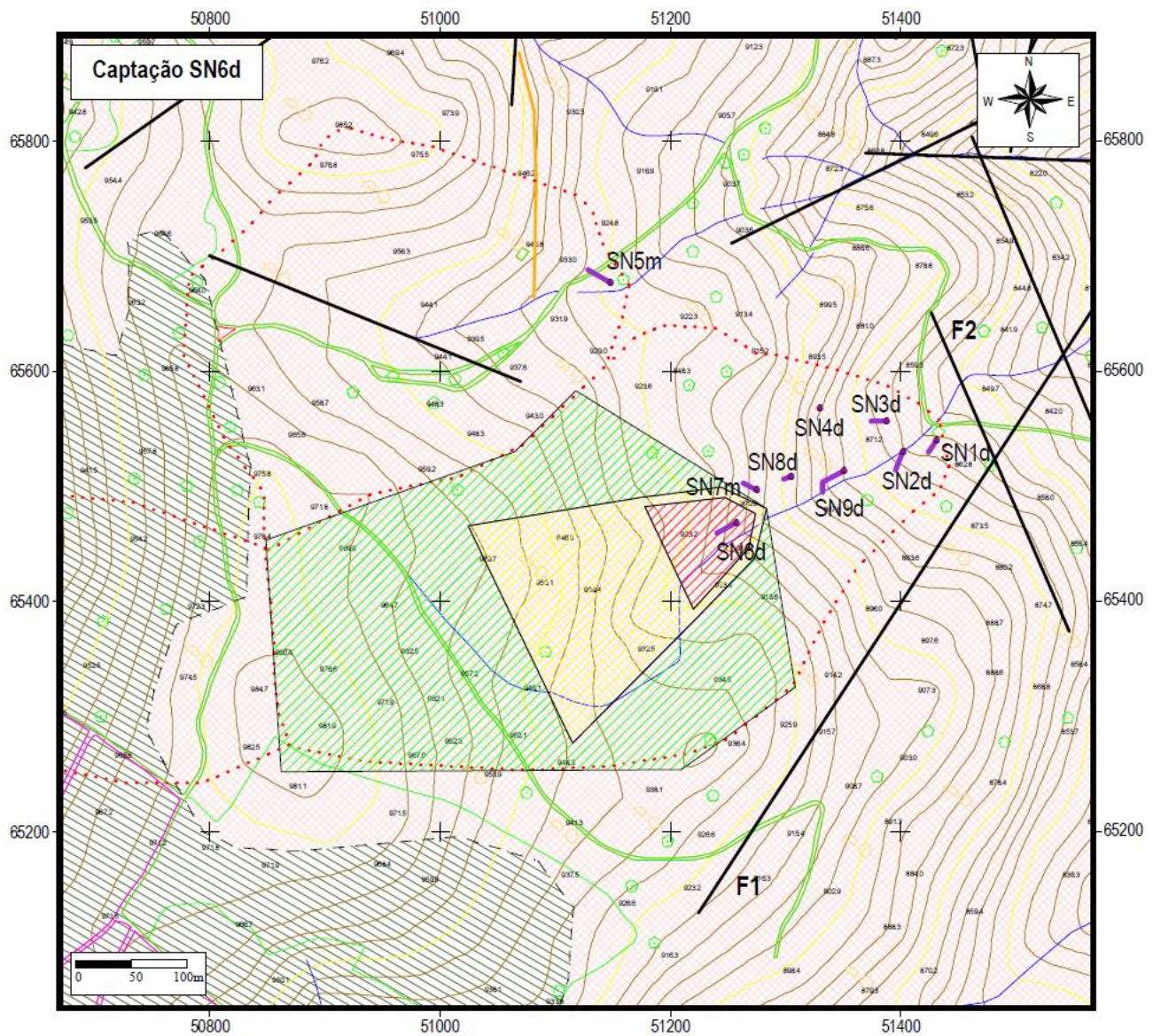


Figura 2.26 - Resultado do exercício de otimização do perímetro de protecção, considerando a ocorrência individual, da captação SN6d do sector do Souto Novo - Covilhã (Mendes, 2006).

Neste item é ainda importante apresentar as várias restrições à ocupação do território para as várias zonas de proteção de captações de água subterrânea, depois de aprovadas superiormente, como apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 - Restrições à ocupação do território nas várias zonas de proteção a captações de água subterrânea, de acordo com a legislação portuguesa (DL,1999; Lei,2015).

<b>Zona de Proteção Imediata (ZPIIm)</b>	
Decreto-Lei n.º 382/99 (DL,1999)	Lei n.º 54/2015 (DL,2015)
Na ZPIIm é interdita qualquer instalação ou atividade, com exceção das que têm por finalidade a conservação, manutenção e melhor exploração da captação. Nesta zona o terreno é vedado e tem que ser mantido limpo de quaisquer resíduos, produtos ou líquidos que possam provocar infiltração de substâncias indesejáveis para a qualidade da água de captação.	Na ZPIIm: Ponto 1: são proibidas: a) a realização de operações urbanísticas e de quaisquer intervenções naquela, ainda que isentas de controlo prévio; b) as sondagens e trabalhos subterrâneos; c) a realização de aterros, desaterros ou de outras operações que impliquem ou tenham como efeito modificações no terreno; d) a utilização de adubos orgânicos ou químicos, inseticidas, pesticidas ou quaisquer outros produtos químicos; e) a descarga de águas residuais e o abandono ou deposição de resíduos; f) a agropecuária, a suinicultura, a pastorícia intensiva e atividades similares; g) a execução de infraestruturas de drenagem, recolha e tratamento de águas residuais. Ponto 2: nesta zona ficam condicionados a prévia autorização das entidades administrativas competentes o corte de árvores e arbustos, a destruição de plantações e a demolição de construções de qualquer espécie. Ponto 3: as obras e os trabalhos a que se referem as alíneas a), b), c) e g) do Ponto 1, quando aproveitem a conservação e exploração do recurso, podem ser autorizados pelas entidades administrativas competentes.
<b>Zona de Proteção Intermédia (ZPIIn)</b>	
Decreto-Lei n.º 382/99 (DL,1999)	Lei n.º 54/2015 (DL,2015)
Ponto 1: Na ZPIIn <b>são interditas</b> as seguintes atividades e instalações: a) infraestruturas aeronáuticas; b) oficinas e estações de serviço de automóveis; c) depósitos de materiais radioativos, de hidrocarbonetos e de resíduos perigosos; d) postos de abastecimento e áreas de serviço de combustíveis; e) transporte de hidrocarbonetos, de materiais radioativos ou de outras substâncias perigosas; f) canalizações de produtos tóxicos; g) lixeiras e aterros sanitários. Ponto 2: Na ZPIIn <b>podem ainda ser interditas</b> ou condicionadas as seguintes atividades e instalações quando se demonstrarem susceptíveis de provocarem a poluição das águas subterrâneas: a) pastorícia; b) usos agrícolas e pecuários; c) aplicação de pesticidas móveis e persistentes na água ou que possam formar substâncias tóxicas, persistentes ou bioacumuláveis; d) edificações; e) estradas e caminhos de ferro; f) parques de campismo; g) espaços destinados a práticas desportivas; h) estações de tratamento de águas residuais; i) coletores de águas residuais; j) fossas de esgoto; l) unidades industriais. m) cemitérios; n) pedreiras e quaisquer escavações; o) explorações mineiras; p) lagos e quaisquer obras ou escavações destinadas à recolha e armazenamento de água ou quaisquer substâncias susceptíveis de se infiltrarem; q) depósitos de sucata.	Na ZPIIn podem ser previstas as atividades para a ZPIIm, mas estão sujeitas a autorização das entidades administrativas competentes que é concedida apenas quando fique comprovado que delas não resultam quaisquer danos para a conservação ou exploração do recurso.
<b>Zona de Proteção Alargada (ZPA)</b>	
Decreto-Lei n.º 382/99 (DL,1999)	Lei n.º 54/2015 (DL,2015)
Ponto 1: Na ZPA <b>são interditas</b> as seguintes atividades e instalações: a) transporte de hidrocarbonetos, de materiais radioativos e de outras substâncias perigosas; b) depósitos de materiais radioativos, de hidrocarbonetos e de resíduos perigosos; c) canalizações de produtos tóxicos; d) refinarias e indústrias químicas; e) lixeiras e aterros sanitários. Ponto 2: Na ZPA <b>podem ainda ser interditas</b> ou condicionadas as seguintes atividades e instalações quando se demonstrarem susceptíveis de provocarem a poluição das águas subterrâneas: a) utilização de pesticidas móveis e persistentes na água ou que possam formar substâncias tóxicas, persistentes ou bioacumuláveis; b) coletores de águas residuais; c) fossas de esgoto; d) lagos e quaisquer obras ou escavações destinadas à recolha e armazenamento de água ou quaisquer substâncias susceptíveis de se infiltrarem; e) estações de tratamento de águas residuais; f) cemitérios; g) pedreiras e explorações mineiras; h) infraestruturas aeronáuticas; i) oficinas e estações de serviço de automóveis; j) postos de abastecimento e áreas de serviço de combustíveis; l) depósitos de sucata.	Na ZPA, por despacho do membro do Governo responsável pela área da geologia, podem ser proibidas as atividades previstas nos Pontos 1 e 2 da ZPIIm, com fundamento nos riscos de interferência ou contaminação do recurso hidromineral.

## 2.9 A importância dos hidrogeossítios no Geoparque Estrela

Sendo a Nascente do Mondeguinho, um dos geossítios integrado no Estrela Geopark (Fig.2.27), entende-se apresentar os elementos disponíveis sobre o assunto, visto que o trabalho em desenvolvimento pode ser um contributo, no sentido de se disponibilizar mais conhecimento sobre o mesmo, e potenciar para o estabelecimento de outros geossítios da Serra da Estrela.



Figura 2.27 - Imagem do local em estudo, Nascente do Mondeguinho integrada no Estrela Geopark (Património Mundial da UNESCO) como um geossítio do tipo hidrogeológico (a partir de AGE, 2025).

Um geossítio é um local de interesse geológico significativo, com características geológicas de interesse para a sociedade. Os geossítios são locais considerados património geológico que englobam elementos de geodiversidade. São locais onde os minerais, as rochas, os fósseis, os solos, ou as geoformas possuem características próprias que permitem conhecer a história geológica do nosso planeta. Os geossítios para além de terem importância científica, têm também importância educativa e turística para a sociedade (Progeo, 2023). Os hidrogeossítios são tipos específicos de geossítios, com aspetos hidrológicos e hidrogeológicos, que são especificamente relacionados com a água e com características hídricas (tais como o fluxo de águas subterrâneas, a recarga de aquíferos e a erosão hídrica), e recursos hídricos (tais como nascentes, aquíferos e fontes termais).

De um modo geral os hidrogeossítios são muito importantes para a gestão e conservação dos recursos hídricos, por serem fundamentais para os estudos de qualidade da água, disponibilidade hídrica, e impactos ambientais.

Os Hidrogeossítios no Geoparque Estrela têm um papel fundamental para o meio ambiente e para a sociedade, devido à sua importância relacionada com (a partir de ChatGPT, 2024):

- i) A conservação ambiental, na proteção dos recursos hídricos, ao ajudarem na preservação das nascentes, captações especiais e aquíferos associados, que são fundamentais para a biodiversidade local e saúde pública.
- ii) A manutenção dos ecossistemas, ao proporcionarem habitats naturais essenciais para diversas espécies de flora e fauna.
- iii) A compreensão da interação entre processos geológicos e geomorfológicos relacionados com a água, nomeadamente a compreensão da interação da água com a geologia local e até regional.
- iv) A educação, ao promoverem estudos científicos em diversas áreas, tais como, geologia, hidrologia, biologia e climatologia.
- v) O turismo, por serem considerados uma atração turística que oferece atividades como caminhadas e observação da natureza, contribuindo assim para a economia local. Contribuem também para o desenvolvimento socioeconómico ao criar empregos no setor do turismo e dos serviços relacionados.
- vi) A sustentabilidade dos recursos hídricos, que a gestão e conservação dos hidrogeossítios proporcionam.

O investigador que realizou um estudo sobre locais especiais com águas da Serra da Estrela, quer de carácter hidrogeológico (Nascentes, Minas, e outras captações com Águas Minerais Naturais e de Nascente) e hidrogeomorfológico (Lagoas), foi Gonçalves Belgas (2017) ainda em fase anterior ao reconhecimento mundial do Estrela Geopark Mundial da UNESCO, que acabou por se verificar a 10 de julho de 2020. Aquele trabalho que constituiu a dissertação de mestrado intitulada como “Contribuição para um Geoparque na Região da Serra da Estrela com recurso a SIG”, inclui 18 locais hidrogeológicos na zona da Serra da Estrela (Fig.2.28), com a composição físico-química detalhada, apresentada na Tabela 11, sendo de salientar que esse grupo inclui a Fonte do Mondeguinho (Ponto 14). A partir daqueles resultados físico-químicos foi possível sistematizar e classificar aquelas águas como se apresenta nas Figuras 2.29 a 2.31.

De todos os elementos disponíveis salienta-se que a Água da Fonte do Mondeguinho (Ponto 14), é uma Água Hipossalina, Sódica e bicarbonatada-cloretada, e muito semelhante à maioria dos pontos de água considerados, como é o caso de Ponto 6 - Glaciar (Fonte Paulo Martins), Ponto 5 - Água da Serra da Estrela, Ponto 7 - Corgas Largas (Vitalis Vida), que são águas que tiveram ou tem a classificação como um recurso hidromineral do tipo águas de Nascente, para engarrafamento.

Tabela 11 - Pontos de Água subterrânea propostos em Gonçalves Belgas (2017) serem integrados na rede de Hidrogeossítios do Aspiring Geoparque Estrela, e suas características físico-químicas associadas.

HIDROGEOSSÍTIO PROPOSTA	1 - Termas de Unhais da Serra - Furo ACP1 (IGM, 1994)	2 - Termas de Manteigas - Furo AC1 (IGM, 1998)	3 - Termas de S. Miguel - Fornos de Algodres - Furo F2 (LNEG, 2014, in F. Gomes, 2014)	4 - Caldas de S. Paulo - Furo F1, (IST, 2016)	5 - Água da Serra da Estrela (DGE, 1992)	6 - Glaciário - Fonte Paulo Martins (IHL, 1991; in Peixinho de Cristo, 1991)	7 - Corgas Largas/Vitalis - Vida/Fonte da Lua - Furo	8 - Pontão da Rapada (Almeida e Almeida, 1975).	9 - Água da Regada (Almeida e Almeida, 1975)	10 - Banhos de Santo António (Almeida e Almeida, 1975)	11 - Banhos de Sto Amaro (Almeida e Almeida, 1975)	12 - Fonte da Pedra (Almeida e Almeida, 1975)	13 - Fonte do Vale de Rossim (Almeida e Almeida, 1975)	14 - Fonte do Mondeguinho (Almeida e Almeida, 1975)	15 - Fonte Velha-Folgosinho (Almeida e Almeida, 1975)	16 - Mina P1, Setor do Pião (Mendes, 2006)	17 - Mina NH10, Setor da Nave de Haver (Mendes, 2006)	18 - Mina RN12, Setor da Rosa Negra (Mendes, 2006)	
Parâmetros	Furo ACP1	Furo AC1	Furo F2	Furo F1-CSP	-	Nascente	Furo	Nascente	Nascente	Nascente do Estomago	Nascente da Fraga	Nascente da Fonte Milagrosa	Nascente/Fontanário	Nascente/Fontanário	Nascente/Fontanário	Nascente-Mina	Nascente-Mina	Nascente-Mina	
Temperatura na origem - °C	38,0	48,0	14,5	28,0	15,0	7,0	9,2	20,0	20,0	21,0	20,0	-	8,0	-	-	11,9	12,1	11,7	
pH	8,70	9,20	5,82	8,46	6,40	5,60	5,60	8,49	7,75	7,78	8,04	6,08	5,61	6,38	5,28	5,45	5,62	5,82	
Condutividade - µS cm <sup>-1</sup>	302	232,0	72,0	606,0	-	17,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34,0	28,5	34,0	
Sulfuração Total (em I <sub>2</sub> 0,01N) - mL/L	12,5	7,2	0,0	44,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Dureza Total (em p.p. 10 <sup>3</sup> de CaCO <sub>3</sub> - °F)	0,95	0,75	15,00	8,90	-	0,32	-	1,00	1,90	1,20	1,40	0,50	0,30	0,20	5,80	6,00	5,70	5,70	
CO <sub>2</sub> Total - mmol / L	-	-	-	-	-	-	-	-	9,00	5,20	3,40	16,50	36,40	6,20	73,30	-	-	-	
Silica (SiO <sub>2</sub> ) - mg/L	50,40	39,00	25,30	69,0	17,0	9,5	12,0	32,0	33,0	80,3	41,3	14,5	6,6	5,4	11,5	9,7	8,1	12,0	
Resíduo Seco (a 180°C) - mg/L	229,00	159,60	69,00	442,0	33,0	17,0	21,0	222,4	386,0	374,0	424,0	29,6	31,2	17,2	260,0	18,0	19,3	23,0	
Mineralização Total - mg /L	268,80	-	80,00	543,0	39,0	20,9	29,0	-	-	-	-	-	-	-	-	19,0	19,7	36,0	
Catiões (mg/L)	Sódio (Na <sup>+</sup> )	69,3	43	9,60	146,0	4,4	1,7	5,1	87,6	140,5	122,4	153,9	4,1	5,8	6,2	56,4	2,4	2,7	3,6
	Cálcio (Ca <sup>2+</sup> )	3,5	2,9	3,80	3,30	2,70	1,20	0,70	1,20	6,40	1,60	1,60	2,00	1,20	0,80	11,60	1,10	1,00	1,70
	Potássio (K <sup>+</sup> )	2	1	1,20	4,90	-	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,36	0,30	0,67
	Magnésio (Mg <sup>2+</sup> )	0,14	<0,03	1,10	0,15	-	0,12	0,65	0,50	0,70	2,00	2,40	-	-	-	7,10	0,79	0,78	0,35
	Lítio (Li <sup>+</sup> )	0,25	0,14	0,028	1,500	-	0,002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Amónio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	<0,10	<0,10	<0,10	0,59	-	<0,006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ferro (Fe <sup>2+</sup> )	-	-	<0,0466	<0,01	-	0,13	-	0,08	0,08	0,08	0,40	0,04	0,04	0,04	0,08	<0,005	<0,005	<0,005
Aniões (mg/L)	Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	85,4	43,3	22,80	217,00	16,50	3,97	13,7	124,4	251,3	153,7	163,5	9,8	7,3	7,3	7,3	12,0	14,0	12,0
	Cloreto (Cl <sup>-</sup> )	25,2	6	7,40	46,00	3,20	1,24	2,4	17,0	46,2	63,2	83,1	4,3	4,3	3,5	58,9	1,8	1,8	3,8
	Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	6,7	12,5	0,98	13,00	-	1,68	-	9,4	12,7	5,2	35,0	-	3,5	4,1	10,9	<1,0	<1	<1,0
	Fluoreto (F <sup>-</sup> )	14,9	10,2	0,27	25,00	-	0,19	-	18,5	14,5	21,5	20,8	-	-	-	0,3	<0,004	<0,004	<0,004
	Carbonato (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	-	-	-	4,00	-	-	-	4,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0,12	<0,12	7,10	<0,3	-	<0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	98,0	1,2	1,2	3,0
	Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	-	<0,002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,07	<0,07	<0,07
Sulfureto (HS <sup>-</sup> )	-	-	0,00	7,20	-	-	-	1,5	1,7	3,2	4,3	-	-	-	-	-	-	-	
Elementos Secundários (mg/L)	Prata (Ag)	0,0002	0,0002	<0,00003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,002	<0,002	<0,002	
	Alumínio (Al)	n.d	n.d	0,0053	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,040	<0,040	<0,04	
	Arsénio (As)	0,032	0,014	0,0086	-	-	0,0070	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,003	<0,003	<0,003	
	Boro (B)	0,345	0,135	0,0050	-	-	0,7000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Bário (Ba)	0,148	0,004	0,0011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Berílio (Be)	0,0006	0,0002	0,00070	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Bismuto (Bi)	-	-	<0,00001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Brometo (Br)	0,298	0,055	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Cádmio (Cd)	0,0003	0,0003	0,00003	-	-	0,0003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Cobalto (Co)	<1.d	<1.d	<0,00005	-	-	0,0005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Crómio (Cr)	<1.d	<1.d	<0,00096	-	-	0,0008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Césio (Cs)	<1.d	<1.d	0,00083	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Cobre (Cu)	0,001	<1.d	<0,00029	-	-	0,0016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,2	<0,2	<0,2
	Mercurio (Hg)	-	-	<0,000020	-	-	<1.d.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,0002	<0,0002	<0,0002
	Iodeto (I)	0,002	0,002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Manganês (Mn)	0,017	0,003	0,00120	-	-	0,0009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Molibdénio (Mo)	0,004	0,01	0,00029	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Nióbio (Nb)	<1.d	<1.d	<0,00002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Níquel (Ni)	0,002	<1.d	<0,00068	-	-	0,0007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Chumbo (Pb)	0,014	0,026	<0,00004	-	-	0,0002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,005	<0,005	<0,005
	Rubídio (Rb)	n.d	n.d	0,00800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Antimónio (Sb)	0,002	0,003	<0,00003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Selénio (Se)	-	-	<0,00087	-	-	<1.d.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Estanho (Sn)	-	-	<0,00007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Estrôncio (Sr)	-	-	0,02600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Telúrio (Te)	-	-	<0,00003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Talio (Tl)	-	-	<0,00001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Úrânio (U)	-	-	0,00260	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Vanádio (V)	-	-	0,00050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tungsténio (W)	0,018	n.d	0,00006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ítrio (Y)	<1.d	0,0001	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Zinco (Zn)	0,031	0,007	0,00097	-	-	0,0170	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,01	<0,1	<0,1
Classificação	Sulfúrea Bicabomatada Sódica Fluoretada	Sulfúrea Bicabomatada Sódica Fluoretada	Hipossalina, Bicabomatada Sódica	Sulfúrea Bicabomatada Sódica Fluoretada	Hipossalina, com reação ácida, Silicatada	Hipossalina, com reação ácida, Silicatada	Hipossalina, com reação ácida, Silicatada	Sulfúrea Bicabomatada Sódica Fluoretada	Sulfúrea Bicabomatada Sódica Fluoretada	Sulfúrea Bicabomatada Sódica Fluoretada	Sulfúrea Bicabomatada Sódica Fluoretada	Hipossalina, com reação ácida, Silicatada	Hipossalina, Alcalino-Sódica	Hipossalina, Alcalino-Sódica	Nitratada, fracamente mineralizada, alcalina-sódico-cálcica	Hipossalina, com reação ácida, Silicatada	Hipossalina, com reação ácida, Silicatada	Hipossalina, com reação ácida, Silicatada	

Notas: 1.d. - limite de deteção; n.d. - não determinado

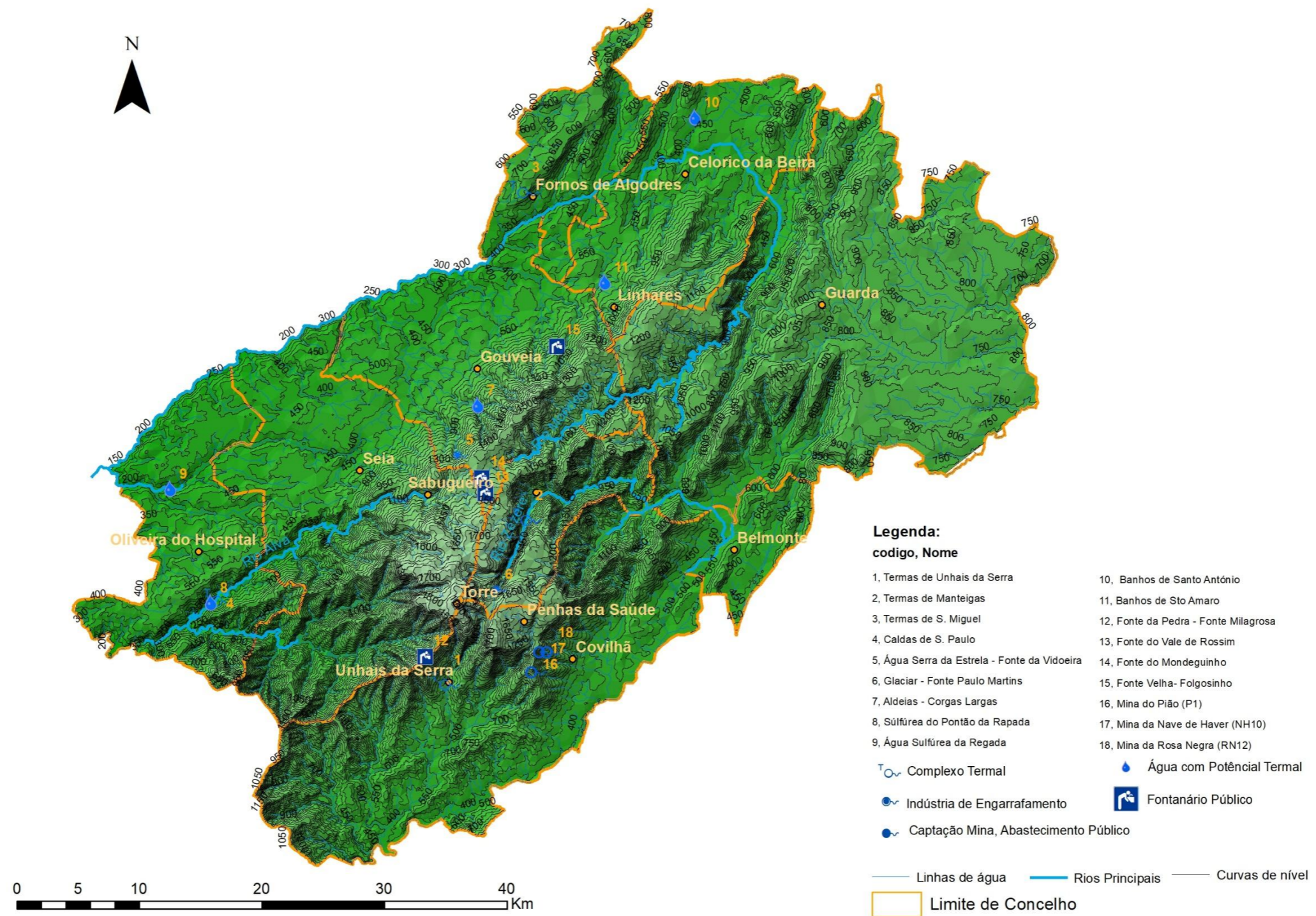


Figura 2.28 - Locais dos pontos de água subterrânea que Belgas (2007) propôs para serem considerados como potenciais hidrogeossítios para o Aspiring a Geopark Estrela (Gonçalves Belgas,2017).

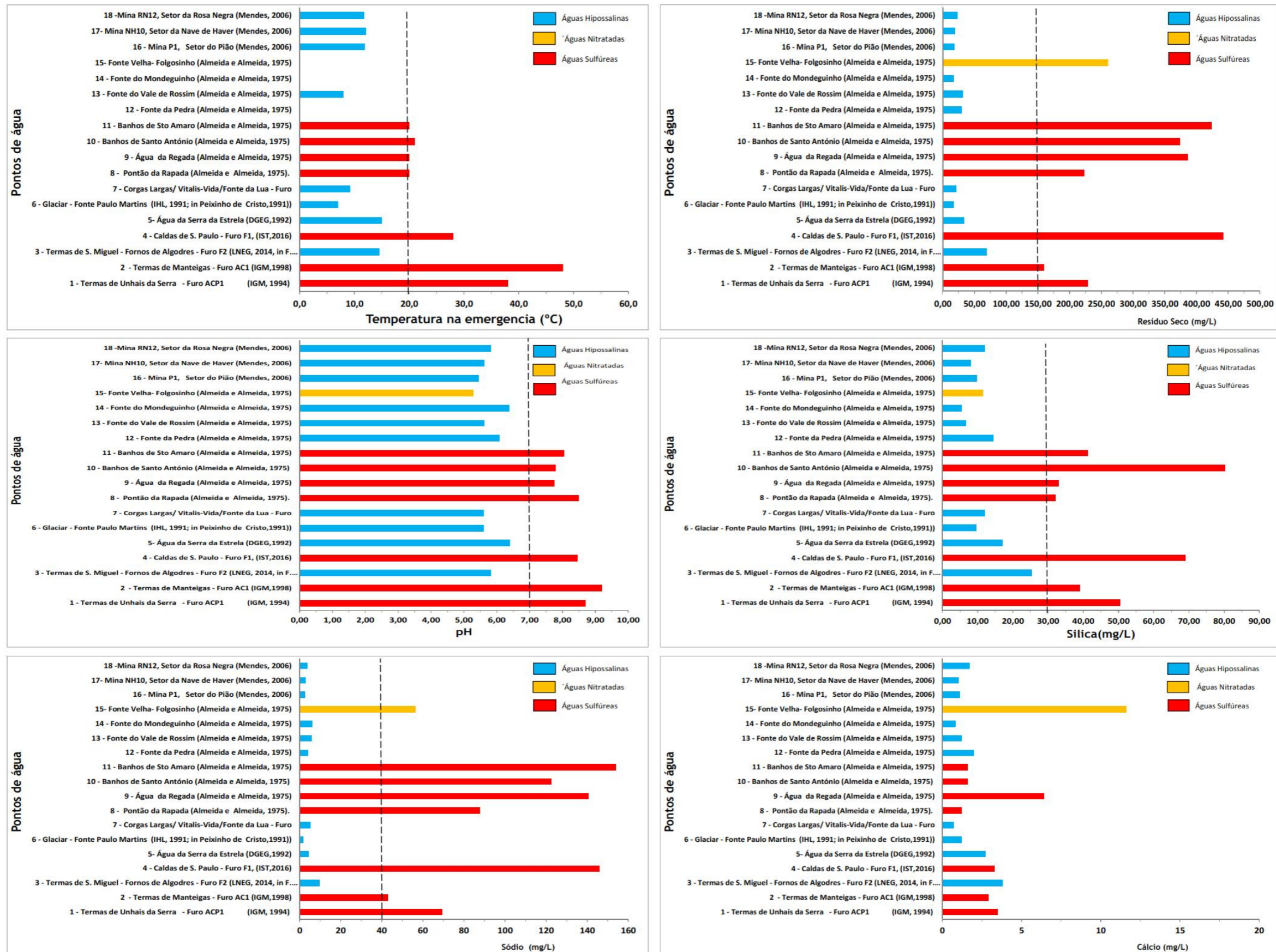


Figura 2.29 - Resultados dos parâmetros físico-químicos globais e principais catiões (a partir da Tabela 11) dos pontos de água subterrânea que Belgas (2007) propôs para serem considerados como potenciais hidrogeossítios para o Aspiring a Geopark Estrela (Gonçalves Belgas,2017).

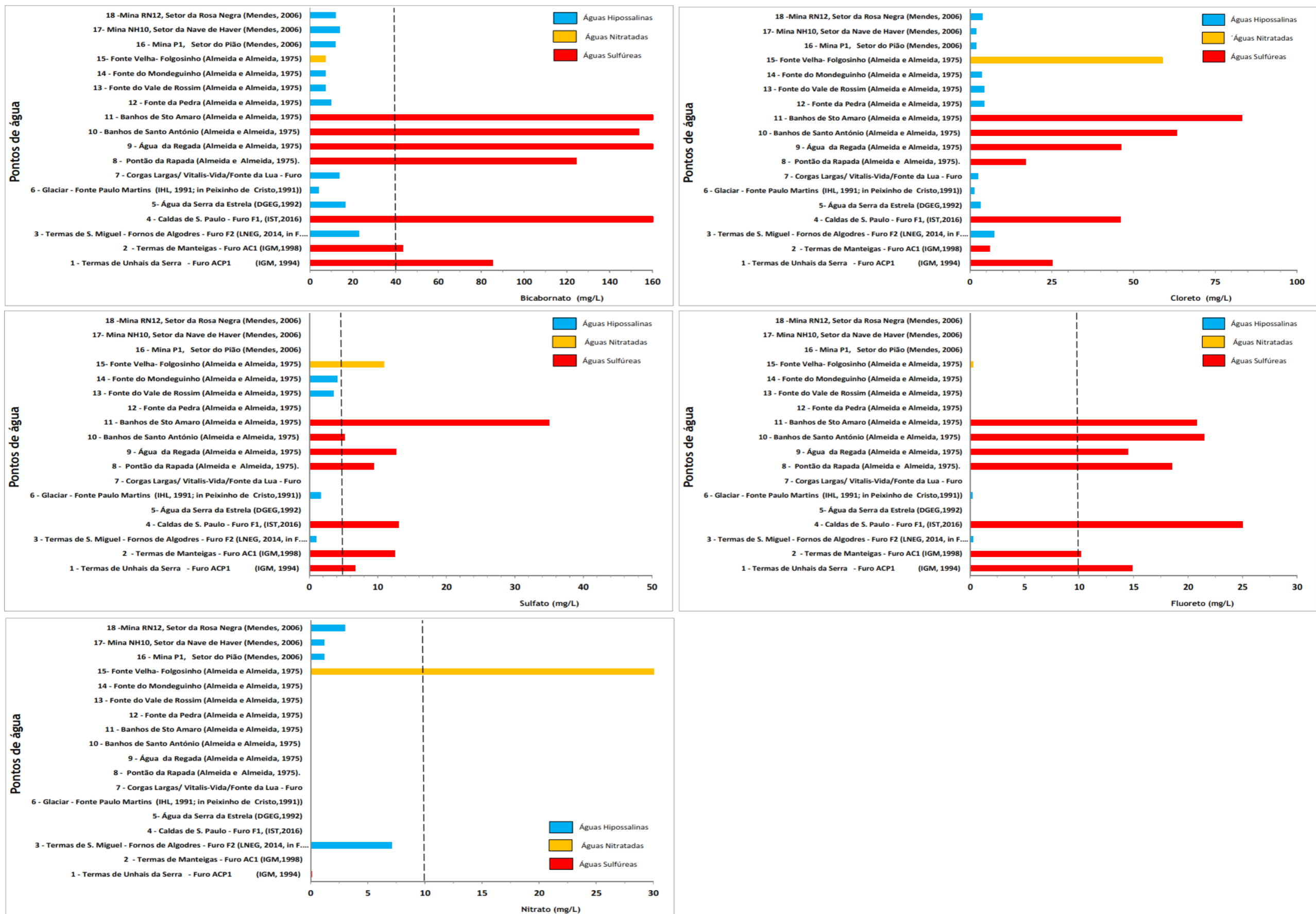
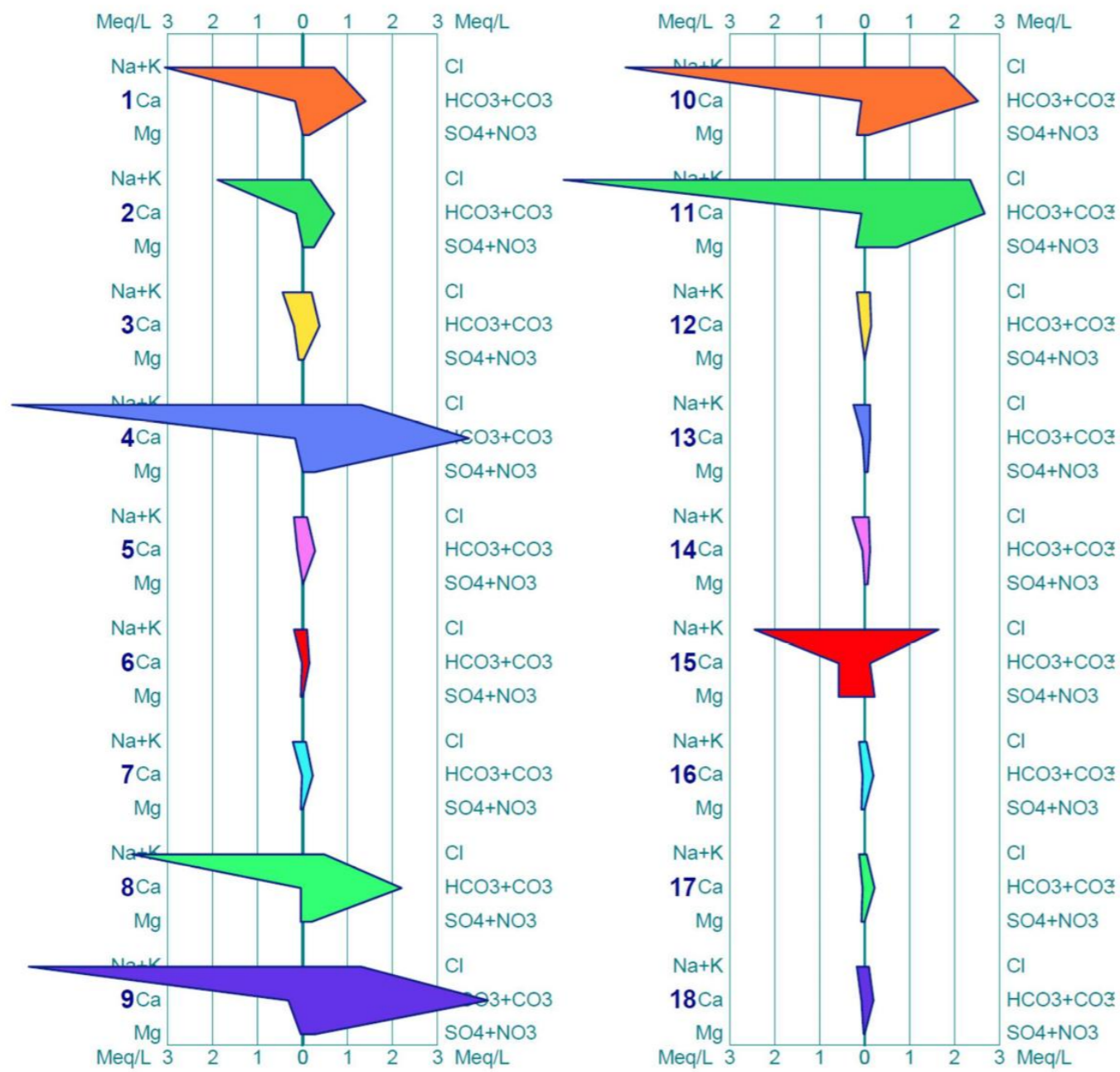
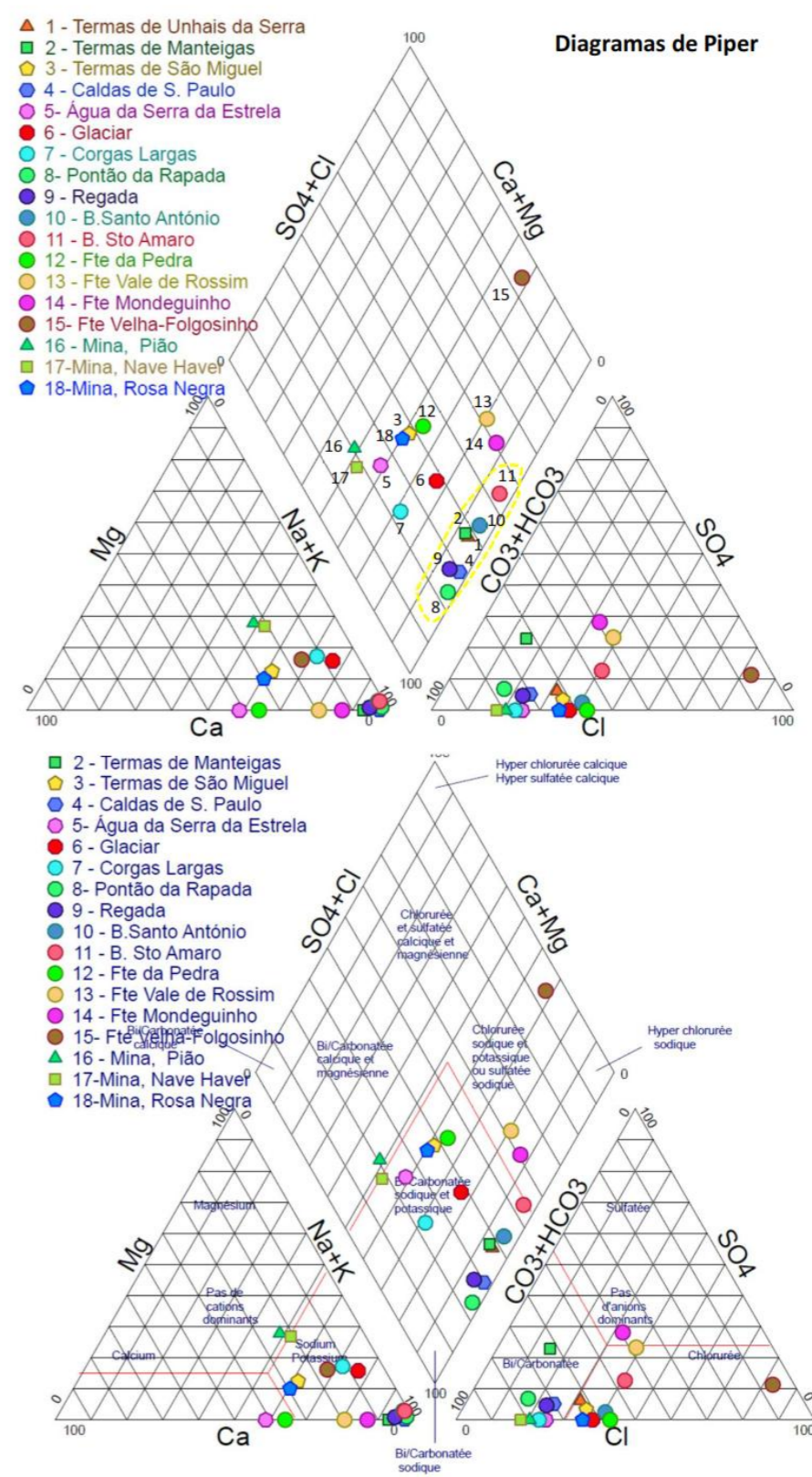


Figura 2.30 - Resultados dos parâmetros físico-químicos em termos de principais aniões (a partir da Tabela 11) dos pontos de água subterrânea que Belgas (2007) propôs para serem considerados como potenciais hidrogeossítios para o Aspiring a Geopark Estrela (Gonçalves Belgas,2017).



Diagramas de Stiff

Águas Sulfúreas: 1 - 2 - 4 - 8 - 9 - 10 - 11  
 Águas Nitratadas: 15  
 Águas Hipossalinas: 3 - 5 - 6 - 7 - 12 - 13 - 14 - 16 - 17 - 18



Diagramas de Piper

Figura 2.31 - Diagramas de Piper e de Stiff (a partir da Tabela 11) dos pontos de água subterrânea que Belgas (2007) propôs para serem considerados como potenciais hidrogeossítios para no Aspiring a Geopark Estrela (Gonçalves Belgas,2017).

Entretanto, de um modo muito singular, destacam-se as águas que são usadas em Termalismo, reconhecidas como Águas Minerais Naturais, como é o caso dos Pontos: 1 - Termas de Unhais da Serra, 2 - Termas de Manteigas, 3 - Termas de São Miguel - Fornos de Algodres, e 4 - Caldas de São Paulo. Com exceção do Ponto 3, que é uma Água Hipossalina, as outras são do tipo Sulfúrea, salientando que representam o segundo grupo em termos de representatividade de todo conjunto global. As Figuras de 2.32 a 2.35 apresentam imagens sobre os balneários daquelas termas.



Figura 2.32 - Termas de Unhais da Serra (a partir de Termas Centro, 2025b).



Figura 2.33 - Termas de Manteigas (a partir de Termas Centro, 2025a).



Figura 2.34 - Termas de S. Miguel (a partir de Palace Hotel & SPA Termas de S. Miguel, 2025).



Figura 2.35 - Caldas de S. Paulo (a partir de DGE, 2025).

## Capítulo 3

# O CASO DE ESTUDO DA NASCENTE DO MONDEGUINHO

### 3.1 Enquadramento geográfico

O Mondeguinho, ou a Fonte do Mondeguinho, ou ainda a Nascente do Mondeguinho, é considerada como a Nascente do Rio Mondego, que é o maior rio de todos os rios que têm o seu curso inteiramente em Portugal. Aquele local situa-se, no Concelho de Gouveia (Fig.3.1), na união de freguesias de Aldeias e Mangualde da Serra, distrito da Guarda.

O distrito da Guarda tem um total de 141995 habitantes de acordo com os dados de 2023, e uma densidade populacional de 25,6 hab./km<sup>2</sup> de acordo com os dados de 2022, segundo os últimos dados do INE (2023).

O distrito da Guarda organiza-se em catorze municípios: Aguiar da Beira, Almeida, Celorico da Beira, Figueira de Castelo Rodrigo, Fornos de Algodres, Gouveia, Guarda, Manteigas, Mêda, Pinhel, Sabugal, Seia, Trancoso e Vila Nova de Foz de Côa. A sede do distrito é a cidade da Guarda. O distrito encontra-se limitado a norte pelo Distrito de Bragança, a leste pela Espanha, a sul com o Distrito de Castelo de Branco, a sudoeste com o Distrito de Coimbra e a oeste pelo Distrito de Viseu. O distrito está maioritariamente localizado na Região do Centro nas sub-regiões da Beira Interior Norte, ainda que tenha concelhos que pertencem às sub-regiões de Dão-Lafões, Serra da Estrela, e na Região do Norte, sub-região do Douro.

O concelho de Gouveia organiza-se por 16 freguesias: Vila Nova de Tazem, Cativelos, Arcozelo, Ribamondego, Vila de Franca da Serra, São Paio, Vila Cortês da Serra, Paços da Serra, Nespereira, Gouveia, Folgoso, e as uniões de freguesias de “Rio Torto e Lagarinhos”, “Figueiró da Serra e Freixo da Serra”, “Nabais e Melo”, “Moimenta da Serra e Vinhó”, e “Aldeias e Mangualde da Serra” (Município de Gouveia, 2024), conforme se encontra representado na Fig.3.1b. É limitado a norte pelos concelhos de Mangualde e Fornos de Algodres, a sul por Manteigas e Seia, a este por Celorico da Beira e Guarda e a oeste por Seia.

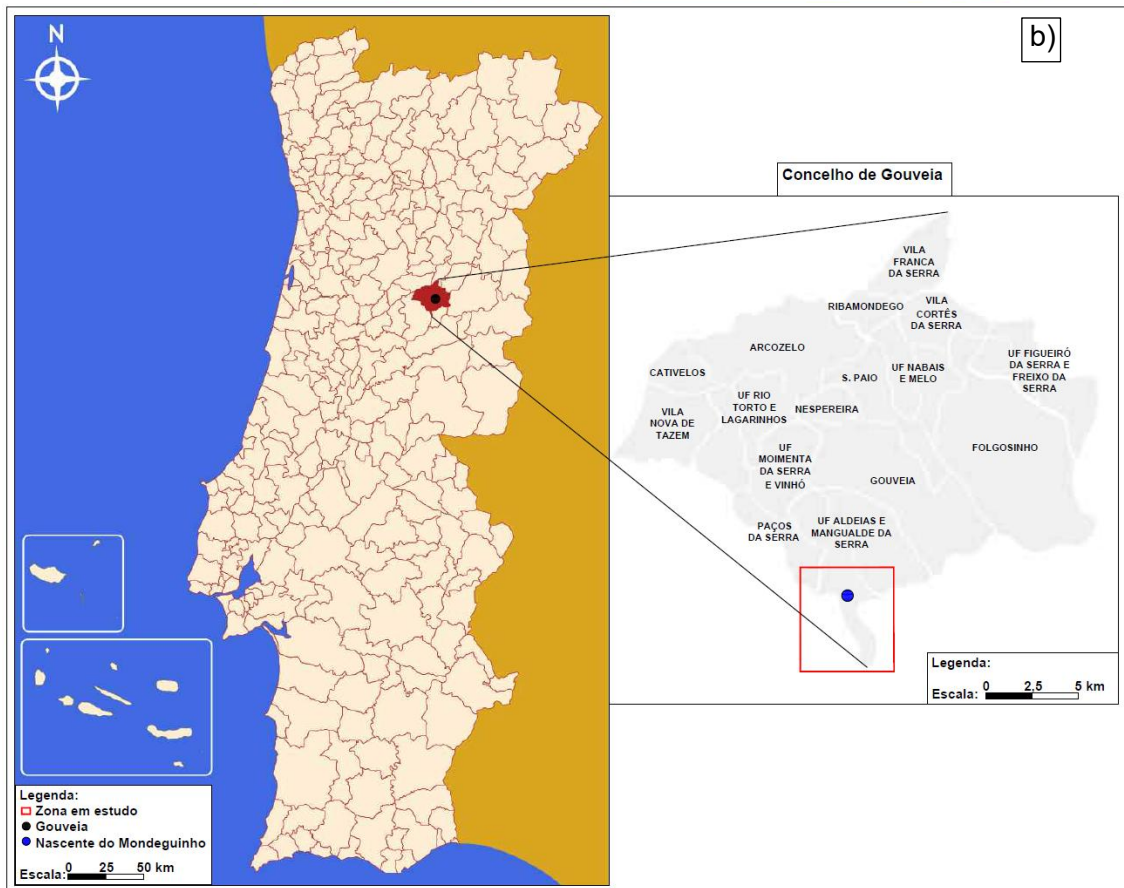


Figura 3.1 - Enquadramento geográfico global da zona em estudo: a) em relação à Europa (adaptado do Google Maps, 2024), b) em relação ao concelho de Gouveia (adaptado Município de Gouveia, 2024).

A freguesia de Mangualde da Serra está limitada a este pela freguesia de Paços da Serra, a este com a freguesia de Aldeias, a norte com a freguesia de Moimenta da Serra, a sudoeste com o concelho de Seia e a sudeste com o concelho de Manteigas.

O acesso ao local da Nascente do Mondeguinho faz-se pela estrada nacional EN232. As suas coordenadas geográficas são as seguintes: 40°24'52"N 7°35'16"W (Google Earth, 2024).

### **3.2 Caracterização socioeconómica**

O concelho de Gouveia ocupa uma área de 300,63 km<sup>2</sup>, tem uma população de 12222 habitantes, e uma densidade populacional de 40,66 habitantes por km<sup>2</sup> (INE, 2021).

Segundo a página do website do Município de Gouveia (2024), as principais atividades económicas da população do concelho, ao longo dos últimos séculos e ainda na atualidade são diversas e enumeram-se a seguir.

Os estabelecimentos fabris, a agricultura de milho, centeio e batata e a criação de gado e produção de queijo da serra são as principais atividades económicas na freguesia de Mangualde da Serra. A agricultura e a pastorícia, na freguesia de Aldeias. A agricultura, a criação de gado e o pequeno comércio, nomeadamente a produção artesanal de queijo da serra, de calçado, alfaiataria e tapetes de arraiolos na freguesia de Arcozelo da Serra. A agricultura, principalmente o cultivo da vinha, a criação de gado, a queijaria, o comércio de peixe na freguesia de Cativelos. A agricultura, a criação de gado e a construção civil na freguesia de Figueiró da Serra. O artesanato local e a restauração na freguesia de Folgoso. A agricultura e a criação de gado na Freguesia de Freixo da Serra. Os estabelecimentos fabris, as produções agrícolas nomeadamente de vinho e azeite, os laticínios principalmente o queijo da serra na freguesia de São Julião. O comércio, a indústria e os serviços na freguesia de São Pedro. As produções agrícolas, os estabelecimentos fabris na freguesia de Melo. A agricultura, à criação de gado e a prestigiados estabelecimentos de indústrias de têxteis na freguesia de Moimenta da Serra. A elevada produção agrícola e a produção agrícola de queijo da serra na freguesia de Nabais. As produções agrícolas de batata, cereais, azeite, vinho e de queijo da serra na freguesia de Nespereira. A produção agrícola, e os estabelecimentos fabris na freguesia de Paços da Serra. Atividades de turismo e lazer na freguesia de Ribamondego. Produções agrícolas de qualidade dada a boa fertilidade da terra, e os estabelecimentos fabris na freguesia de Rio Torto. As produções agrícolas e de laticínios, os têxteis, e a adega cooperativa na freguesia de São Paio. As explorações de minerais de estanho, a indústria de papel e as produções agrícolas na freguesia de Vila Cortês da Serra.

A Fig.3.2 representa a carta de uso e ocupação do território de Portugal Continental. Na Fig.3.3 está representada a carta de uso e ocupação do território da área em estudo através da qual se conclui que a mesma se insere numa zona de territórios artificializados e muito diversificado, nomeadamente com espaços de agricultura, pastagens, florestas, matos, espaços descobertos e massas de água superficiais.

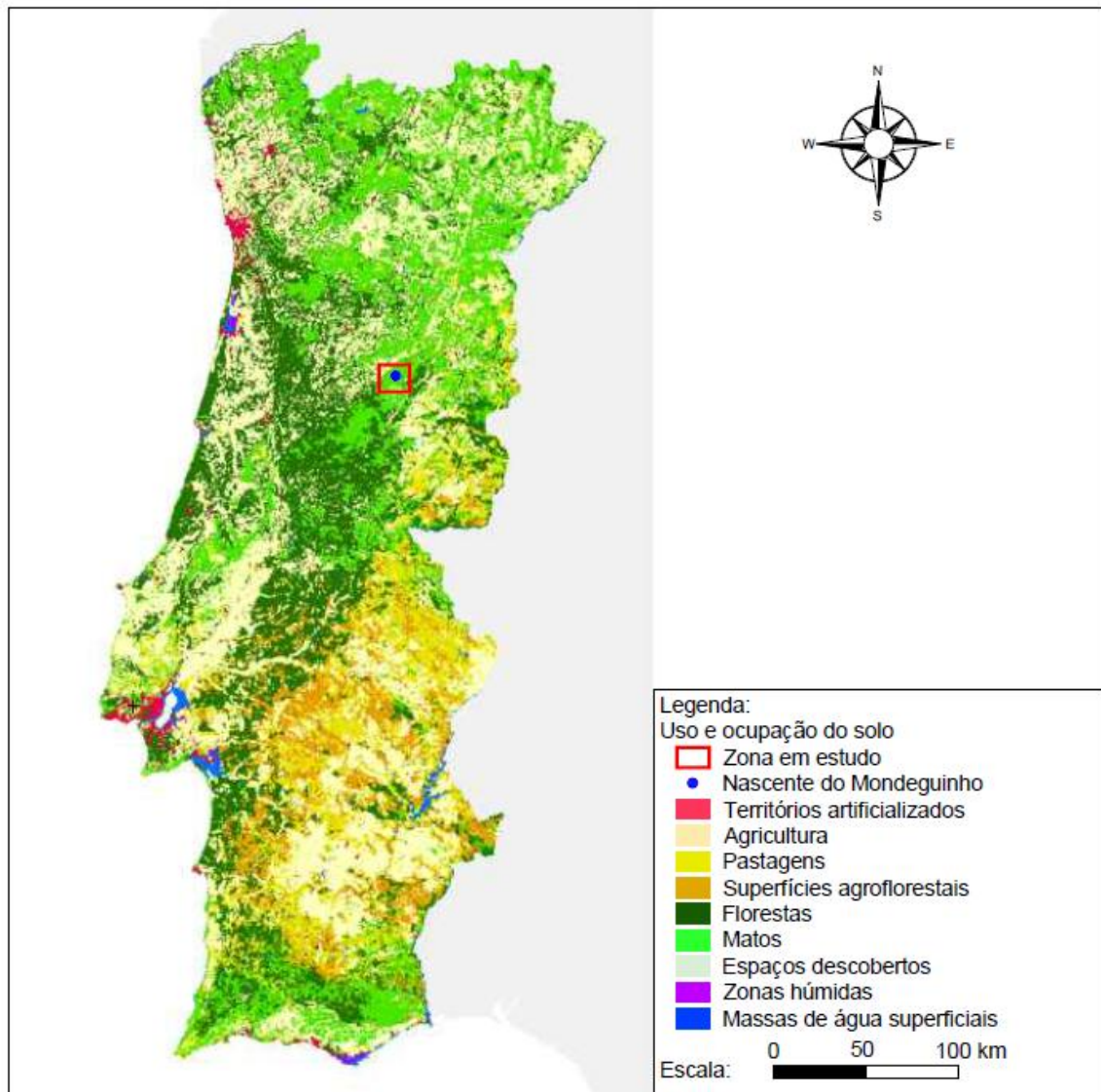


Figura 3.2 - Carta do uso e ocupação do território de Portugal Continental (Adaptado da DGT, 2024).

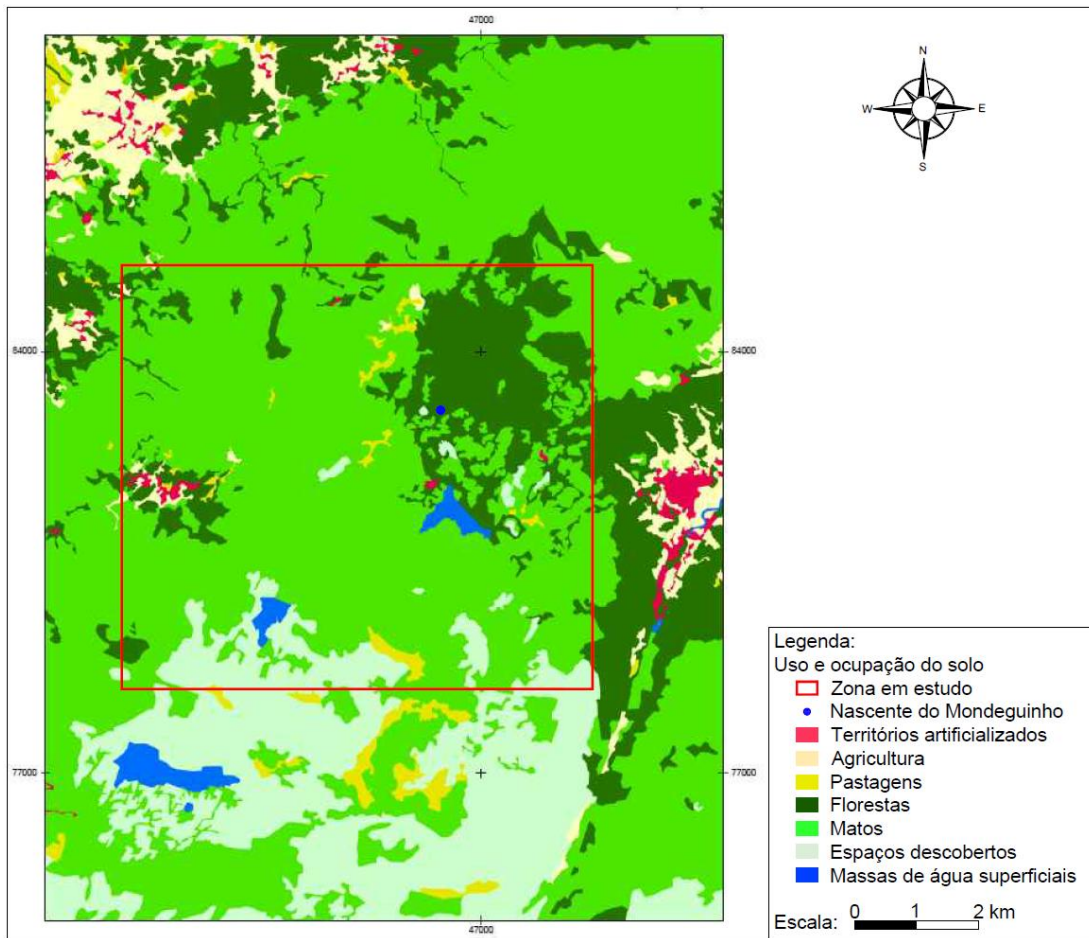


Figura 3.3 - Carta do uso e ocupação do território da área em estudo (adaptado da DGT, 2024).

### 3.3 Elementos geomorfológicos

O Mondeguinho, como Fonte (Fig.3.4, Fig.2.27), é considerada popularmente como o início do maior rio totalmente português, o Rio Mondego.



Figura 3.4 - A Fonte da Nascente do Mondeguinho.

Segundo Lencastre (2004), o Rio Mondego nasce na Serra da Estrela (Fig.3.5), a uma altitude de 1557 m e após um percurso total de cerca de 227 km, desagua no Oceano Atlântico, junto da Figueira da Foz, percorrendo a Região Centro de Portugal. A bacia hidrográfica tem uma área total aproximada de 6671 km<sup>2</sup>, e tem uma forma alongada com a orientação ENE-WSM.

O Mondego inicialmente dirige-se para nordeste, alterando o seu curso para sudoeste na zona de Celorico da Beira, em direção ao mar, desaguando, portanto na Figueira da Foz.

No trecho entre a nascente e Coimbra, o Rio Mondego é tipicamente um rio de montanha, com um leito encaixado num vale estreito e por vezes profundo, com importantes quedas de nível e uma forte capacidade de transporte dos sedimentos arrancados à sua bacia por agentes erosivos de grande intensidade. O troço terminal, a jusante de Coimbra constitui o Baixo Mondego (Lencastre, 2004).

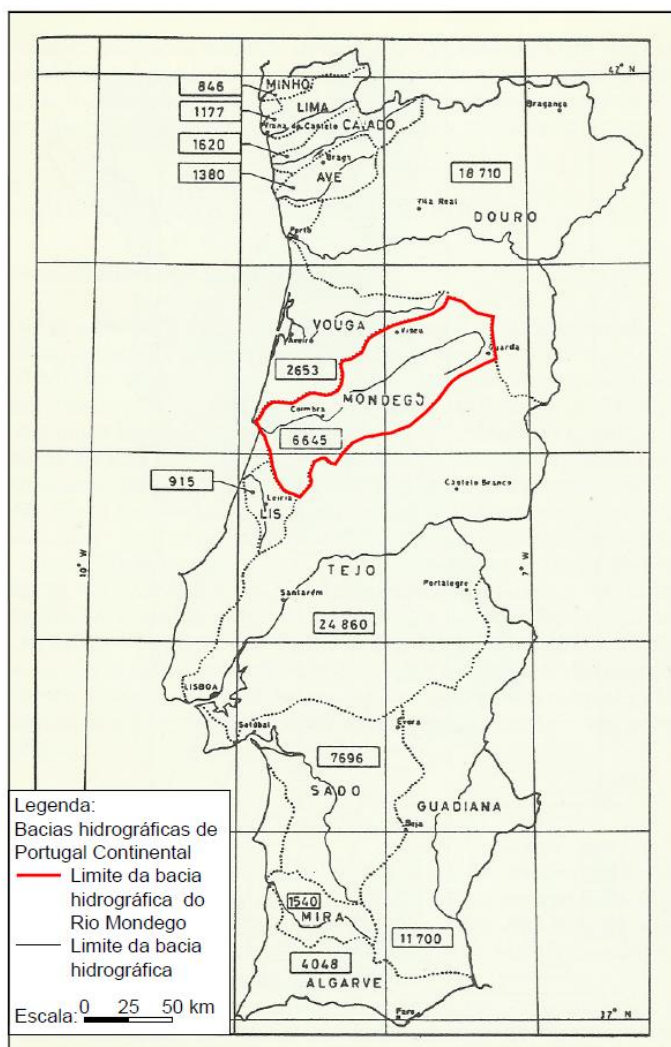


Figura 3.5 - Mapa das principais bacias hidrográficas de Portugal Continental, com destaque da bacia do Rio Mondego (adaptado de Rodrigues et al., 1989).

Cardielos et al. (2016), referem que só muito dificilmente o pequeno regato, ou Mondeguinho, como é carinhosamente conhecida a sua nascente, onde brota, no sítio de Corgo das Mós, poderia ser reconhecido como origem do maior rio que corre integralmente em território português.

De facto, ao observar, com detalhe a topografia daquela pequena zona, como se observa na Fig.3.6 o fontanário é o resultado de uma pequena captação que é o culminar, de um pequeno “regato”, ou pequena linha de água, de direção global NE-SW segundo o seu eixo maior, com um comprimento total em linha reta de apenas 610 m. A sua largura mais frequente é de apenas 215 m aproximadamente. Fazendo a medição rigorosa da área da sub-bacia da Nascente do Mondeguinho, a montante da Fonte, esta ocupa uma área global de apenas, 0,167 km<sup>2</sup>.

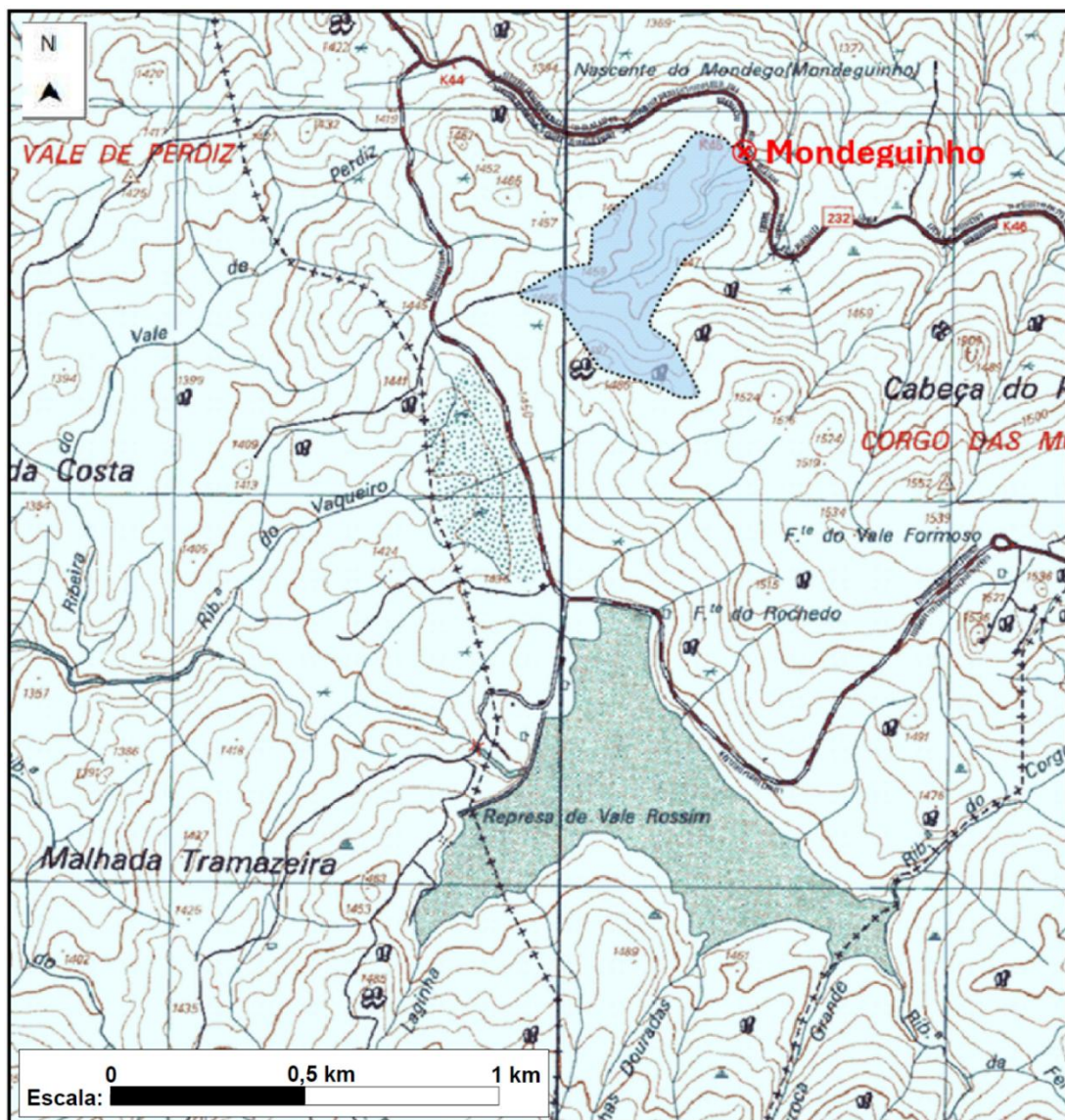


Figura 3.6 - Implantação detalhada da bacia hidrográfica do Mondeguinho em carta topográfica (a partir da Folha 212, SCE, 2024).

A Fonte está à cota de cerca de 1410 m. A maior altitude daquela pequena sub-bacia, ao observar com detalhe o mapa da Fig.3.6, verifica-se ser de 1497 m. A pequena sub-bacia do Mondeguinho apresenta uma topografia globalmente pouco irregular, com formas de rochas arredondadas, como consequência natural da erosão ao longo do tempo das suas rochas graníticas (Fig.3.7).



Figura 3.7 - Imagens/fotografias da sub-bacia do Mondeguinho, mostrando aspetos da sua morfologia de blocos de granito globalmente arredondados.

Morfologicamente interessa realçar o facto de na proximidade da Fonte do Mondeguinho, ocorrer a Represa de Vale do Rossim (Fig.3.8), que apesar de não estar na Bacia do Rio Mondego, drenando superficialmente para o Rio Alva (Fig.3.9), admite-se que da mesma, possa haver infiltração, da qual resulte alguma percolação em profundidade para a Fonte do Mondeguinho, pois a cota máxima da albufeira é cerca de 1440 m, e a Fonte do Mondeguinho relativamente próxima (a cerca de 1300 m em linha reta do ponto mais próximo), está à cota de 1410 m. Estes elementos topográficos são importantes, no sentido do abastecimento subterrâneo em contínuo da água subterrânea da Nascente do Mondeguinho. Este assunto será retomado em item mais à frente deste trabalho.

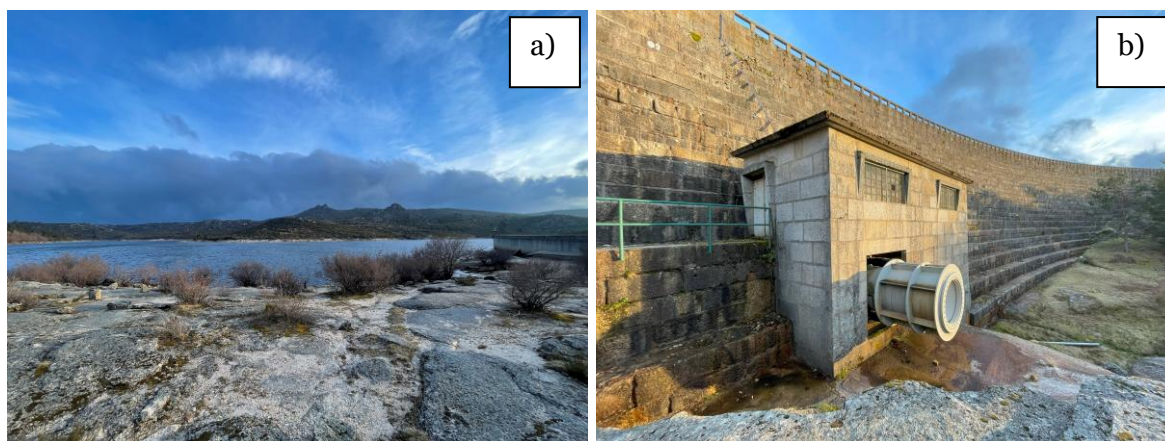


Figura 3.8 - Imagens da represa de Vale do Rossim: a) imagem global; b) imagem da zona de descarga.

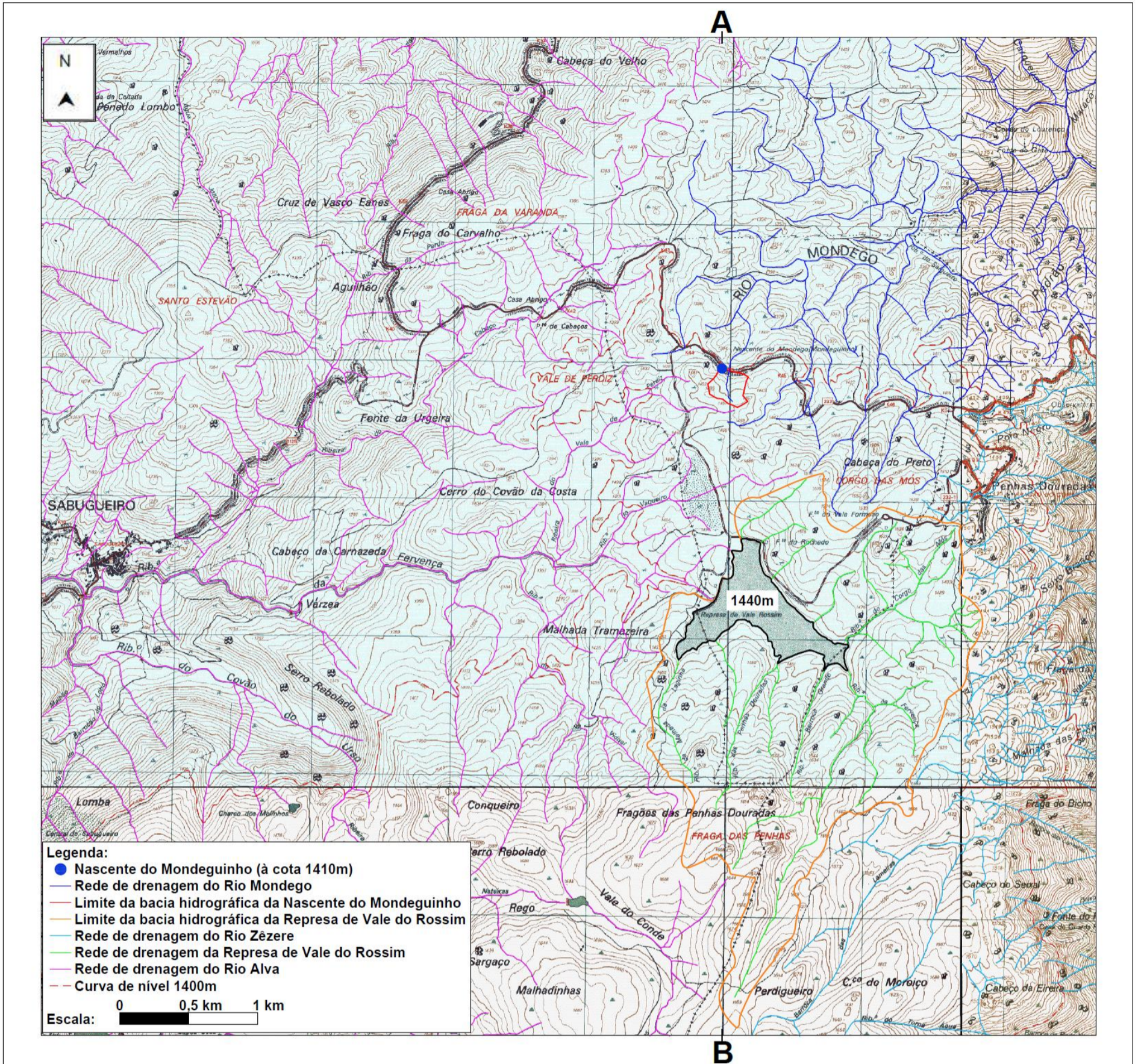


Figura 3.9 - Mapa da rede de drenagem da área em estudo e envolvente (adaptado das cartas militares, folhas 212, 213, 223 e 224, à escala 1:25000, SCE, 2024).

A classificação da rede de drenagem das bacias hidrográficas do Rio Mondego, da Nascente do Mondeguinho, do Rio Zêzere e do Rio Alva, para a zona em estudo e proximidades, apresenta-se na Fig.3.10. Aquela classificação foi obtida segundo o método de Strahler (*in* Hipólito e Vaz, 2017). A ordem dos cursos de água reflete a complexidade da rede de drenagem, e pode ser determinada a partir de um mapa em que se apresentem todos os cursos de água pertencentes à rede hidrográfica. Para obter a ordem dos cursos de água da bacia hidrográfica, começa-se por se atribuir às linhas de água mais pequenas a ordem 1, quando duas linhas de água de ordem  $n$  se confluem atribui-se a ordem  $n+1$ . Se uma linha de água  $n-1$ , conflui com uma linha de água de ordem  $n$ , mantém-se a ordem  $n$ .

A ordem dos cursos de água obtida pelo método de Strahler da bacia hidrográfica do Mondeguinho foi  $n=1$ . Para as redes de drenagem do Rio Mondego, do Vale de Rossim, do Rio Zêzere, e do Rio Alva, nas envolventes à zona de estudo (Fig.3.10) foram respetivamente  $n=5$ ,  $n=3$ ,  $n=4$  e  $n=5$ .

Através do método de Strahler conclui-se que a bacia hidrográfica da Nascente do Mondeguinho tem uma ramificação reduzida. As bacias hidrográficas do Rio Mondego, do Vale de Rossim, do Rio Zêzere, e do Rio Alva têm uma ramificação extensa.

## **3.4 Elementos geológicos**

### **3.4.1 Geologia regional**

Segundo Rodrigues et al. (1989) entende-se que o território de Portugal Continental pode considerar-se dividido, do ponto de vista geológico, nas quatro unidades seguintes (Fig.3.11): Maciço Hespérico (também designado Maciço Antigo ou Meseta Ibérica); Orla Mesocenozóica Ocidental; Orla Mesocenozóica Meridional; e Bacia Sedimentar do Tejo e Sado. O Rio Mondego insere-se no Maciço Hespérico e na Orla Mesocenozóica Ocidental e a zona de estudo está situada no Maciço Hespérico.

No Maciço Hespérico ocorrem numerosos tipos de rochas metamórficas e ígneas, sendo as primeiras mais abundantes a sul da Serra da Estrela e as segundas a norte. Xistos, metagrauvaques, quartzitos, mármore, granitos, granodioritos e pórfiros são os tipos mais representados.

Nas Orlas Mesocenozóicas as formações são essencialmente carbonatadas (calcários, margas e dolomias), argilosas e areníticas com algumas intercalações de rochas ígneas intrusivas e exclusivas.

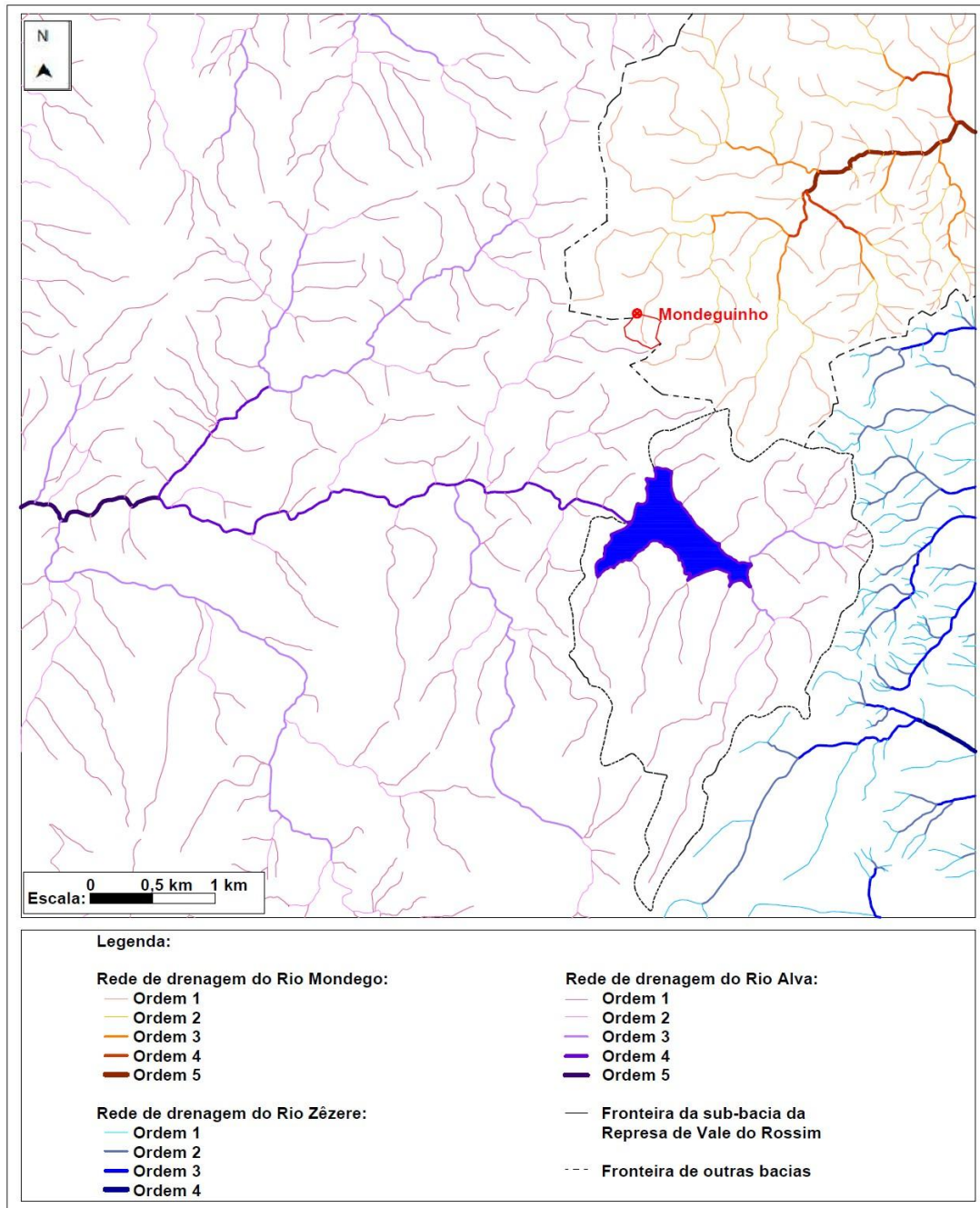


Figura 3.10 - Classificação das redes de drenagem da área em estudo e envolventes segundo o método de Strahler.

Na Orla Mesocenozóica Ocidental: as formações são constituídas por calcários, margas, arenitos, siltitos e argilitos. Na base destas formações ocorre um complexo evaporítico, que em vários locais desta região, origina relevos diapíricos por vezes fortemente erodidos e com exposição das formações mais antigas do núcleo dos diápiros.

Na Orla Meridional, os calcários, dolomias, arenitos, siltitos, argilitos e margas são abundantes. Junto do contato com o Maciço Hespérico observam-se ocorrências de rochas vulcânicas, com o aparecimento de basaltos, de rochas piroclásticas e de espécies filoneanas. Existem diversas estruturas diapíricas.

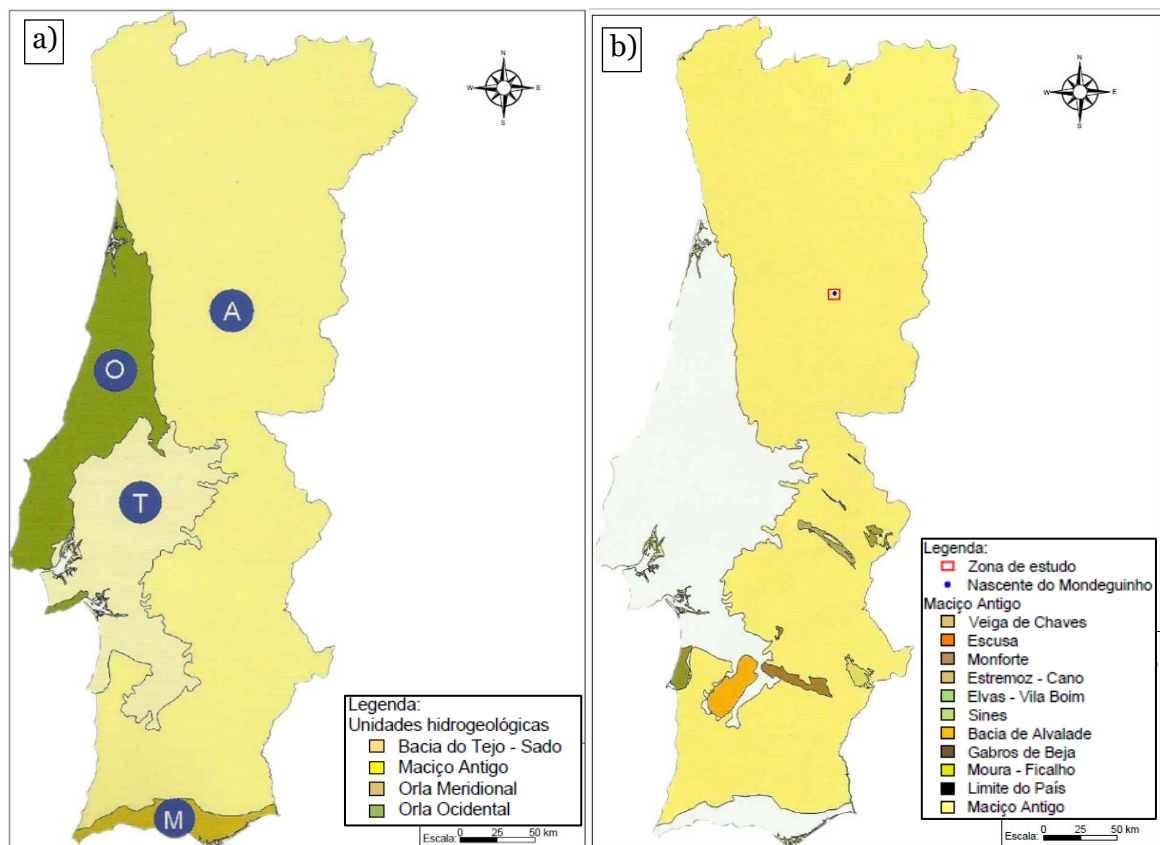


Figura 3.11 - Mapa: a) das grandes unidades hidrogeológicas de Portugal Continental, b) dos sistemas aquíferos do Maciço Antigo de Portugal Continental (Ribeiro, 2003).

Ainda em termos regionais, apresenta-se o enquadramento da zona de estudo, no extrato da Carta Geológica de Portugal à escala 1/500000, na Fig.3.12, sendo de realçar que a área da Nascente do Mondeguinho, se associa à Unidade Geológica  $\gamma^{II}_{2b}$ , designada por Granitos Porfíroides, de idade hercínica.

### 3.4.2 Geologia local

A geologia relativamente detalhada, da zona da Nascente do Mondeguinho, foi estudada por Teixeira et al. (1966), ao apresentarem a carta geológica da região de Gouveia (Folha 17-D). Em termos globais, aqueles autores, identificaram para a área da carta 17-D, as seguintes unidades geológicas:

- Depósitos Ceno-Antropozóicos

a-A` - Aluviões atuais (a), Depósitos de Vertente (A`),

Q<sub>a</sub> - Depósitos de terraços fluviais,

Q<sub>fg</sub> - Depósitos fluvio-glaciários,

Q<sub>g</sub> - Depósitos glaciários,

Q<sub>Q</sub> - Depósitos arcósico-argilosos.



- Rochas eruptivas (Granito monzonítico)

$\gamma_{\pi g}$  - Granito porfiróide, de grão grosseiro ou grosseiro a médio,

$\gamma_{\pi m}$  - Granito porfiróide, de grão médio ou médio a fino,

$\gamma_{\pi g}$  - Granito de grão grosseiro, não porfiróide.

$\gamma_{\pi m}$  - Granito de grão médio ou médio a fino, não porfiróide.

- Complexo xisto-grauváquico ante-ordovícico e séries metamórficas derivadas

X - Xistos e grauvaques,

Xc - Conglomerados metamorfizados,

Xz - Orlas metamórficas (corneanas e xistos mosqueados),

Xyz - Complexo xisto-granito-migmatítico.

- Rochas filonianas

q - Filões de quartzo e de outros tipos.

A unidade da zona da Nascente do Mondeguinho, é apenas a  $\gamma_{\pi g}$  - Granito porfiróide, de grão grosseiro ou grosseiro a médio (Fig.3.13). Imagens sobre a mesma em afloramentos e em amostras de mão observam-se na Fig.3.14, sendo de salientar que este granito é constituído essencialmente por quartzo e feldspato e moscovite.

Sobre as rochas filonianas, que funcionam genericamente como boas estruturas hidráulicas, por se encontrarem muito fissurados e serem relativamente permeáveis, estes são fundamentalmente de quartzo, no entanto também existem filões de rochas básicas, filões pegmatíticos, aplito-pegmatíticos e outros. Estas estruturas filonianas, estão instalados quer nas rochas graníticas, quer nas rochas xistentas.

O corte geológico da zona em estudo, apresenta-se na Fig.3.15, sendo de realçar que se está perante uma monotonia de rochas graníticas, essencialmente do tipo granito porfiróide, de grão grosseiro. Menciona-se ainda que aquela monotonia é interrompida por um sistema de falhas essencialmente semi-verticais e por algumas estruturas filonianas essencialmente quartzosas.

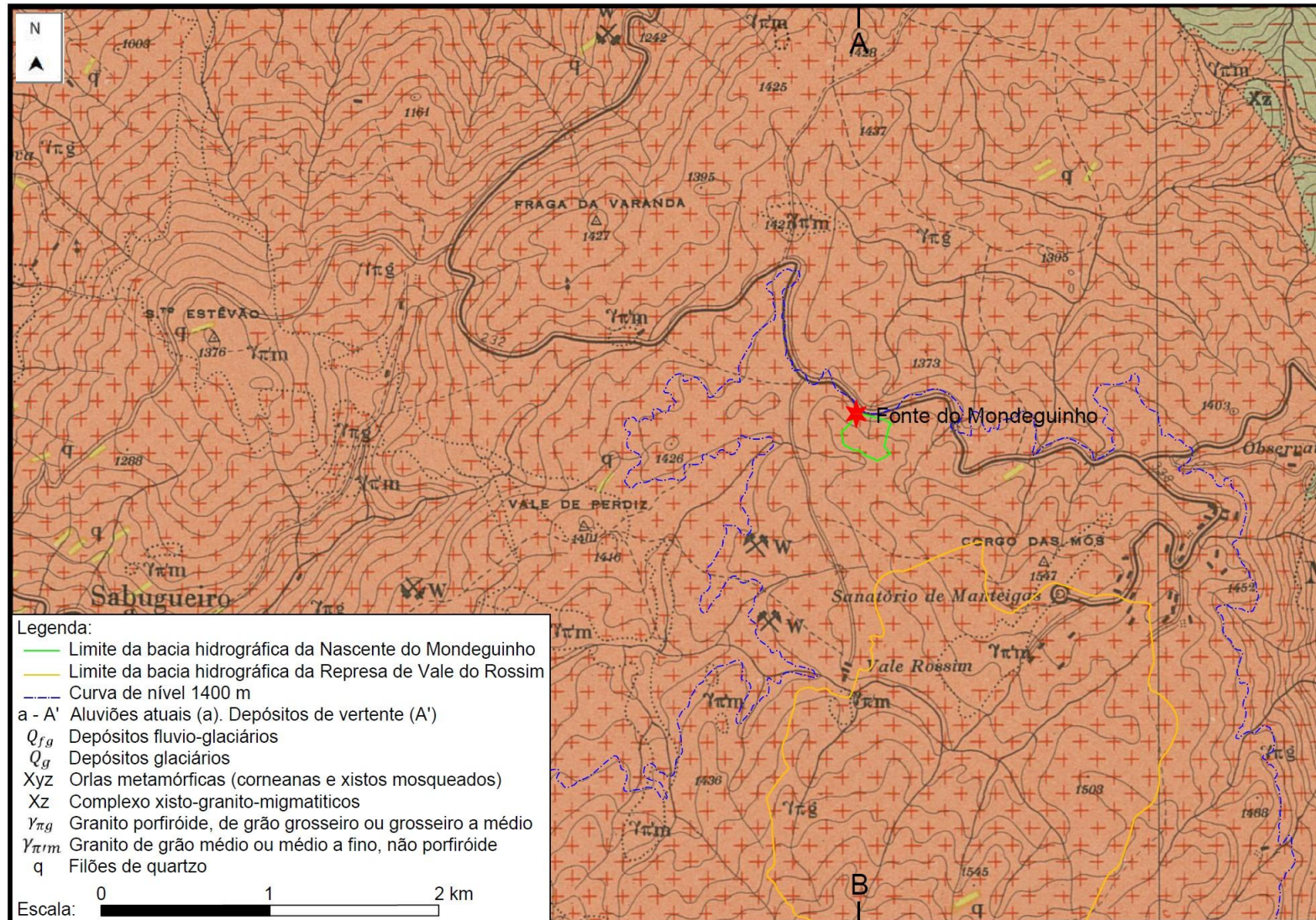


Figura 3.13 - Enquadramento da zona da Nascente do Mondeguinho em termos de geologia local (a partir de Teixeira et al., 1966).

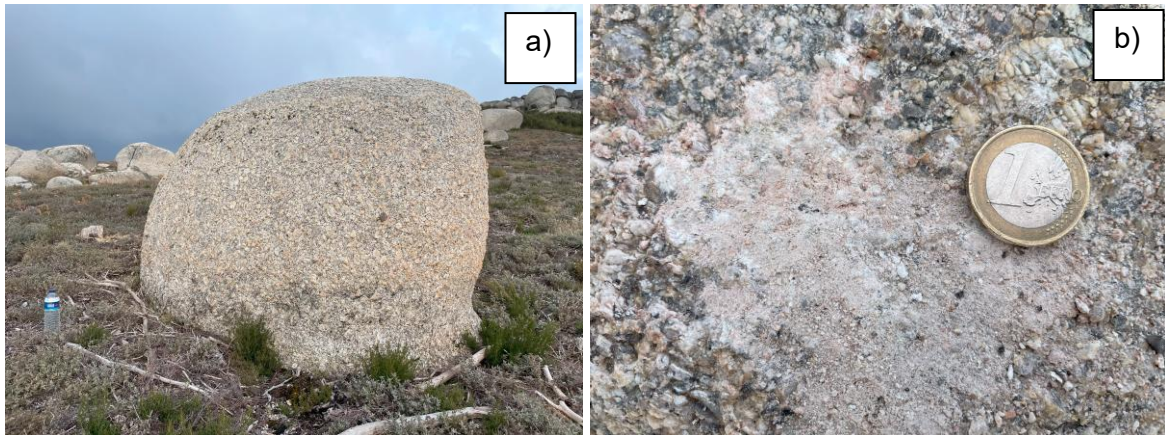


Figura 3.14 - Imagens/fotografias das litologias que ocorrem na zona de estudo, em termos de escala de afloramento (a) e em termos de amostras de mão (b).

### 3.5 Caracterização climática

Este item tem como objetivo estudar os elementos climáticos da área em estudo situada na Nascente do Mondeguinho, de forma a caracterizar o seu clima.

A caracterização climática é importante para o estudo de bacias hidrográficas pois tem influência direta no regime hidrológico.

Os principais dados de análise para a caracterização climática, são os elementos meteorológicos relativos à zona em estudo, nomeadamente a precipitação, a temperatura, a humidade relativa, a insolação e a evaporação uma vez que afetam diretamente o volume de água presente na bacia hidrográfica. Estes elementos são obtidos através dos dados dos registos da estação meteorológica relevante para a zona em estudo, que pela proximidade, é a estação de Penhas Douradas (Fig.3.16), que pertence à freguesia de Manteigas (São Pedro), distrito da Guarda. As coordenadas desta estação são: Latitude -  $40^{\circ}25'N$ , Longitude -  $-7^{\circ}33'W$ , Altitude - 1383 m (Ferreira, 1970).

Através da aplicação do método dos polígonos de Thiessen, determinaram-se as áreas de influência de cada estação meteorológica para as bacias hidrográficas da área em estudo, este método encontra-se apresentado na Fig.3.16. Este método permite obter os polígonos que correspondem às áreas de influência e assim avaliar os elementos meteorológicos como a precipitação na bacia da Nascente do Mondeguinho.

Pelo mesmo método conclui-se que a estação mais relevante para a zona da Nascente do Mondeguinho é a estação de Penhas Douradas. A partir dos dados da estação de Penhas Douradas obtiveram-se os valores dos dados climáticos relevantes para a área em estudo.

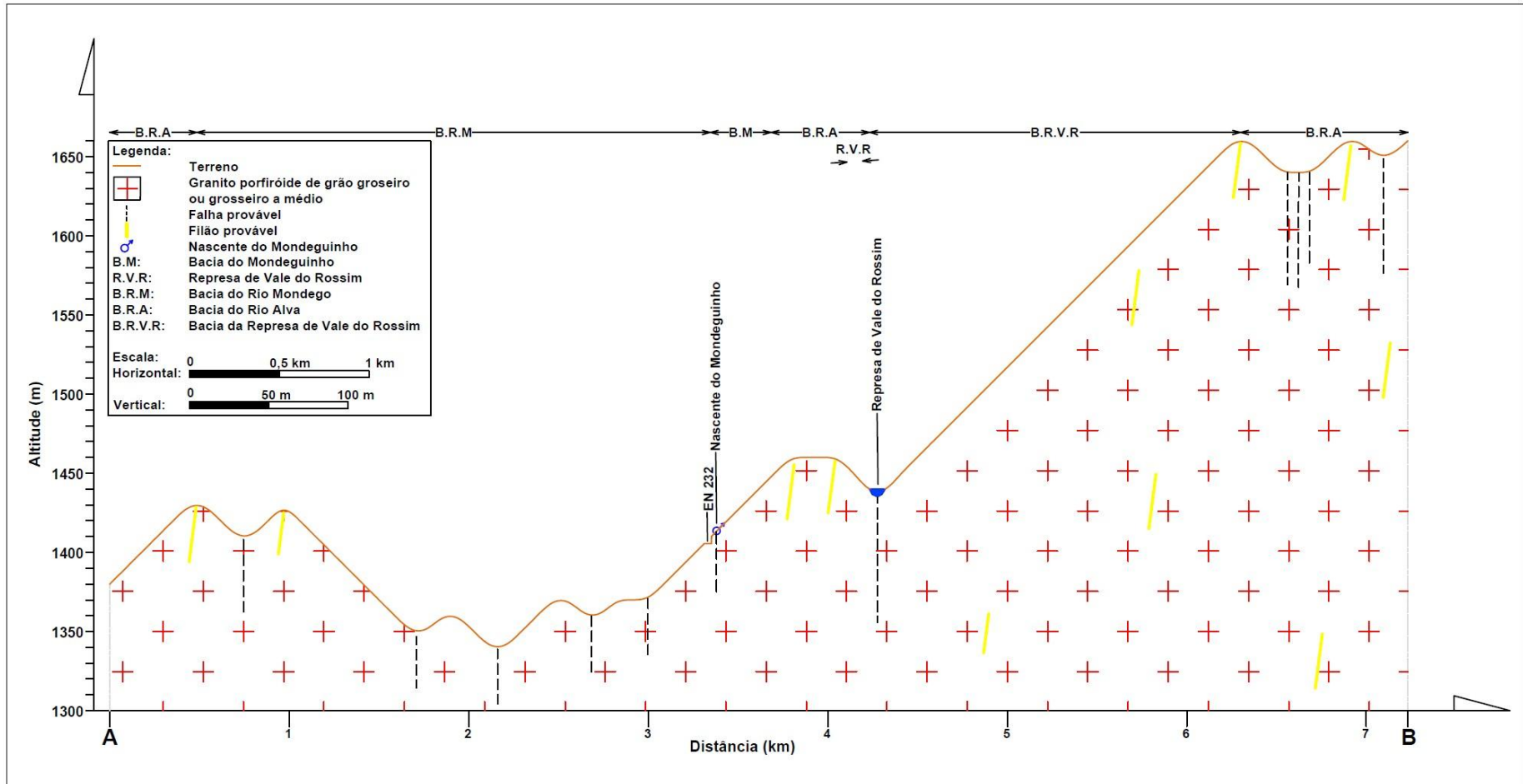


Figura 3.15 - Mapa da geologia local (ver localização do corte A-B nas Fig.3.9 e Fig.3.13).

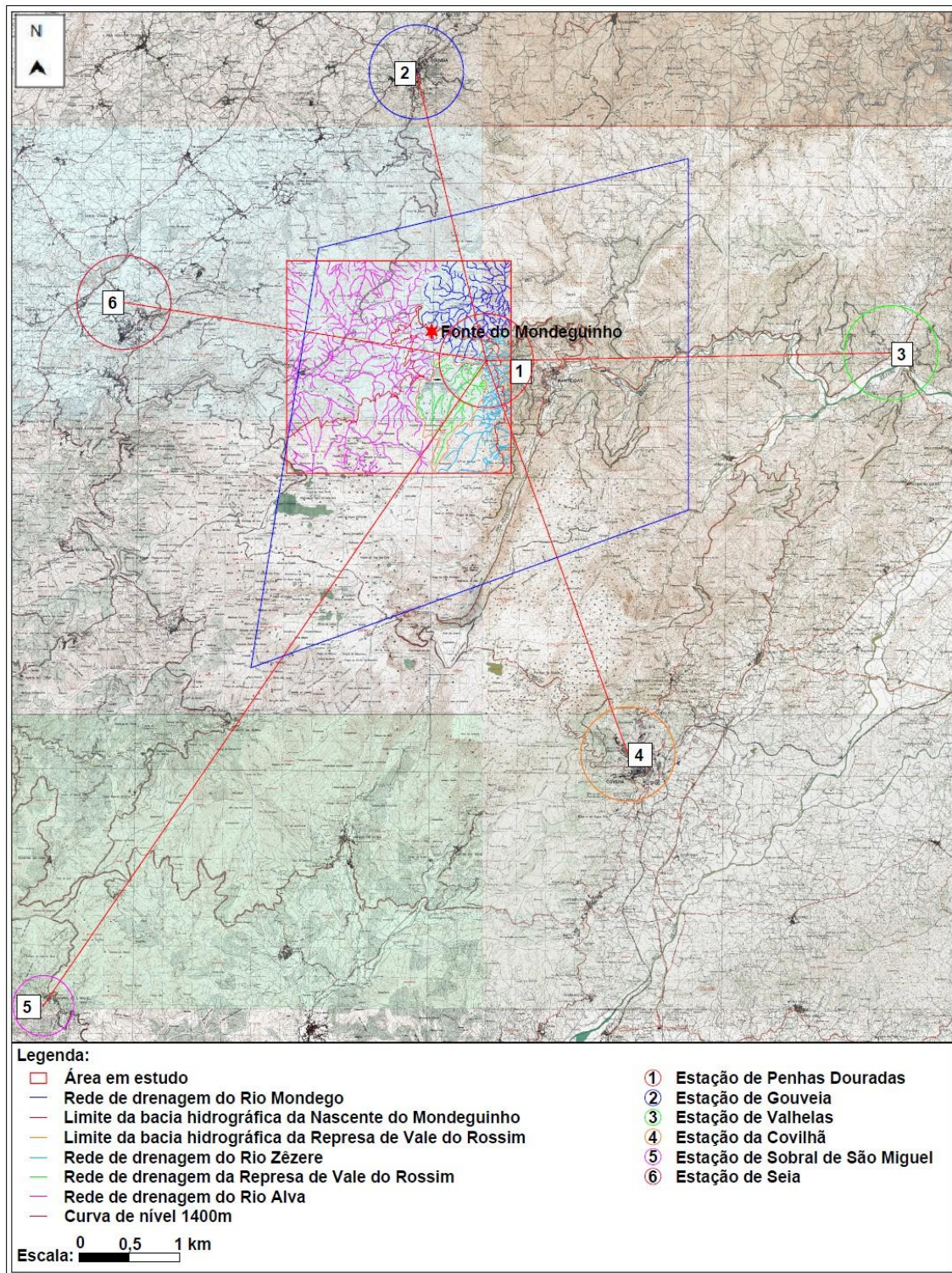


Figura 3.16 - Método dos polígonos de Thiessen (a partir de cartas topográficas militares, folhas 201, 202, 212, 213, 223, 224, 234, 235, 245, 246 à escala 1:25000, SCE, 2024).

Os dados climáticos da temperatura (°C), humidade relativa do ar (%), insolação e evaporação (mm) foram obtidos por consulta dos registos da estação meteorológica de Penhas Douradas (11L/10G), como se apresentam na Tabela 12.

Tabela 12 - Dados climáticos dos anos de 1931 a 1960 da estação meteorológica de Penhas Douradas (11L/10G) (Ferreira, 1970).

Mês	Temperatura média (°C)			Temperatura pontual		Humidade relativa do ar (%)			Insolação	
	Média	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	9h	15h	21h	Total (h)	Percentagem (%)
Jan.	2,4	5,1	-0,4	16,8	-11,0	80	81	83	121,4	41
Fev.	3,0	6,0	-0,1	18,1	-13,3	76	74	79	150,3	50
Mar.	4,7	7,8	1,6	20,2	-8,2	76	74	80	171,1	46
Abr.	6,7	10,3	3,1	25,1	-6,7	72	66	76	223,0	56
Mai.	9,2	12,9	5,5	27,0	-3,5	72	67	77	247,1	55
Jun.	13,9	18,0	9,8	29,0	-0,8	64	59	71	320,0	71
Jul.	17,2	21,7	12,6	32,8	2,7	55	49	60	375,1	82
Ago.	17,0	21,5	12,6	31,6	1,7	55	49	60	336,6	79
Set.	14,3	18,2	10,4	29,4	0,6	65	59	70	243,1	63
Out.	9,6	12,8	6,5	25,2	-3,2	74	72	78	189,6	55
Nov.	5,6	8,4	2,9	21,2	-6,0	79	79	82	141,4	47
Dez.	3,2	6,0	0,4	17,1	-9,5	80	80	82	124,0	43
Ano	8,9	12,4	5,4	32,8	-13,3	71	67	75	2643,0	57

Estação meteorológica de Penhas Douradas (11L/10G) Guarda (Latitude - 40°25'N, Longitude - 7°33'W, Altitude - 1383 m)

Por análise da Tabela 12, conclui-se que a temperatura em termos de médias mensais está entre um valor mínimo de 2,4°C, registado em janeiro, e um valor máximo de 17,2°C em julho. A temperatura média anual registada é de 8,9°C. Este resultado está em linha com o apresentado no mapa da temperatura média do ar, do Atlas do Ambiente do Sistema Nacional de Informação de Ambiente (SNIAMB), apresentado na Fig.3.17. Ainda a partir do Atlas do Ambiente do SNIAMB obtém-se o mapa da insolação em Portugal Continental, apresentado na Fig.3.18, concluindo-se que os valores da insolação para a zona de estudo estão aproximadamente entre 2500 e 2700 horas de sol por ano, estando também em linha com os valores registados por Ferreira (1970), apresentados na Tabela 12.

Sobre a precipitação, apresentam-se na Tabela 13 os valores da precipitação mensal média para o período de 1931 a 1960, para a estação meteorológica de Penhas Douradas obtidos a partir de Ferreira (1970).

Tabela 13 - Precipitação mensal média para o período de 1931 a 1960 para a estação meteorológica de Penhas Douradas (Ferreira, 1970).

Precipitação mensal média de 1931 a 1960 (mm)													Anual
Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	
Total	273,8	189,6	258,2	143,4	146,7	66,8	25,2	27,0	82,1	154,4	261,8	325,3	1916,3

Entretanto disponibilizam-se também, os valores da precipitação mensal média para os anos hidrológicos de 2005 a 2024, da mesma estação meteorológica de Penhas Douradas obtidos a partir do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH, 2024), apresentados na Tabela 14.

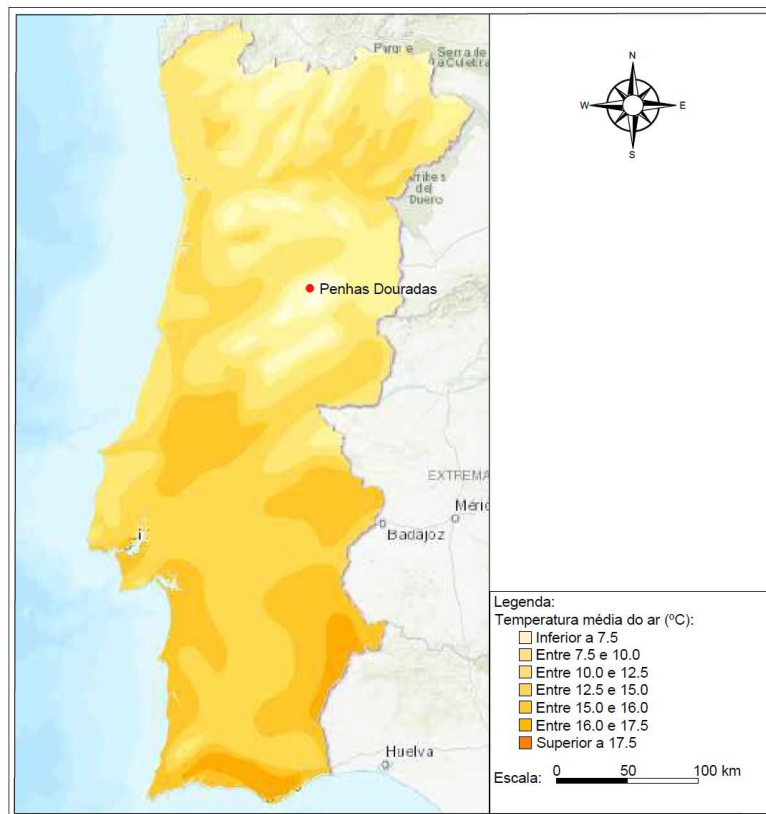


Figura 3.17 - Mapa da temperatura média do ar em Portugal Continental (adaptado do SNIAMB, 2024).

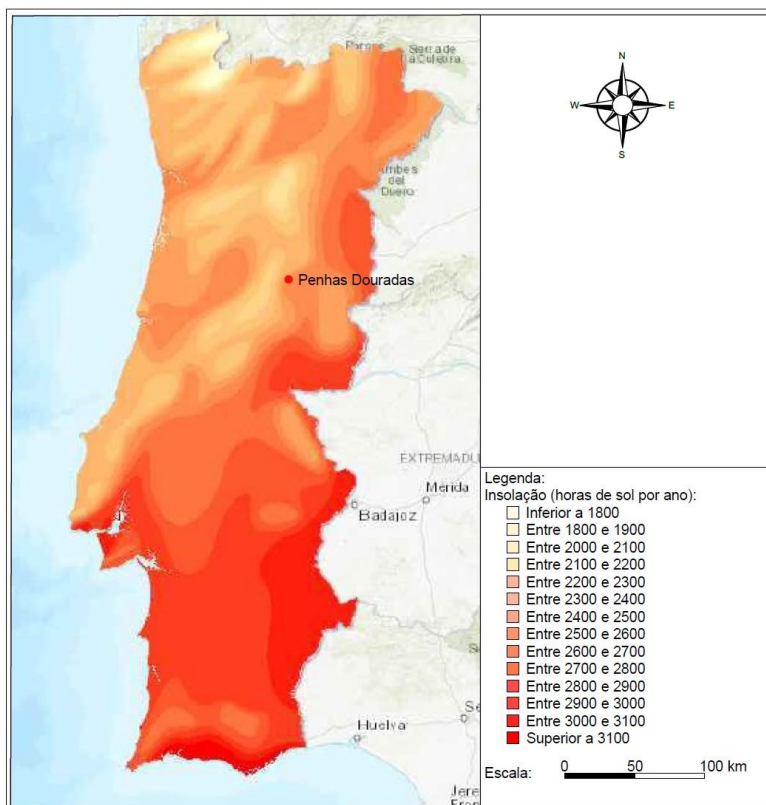


Figura 3.18 - Mapa da insolação em Portugal Continental (adaptado do SNIAMB, 2024).

Tabela 14 - Precipitação mensal média para anos hidrológicos de 2005 a 2024 da estação meteorológica de Penhas Douradas (11L/10G) (SNIRH, 2024).

Precipitação Mensal (mm)													Anual
Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	
Mínima	20,5	13,7	1,3	47,8	15,4	23,6	0,2	4,7	35,2	42,5	49,3	46,9	-
Média	177,5	116,3	99,1	135,3	83,5	36,1	4,95	19,25	83,1	186,5	313,8	175,5	1430,9
Máxima	417,3	445,3	501,5	279,4	226,2	105,2	23,8	24,6	110,3	531,3	641,7	677,3	-

A comparação dos registos mais antigos com os mais recentes, apresenta-se na Tabela 15 e Fig.3.19, sendo de enfatizar que na maioria dos meses no período mais recente tem ocorrido menos precipitação que no período mais antigo, no entanto é de registar que nos meses de outubro e novembro verifica-se o contrário, sendo meses de significativa precipitação.

Para efeitos de cálculo de balanço hidrológico sequencial mensal, entende-se usar a média das precipitações de ambos os períodos de registo, tal como se apresenta na Tabela 15 e Fig.3.19.

Tabela 15 - Precipitação mensal média (mm) para a estação meteorológica de Penhas Douradas para os períodos de registo disponíveis.

Período	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
1931 - 1960 (Ferreira, 1970)	273,8	189,6	258,2	143,4	146,7	66,8	25,2	27,0	82,1	154,4	261,8	325,3	1916,3
2005 - 2024 (SNIRH, 2024)	177,5	116,3	99,1	135,3	83,5	36,1	5,0	19,3	83,1	186,5	313,8	175,5	1430,9
Média - $P_M$ (mm)	225,7	153,0	178,7	139,4	115,1	51,5	15,1	23,1	82,6	170,5	287,8	250,4	1692,6

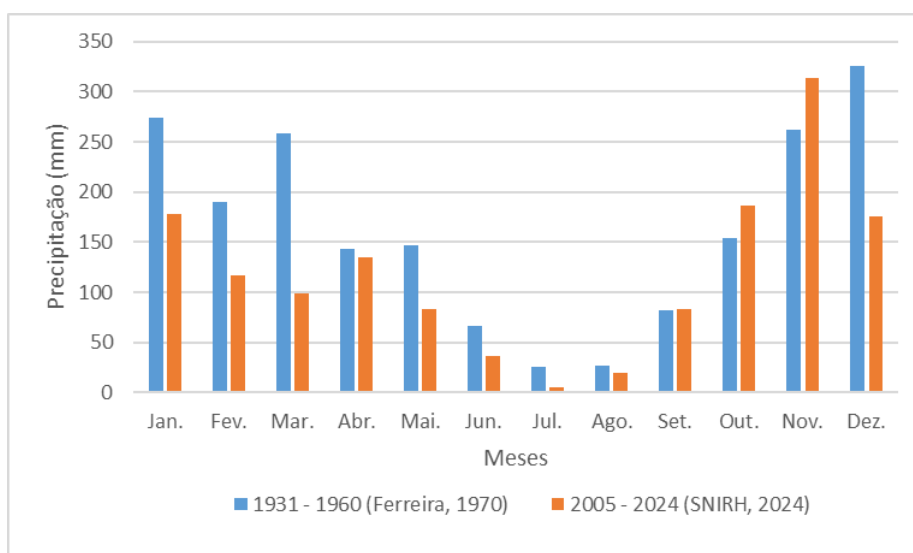


Figura 3.19 - Comparação da precipitação mensal média entre o período de 1931/1960 e o período de 2005/2024, a partir de registos na estação meteorológica de Penhas Douradas - 11L/10G.

O mapa da precipitação anual média, em quantidade total, foi obtido por consulta do visualizador do atlas do ambiente do Sistema Nacional de Informação de Ambiente (SNIAMB, 2024), e apresenta-se na Fig.3.20. Pela análise do mesmo mapa, verifica-se que

o local das Penhas Douradas, está de acordo com os valores médios anuais apresentados na Tabela 15, ou seja, um valor no intervalo de precipitação anual média entre 1400 e 2000 mm.

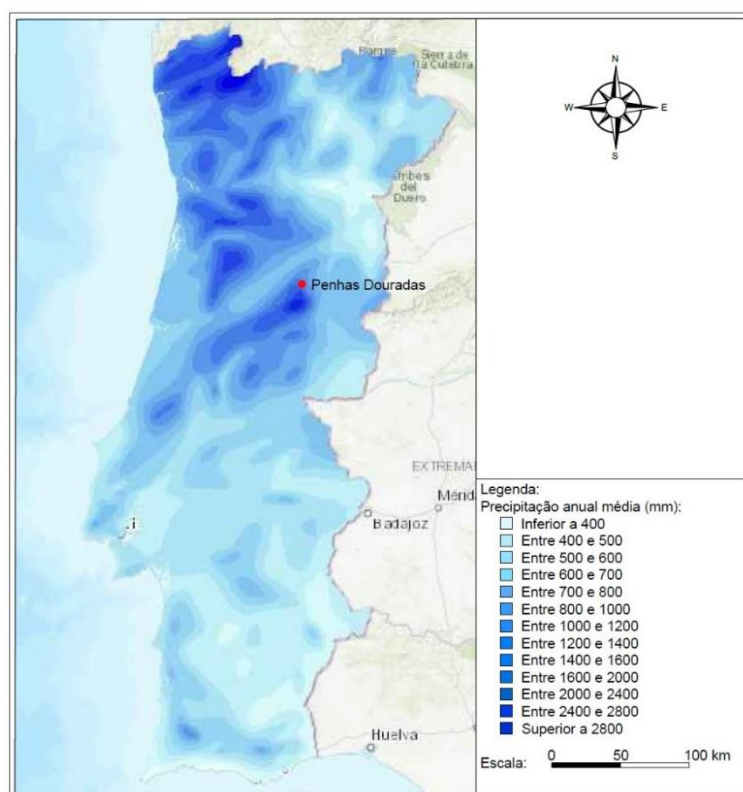


Figura 3.20 - Mapa da precipitação anual média em Portugal Continental (adaptado do SNIAMB, 2024).

O clima da Serra da Estrela é caracterizado na época de inverno por ser frio e húmido, sendo frequente a ocorrência de neve nas altitudes mais elevadas. Na época de verão o clima é seco. A precipitação anual média depende da altitude, sendo maior nos pontos mais altos.

## 3.6 Caracterização hidrológica

### 3.6.1 Balanço hidrológico

Para o cálculo do balanço hidrológico sequencial mensal utilizou-se o método de Thornthwaite e Mather, anteriormente descrito no subcapítulo 2.2 da presente dissertação de mestrado.

Para a determinação da evapotranspiração potencial - ETP, utilizaram-se as equações Eq.2.2 a Eq.2.6, e os dados das tabelas 1 e 15. Os resultados obtidos para a bacia hidrográfica da Nascente do Mondeguinho encontram-se na Tabela 16, sendo de salientar que, como precipitação ponderada se usaram os valores médios mensais da estação de Penhas Douradas, visto ser representativa para a zona de estudo, como verificado pelos polígonos de Thiessen (Fig.3.16).

Tabela 16 - Resultados do cálculo da evapotranspiração potencial mensal (ETP) a partir do método de Thornthwaite para a área em estudo da Nascente do Mondeguinho.

Parâmetro	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Pponderada (mm)	225,7	153,0	178,7	139,4	115,1	51,5	15,1	23,1	82,6	170,5	287,8	250,4
t (°C)	2,4	3,0	4,6	6,8	9,2	13,9	17,2	17,1	14,3	9,5	5,7	3,2
i (°C) <sup>1.5</sup>	0,32	0,45	0,87	1,59	2,50	4,64	6,35	6,30	4,84	2,62	1,20	0,51
ETPo (mm/mês)	11,7	14,7	22,7	34,0	46,2	70,0	86,5	86,0	72,0	47,7	28,2	15,9
K	0,80	0,89	0,99	1,10	1,20	1,25	1,23	1,15	1,04	0,93	0,83	0,78
ETP (mm/mês)	9,3	13,0	22,5	37,4	55,4	87,5	106,4	98,9	74,9	44,3	23,4	12,4
l=	32,18		a=	1,01								585,6

Para a determinação do balanço hidrológico sequencial mensal utilizaram-se as equações Eq.2.7 a Eq.2.14, e os dados da Tabela 16. Para o cálculo utilizou-se  $n_u = 100$  mm. Os resultados do balanço hidrológico sequencial mensal, da bacia hidrográfica da Nascente do Mondeguinho encontram-se na Tabela 17.

Tabela 17 - Resultados do método do Balanço Hidrológico sequencial mensal ( $L/m^2$ ) para a área em estudo da Nascente do Mondeguinho.

Termo	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
P	225,7	153,0	178,7	139,4	115,1	51,5	15,1	23,1	82,6	170,5	287,8	250,4	1692,6
ETP	9,3	13,0	22,5	37,4	55,4	87,5	106,4	98,9	74,9	44,3	23,4	12,4	585,6
P-ETP	216,3	139,9	156,2	101,9	59,7	-36,0	-91,3	-75,8	7,7	126,1	264,4	238,0	1107,0
L	-	-	-	-	-	-36,0	-127,4	-203,2	-	-	-	-	-203,2
Sso <sup>(*)</sup>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	69,7	28,0	13,1	20,8	100,0	100,0	100,0	-
VSso	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-30,3	-41,8	-14,9	7,7	79,2	0,0	0,0	-
ETR	9,3	13,0	22,5	37,4	55,4	81,7	56,8	98,9	74,9	44,3	23,4	12,4	530,2
DH	-	-	-	-	-	5,8	49,6	-	-	-	-	-	55,4
SH	216,3	139,9	156,2	101,9	59,7	-	-	-	-	46,9	264,4	238,0	1223,3

(\*) admite-se que nu se encontra integralmente satisfeito no início do período seco, ou seja, Sso=100mm, em maio.

Os valores de ETR anuais enquadram-se com o esperado pelo mapa da evapotranspiração real de Portugal Continental (Fig.3.21), conclui-se que o valor da evapotranspiração real anual está dentro do intervalo esperado de ETR de 500 a 600 mm.

O diagrama do balanço hidrológico sequencial mensal, com base nos resultados e cálculos na Tabela 17, para a zona da Nascente do Mondeguinho apresenta-se na Fig.3.22.

Pela análise dos resultados do balanço hidrológico sequencial mensal conclui-se que o período seco, que é identificado pelo défice hídrico - DH, decorre entre os meses de junho e julho. O período húmido que é identificado pelo superavit hídrico - SH, decorre entre os meses de outubro e maio do ano seguinte. O excesso máximo de água ocorre no mês de novembro. O valor anual de superavit hídrico é de 1223,3 mm, que indica que há um excedente de água, correspondendo a um valor positivo para a recarga do aquífero, indicando que há uma quantidade significativa de água disponível para infiltrar no solo e repor as reservas de água subterrânea.

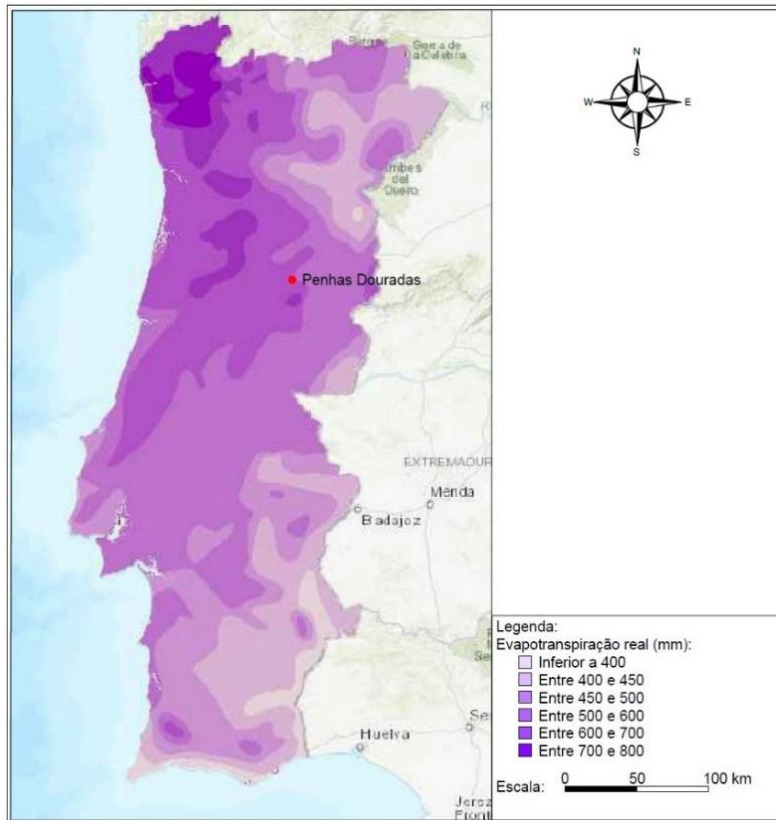


Figura 3.21 – Mapa da evapotranspiração real em Portugal Continental (adaptado do SNIAMB, 2024).

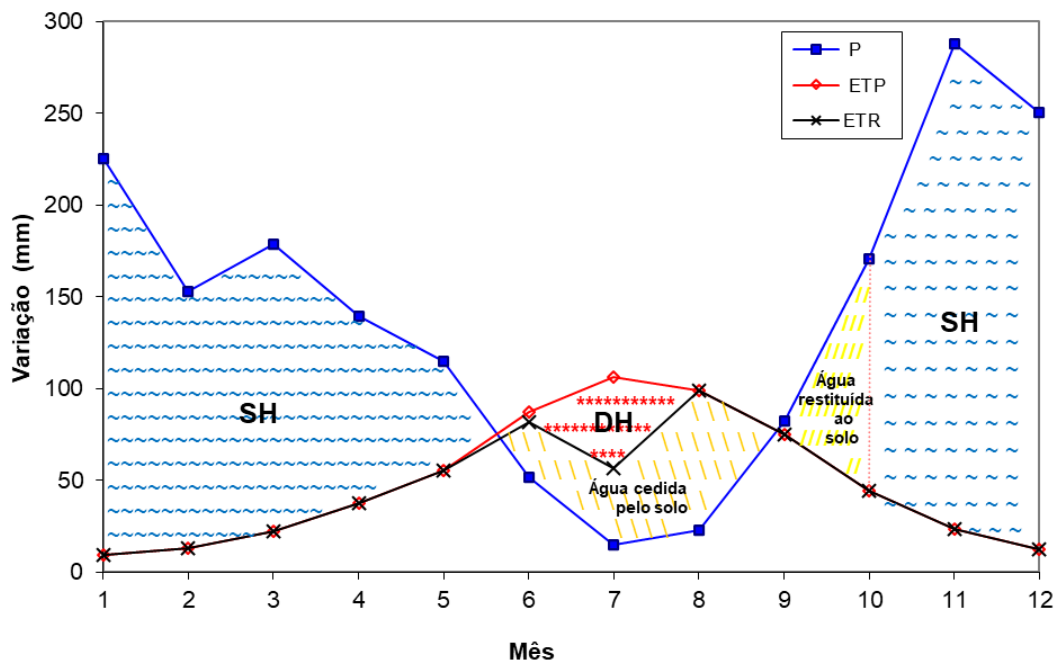


Figura 3.22 - Diagrama do balanço hidrológico sequencial mensal para a zona da Nascente do Mondeguinho.

### 3.6.2 Recarga de aquíferos

O superavit hídrico, obtido no balanço hidrológico (Tabela 17) divide-se em escoamento superficial (R) e escoamento subterrâneo (G), ou seja:

$$SH = R + G = 1223,3 \text{ mm}$$

Admitindo um G/SH de 35%, como típico em sistemas geológicos graníticos, obtém-se uma taxa de infiltração de recarga para as reservas hídricas de 428,16 mm/ano, assim o escoamento subterrâneo (G) é:

$$G = 428,16 \text{ (L/m}^2\text{)/ano}$$

O valor do escoamento subterrâneo (G) representa uma taxa de 25,3% em relação à precipitação total anual (1692,6 mm).

No sentido de se ter uma noção, mesmo que aproximada da água disponível para descarregar na Nascente do Mondeguinho, apresentam-se na Fig.3.23 as áreas da bacia da Nascente do Mondeguinho ( $A_{bNM}$ ), da bacia da represa do Vale de Rossim ( $A_{bVR}$ ), e da bacia do Rio Alva mais próxima da zona de estudo ( $A_{bRA}$ ).

Tendo em consideração os elementos geomorfológicos, topográficos e até geológicos, consideram-se à partida como área de recarga ( $A_R$ ), como o somatório da área da bacia da Nascente do Mondeguinho (0,051 km<sup>2</sup>), mais a área da bacia da represa do Vale de Rossim (5,03 km<sup>2</sup>), e ainda a área da bacia do Rio Alva mais próxima da bacia da Nascente do Mondeguinho (0,95km<sup>2</sup>). Com base nas mesmas, e considerando o valor de G, anteriormente apresentado, obtém-se os valores de caudal apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 – Estimativas sobre o caudal potencial da Nascente do Mondeguinho, considerando a recarga avaliada a partir do balanço hidrológico local (G=428,16 L/m/ano), e admitindo diferentes área à partida como potenciais de recarga.

Bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	L/ano	m <sup>3</sup> /ano	L/s	hm <sup>3</sup> /ano/km <sup>2</sup>
$A_{bNM}$	0,051	51000	21836160	21836	0,7	0,02
$A_{bVR}$	5,03	5030000	2153644800	2153645	68,3	2,15
$A_{bRA}$	0,95	950000	406752000	406752	12,9	0,41
$A_{bTotal}$	6,031	6031000	2582232960	2582233	81,9	2,58

Pelos valores apresentados e tendo em consideração a experiência dos valores registados ao longo de um ano hidrológico, durante o presente estudo, como no item seguinte se apresenta, pelos resultados, não se tem a menor dúvida, que o território que contribui, como área efetiva de recarga da Nascente do Mondeguinho, é de facto apenas a área da sua bacia. Ou seja a área de recarga efetiva ( $A_{RE}$ ), para abastecer a Nascente do

Mondeguinho é corresponde a 0,051 km<sup>2</sup>, levando a um caudal provável de 0,7 L/s médio ao longo do ano.

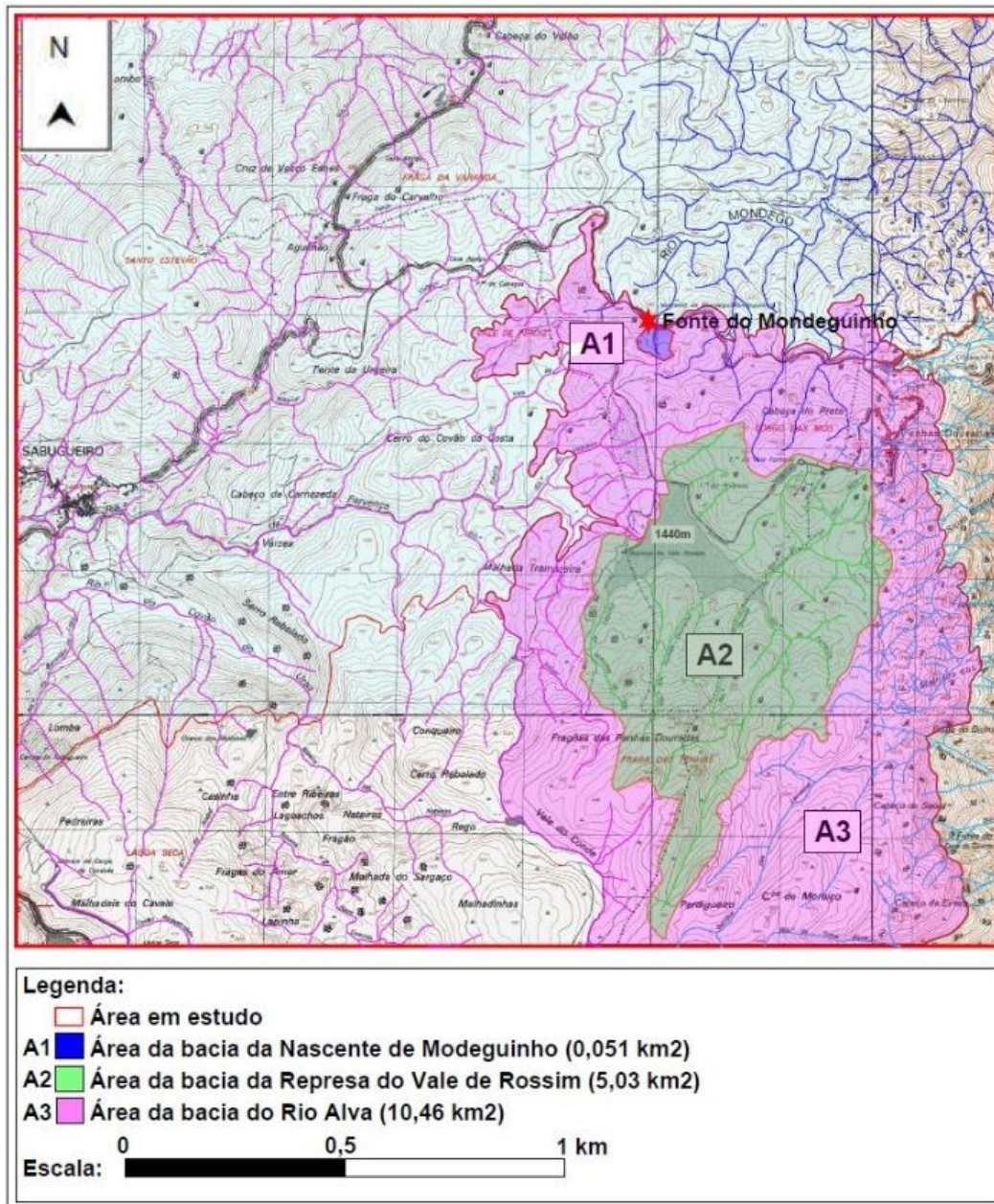


Figura 3.23 - Áreas de recarga potenciais (Adaptado dos SCE, cartas topográficas militares, folhas 201, 202, 212, 213, 223, 224, 234, 235, 245, 246 à escala 1:25000, 2024).

Na Fig.3.24 apresenta-se um mapa da disponibilidade hídrica dos aquíferos de Portugal Continental, que representa a distribuição e quantidade de água subterrânea disponível em diferentes regiões geográficas. Neste mapa é possível perceber a capacidade de armazenamento de água dos diferentes sistemas aquíferos, orientando para a zona do presente estudo um valor de 0,005 a 0,01 hm<sup>3</sup>/ano/km<sup>2</sup>, registe-se de uma ordem de grandeza relativamente próxima ao verificado para a Bacia da Nascente do Mondeguinho.

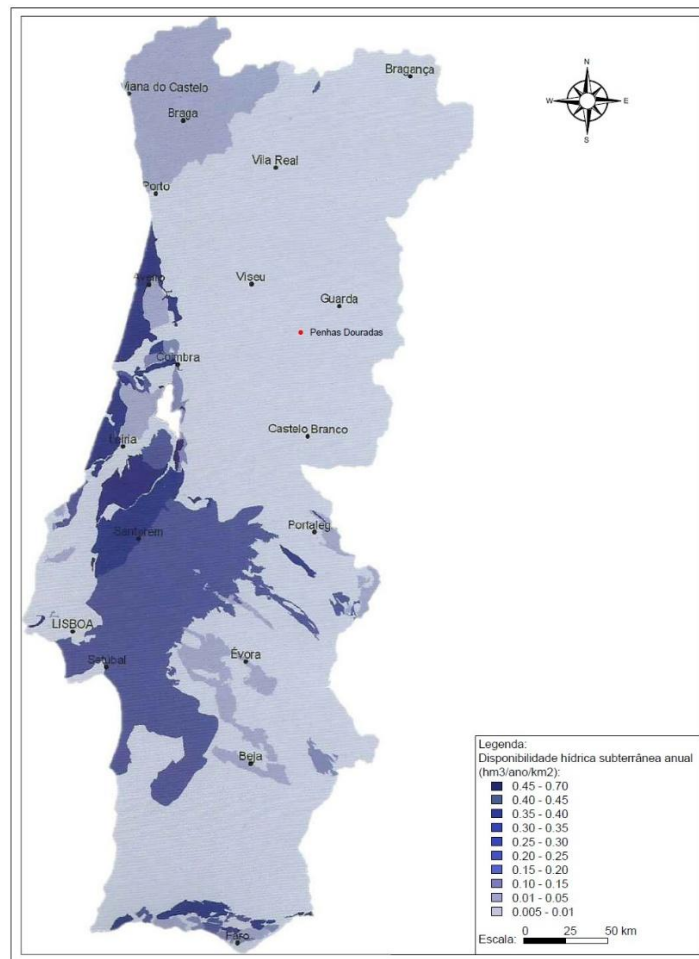


Figura 3.24 - Mapa da disponibilidade hídrica dos aquíferos de Portugal Continental (Ribeiro, 2003).

### 3.6.3 Quantidade e Qualidade da água da Nascente do Mondeguinho

#### 3.6.3.1 Parâmetros físico-químicos a partir de ensaios in situ

Para avaliar a qualidade da água subterrânea da Nascente do Mondeguinho mediram-se os parâmetros físico-químicos desde junho de 2024 a maio de 2025, para proceder a uma análise estatística e de seguida comparar estes valores com os padrões.

Os resultados das medições do caudal da Nascente do Mondeguinho encontram-se sintetizados na Tabela 19, e apresentam-se de uma forma gráfica na Fig.3.25. Os valores obtidos variaram de 0,07 L/s a 0,42 L/s, com o menor valor no mês de setembro e o maior no mês de novembro. Enfatiza-se que todos estes valores são muito modestos, nomeadamente o caudal menor, que corresponde quase a secagem da nascente, que se diga, a acontecer, seria muito grave, sobre o ponto de vista “psicológico”, pois esta nascente é “icónica” em termos nacionais, e além disso como se referiu anteriormente, atualmente está integrada no grupo de geossítios do Estrela Geopark, situação que leva a aumentar a sua procura e inclusive a tentativa de poder usufruir, bebendo, a água desta fonte.

Tabela 19 - Resultados das medições do caudal da Nascente do Mondeguinho.

Data	Caudal (L/s)
18/06/2024	0,17
22/07/2024	0,14
23/08/2024	0,10
24/09/2024	0,07
31/10/2024	0,18
21/11/2024	0,42
27/12/2024	0,19
27/01/2025	0,24
18/02/2025	0,26
25/03/2025	0,24
21/04/2025	0,28
21/05/2025	0,21

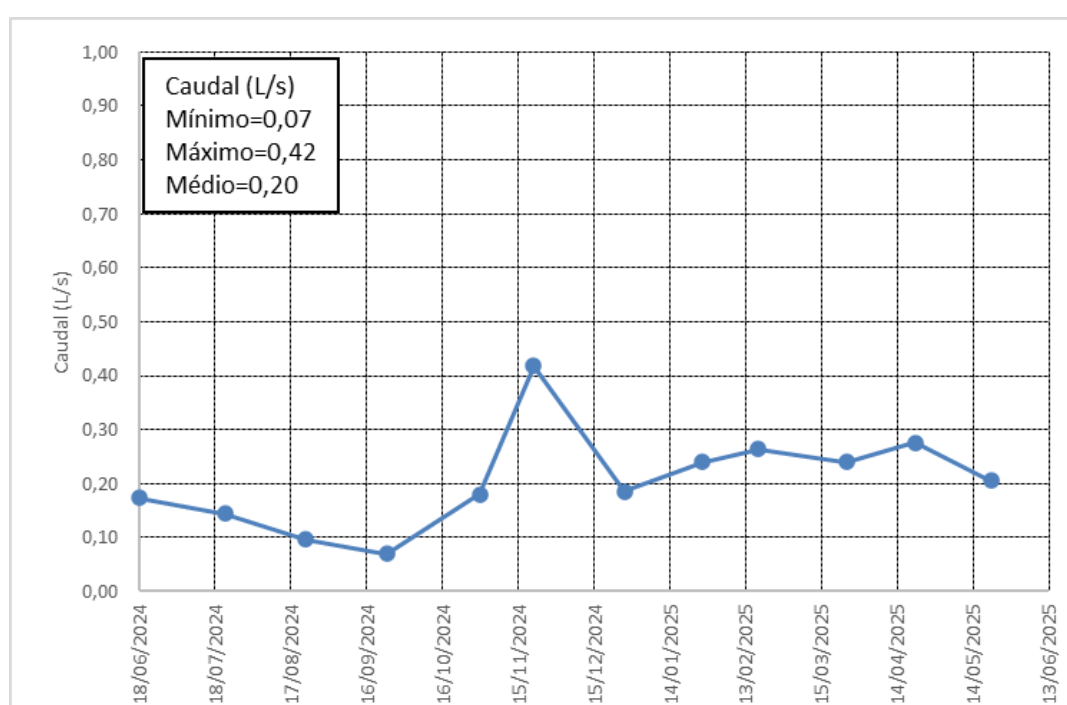


Figura 3.25 – Resultados gráficos dos registos do caudal da Nascente do Mondeguinho.

É importante, nesta fase mencionar, que todos os caudais registados ao longo do ano, são menores que o avaliado no item anterior, como um caudal médio de 0,7 L/s, ainda assim, se entende que são da mesma ordem de grandeza, e consistentes, pois é de assinalar que se tem a noção que o ano de 2024/25 foi um ano em termos globais de menores precipitações que o comum. De qualquer modo salienta-se que seria importante, comparar a evolução da precipitação ao longo do ano, com os valores médios considerados nos cálculos do balanço hidrológico, no entanto isso não foi possível, pois esses dados ainda não estão disponíveis.

Os parâmetros físico-químicos da água da Nascente do Mondeguinho obtidos foram a temperatura (T), a condutividade elétrica (C), o total de sólidos dissolvidos (TDS), o pH e o

potencial redox (Eh); estes encontram-se sintetizados nas tabelas 20 e 21, e apresentam-se graficamente nas figuras 3.26 a 3.30. Salienta-se que para a apresentação gráfica das figuras 3.26 a 3.30 utilizaram-se apenas os parâmetros obtidos com a sonda Hanna, por ter sido um equipamento adquirido para o presente projeto, tendo possibilitado o registo mais completo dos parâmetros obtidos.

Tabela 20 - Resultados dos parâmetros físico-químicos para a área em estudo da Nascente do Mondeguinho.

Data	Aparelho - Eutech			Sonda Hanna				
	T (°C)	C (µs/cm)	TDS (mg/L)	T (°C)	C (µs/cm)	TDS (mg/L)	pH (-)	eH (mv)
18/06/2024	8,9	25,0	23,0	9,0	23,0	11,0	6,57	24,1
22/07/2024	11,6	23,2	21,6	11,6	20,0	10,0	6,63	21,0
23/08/2024	10,4	23,6	22,2	10,3	22,0	11,0	6,59	23,5
24/09/2024	10,1	24,2	22,7	10,2	23,0	11,0	6,60	23,0
31/10/2024	9,8	23,5	22,1	9,7	22,0	11,0	6,27	42,3
21/11/2024	9,6	22,4	21,0	9,7	21,0	11,0	6,31	39,4
27/12/2024	5,0	22,5	21,1	4,9	21,0	11,0	6,35	37,1
27/01/2025	4,0	19,0	17,8	4,1	17,0	9,0	6,08	53,0
18/02/2025	5,0	26,2	24,6	5,1	24,0	12,0	6,34	36,1
25/03/2025	7,5	20,5	19,4	7,5	20,0	10,0	6,01	55,3
21/04/2025	7,7	18,4	17,4	7,8	18,0	9,0	6,08	50,7
21/05/2025	8,3	20,2	19,1	8,4	19,0	10,0	6,37	35,0

Tabela 21 - Resultados estatísticos dos parâmetros físico-químicos para a área em estudo da Nascente do Mondeguinho.

	Condutividade elétrica - C (µs/cm)	Temperatura - T (°C)	Total de Sólidos Dissolvidos - TDS (mg/L)	pH	Potencial redox - Eh (mV)
Nº de ensaios	24	24	24	12	12
Valor mínimo	17,0	4,0	9,0	6,01	21,0
Valor médio	22,0	8,7	14,7	6,35	36,6
Valor máximo	26,2	11,6	24,6	6,63	55,3

Em relação à temperatura os valores variaram entre 4,0 e 11,6, com o menor valor no mês de janeiro e o maior no mês de julho, sendo o valor médio anual de 8,7°C. Comparando estes registos de temperatura da água da Nascente do Mondeguinho, com os valores da temperatura ambiental (Tabela 12), enfatiza-se o facto do valor da temperatura da Nascente do Mondeguinho ser muito próximo ao verificado para a temperatura ambiental média anual de 8,9°C.

Em relação à evolução da condutividade verificam-se algumas mudanças nos seus parâmetros, com o mínimo de 17,0 µs/cm e o máximo de 26,2 µs/cm com o menor valor

no mês de janeiro e o maior no mês de fevereiro e um valor médio de 22,0  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . Estes valores sendo todos muito baixos, orientam para uma água de muito baixa mineralização.

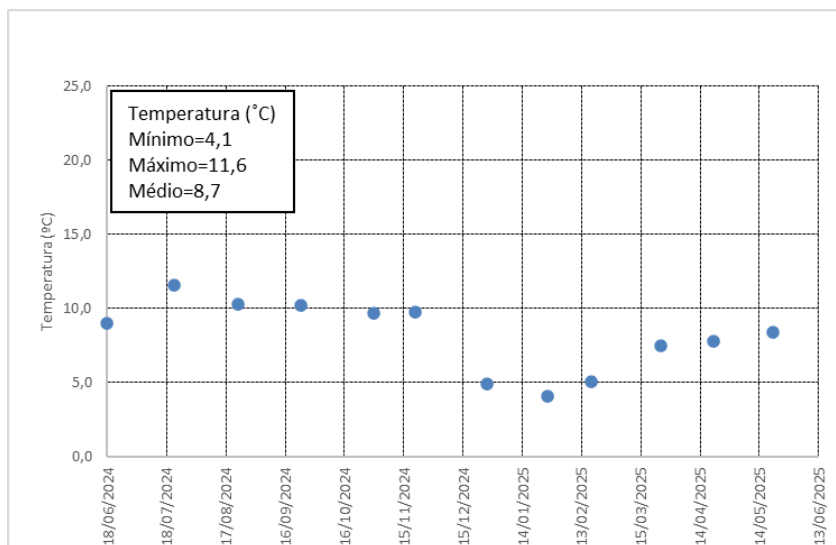


Figura 3.26 - Resultados gráficos dos registos da temperatura da Nascente do Mondeguinho.

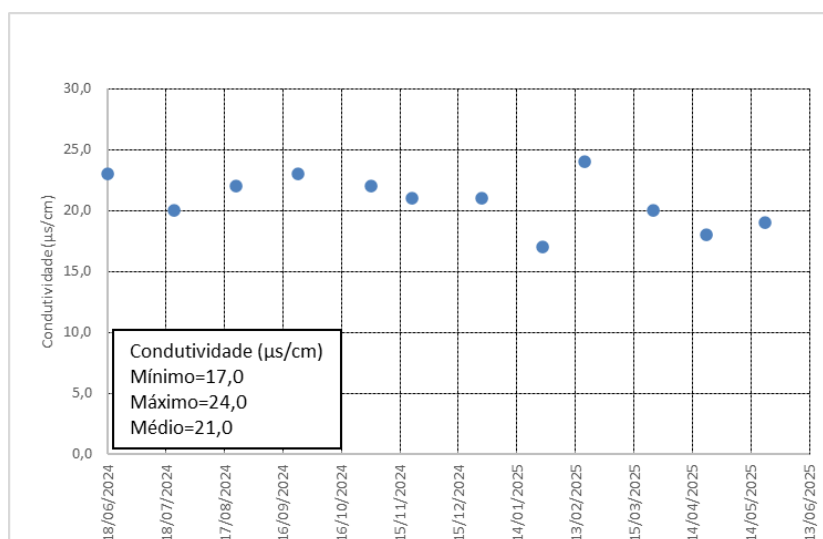


Figura 3.27 - Resultados gráficos dos registos da condutividade da Nascente do Mondeguinho.

Relativamente ao total de sólidos dissolvidos (TDS) o valor mínimo é de 9,0 mg/L em janeiro, o valor máximo de 24,6 mg/L em fevereiro e um valor médio de 14,7 mg/L.

O caso do pH mostra haver pouca mudança ao longo do ano, sendo o valor mínimo 6,01 em março, e o valor máximo 6,63 em julho, e um valor médio de 6,35.

Por fim, já em relação ao potencial redox os valores tiveram uma variação significativa em que variaram entre o mínimo de 21,0 mV e o máximo de 55,3 mV com o menor valor no mês de julho e o maior no mês de março, e um valor médio de 36,6 mV, orientando que são águas ricas em oxigénio.

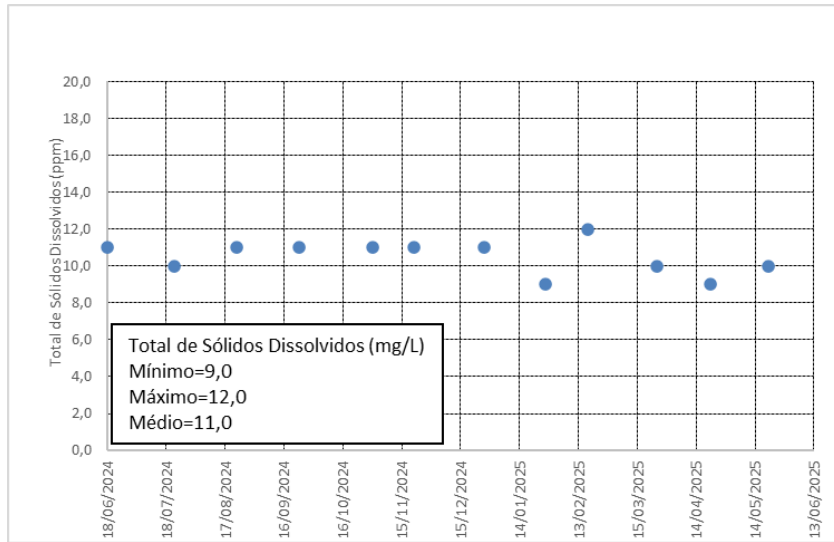


Figura 3.28 - Resultados gráficos dos registos do total de sólidos dissolvidos da Nascente do Mondeguinho.

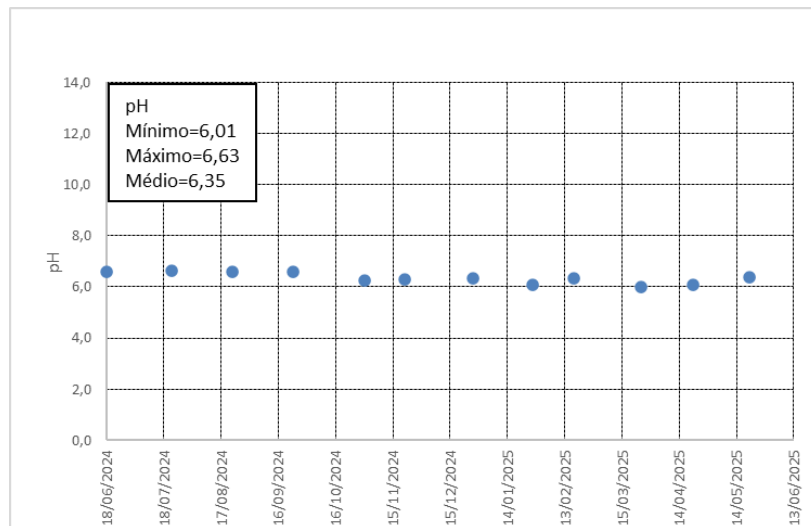


Figura 3.29 - Resultados gráficos dos registos do pH da Nascente do Mondeguinho.

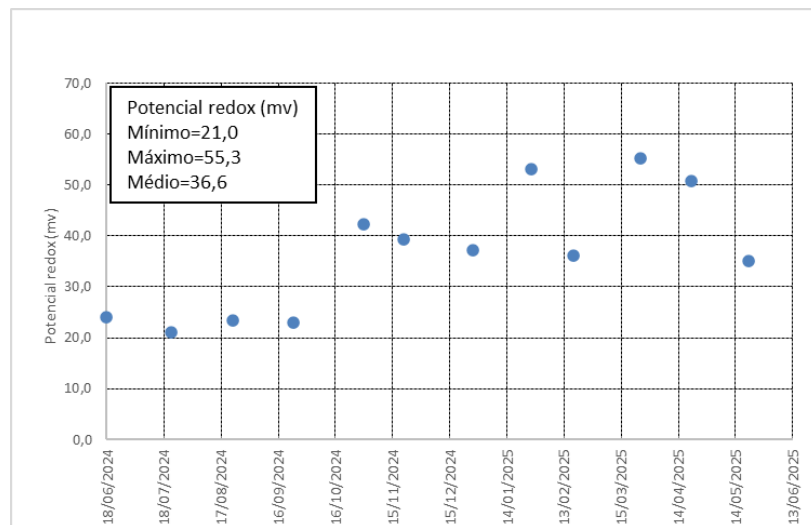


Figura 3.30 - Resultados dos registos do potencial redox da Nascente do Mondeguinho.

### 3.6.3.2 Parâmetros físico-químicos e microbiológicos a partir de ensaios de laboratório

Realizou-se uma análise físico-química e uma análise microbiológica da água da Nascente do Mondeguinho, no laboratório de monitorização e investigação ambiental da Escola Superior de Tecnologia e Gestão da Guarda, para saber se é adequada para consumo humano, além de possibilitar a classificação em relação à sua composição. Recolheram-se duas amostras em 2 garrações de 6l de água da fonte da Nascente do Mondeguinho para as análises físico químicas. Recolheram-se ainda duas amostras em frascos esterilizados para as análises microbiológicas, e mantiveram-se em uma mala térmica a uma temperatura de cerca de 2 graus até ao procedimento da análise. As análises apresentam-se em dois boletins separados, um para as físico-químicas e outro para as análises microbiológicas, e os resultados encontram-se nas tabelas 22 e 23. Apresentam-se com detalhe os resultados dos boletins da análise físico-química e microbiológica em anexo.

Tabela 22 - Resultados das análises de água físico-químicas.

Aparência (Método Interno)	Cristalina	-
Cor (Std Mth. 2120B)	< 5	NTU
Cheiro (Std Mth. 2150B)	N.D.	-
Depósito (Método Interno)	N.D.	-
pH (Potenciometria)	6	Escala de Sorensen
Alcalinidade (Std Mth. 2320B)	7,3	mg/L $CaCO_3$
Resíduo seco 180°C (Método Interno)	15	mg/L
Dureza (Método Interno)	3,2	mg/L $CaCO_3$
Conductividade eléctrica (NP EN 27888)	37,9	$\mu S/cm$ a 20° C
Resistividade (Método Interno)	0,03	M $\Omega.cm$ a 25°C
Sílica (Método Interno)	6,3	mg/L $SiO_2$
Cloretos (ISO 10304)	3,9	mg/L Cl
Nitratos (ISO 10304)	1,2	mg/L $NO_2$
Sulfatos (ISO 10304)	0,8	mg/L $SO_2$
Nitritos (ISO 10304)	0,3	mg/L $NO_2$
Fluoretos (ISO 10304)	< 0,1	mg/L F
Bicarbonatos (Std Mth. 2320B)	3,2	mg/L $CaCO_3$
Sódio (ISO 9964-1)	4,8	mg/L Na
Potássio (ISO 9964-2)	0,7	mg/L K
Cálcio (ISO 7980)	0,9	mg/L Ca
Magnésio (ISO 7980)	0,4	mg/L Mg
Mineralização total (Método Interno)	19,4	mg/L
Ferro total (Método Interno)	3,7	$\mu g/L$ Fe
Oxidabilidade (Método Interno)	0,7	mg/L $O_2$
Azoto amoniacal (Método Interno)	0,03	mg/L $NH_4 - N$

Nota: N.D. - Não Detetado

Tabela 23 - Resultados das análises de água microbiológicas.

Análise (método analítico)	Resultados	Unidades
Clostrídios sulfito redutores (NP EN 26461-2)	N.D.	U.F.C./100 ml
Coliformes totais (ISO 9308-1)	> 100	U.F.C./100 ml
E. coli (ISO 9308-1/Recomendação IRAR nº 05/2005)	70	U.F.C./100 ml
Enterococos intestinais (ISO 7899-2)	3	U.F.C./100 ml
Microrganismos viáveis - 22°C (ISO 6222)	> 100	U.F.C./ml
Microrganismos viáveis - 37°C (ISO 6222)	36	U.F.C./ml
Pseudomonas aeruginosa (EN 12780)	N.D.	U.F.C./100 ml

Nota: N.D. - Não Detetado

### 3.6.3.3 Classificação da água da Nascente do Mondeguinho

Por análise dos resultados das análises físico-químicas, permite-se obter as seguintes conclusões em relação à classificação da água da Nascente do Mondeguinho, quanto aos seguintes parâmetros:

Quanto ao parâmetro do pH a água da Nascente do Mondeguinho é classificada como sendo uma **água ácida**, dado que o valor de pH obtido nas análises físico-químicas de laboratório é de 6 na escala de Sorensen que é menor que 7. Esta situação está em convergência com todos os resultados obtidos *in situ* (Tabela 20) sempre inferiores a 7.

Quanto ao parâmetro da dureza total a água da Nascente do Mondeguinho é classificada como sendo uma **água branda**, pois obteve-se um valor de 3,2 (mg/L CaCO<sub>3</sub>) que é menor que 50 (mg/L CaCO<sub>3</sub>) como está de acordo com a Tabela 7.

Em relação ao parâmetro do resíduo seco a água da Nascente do Mondeguinho é classificada como uma **água doce**, pois obteve-se um valor de 15 (mg/L) que está entre 0 e 2000 (mg/L) como está de acordo com a Tabela 8.

Em relação ao parâmetro da mineralização total a água da Nascente do Mondeguinho é classificada como sendo uma **água hipossalina**, pois obteve-se no ensaio de laboratório o valor de 19,4 (mg/L) que é menor que 200 (mg/L) como está de acordo com a Tabela 9. Aquele valor está convergente com todos aqueles valores de TDS obtidos *in situ* (Tabela 20), pois este parâmetro é aproximadamente igual à mineralização total. A classificação como hipossalina, para a água da Nascente do Mondeguinho foi também apresentada no trabalho de Gonçalves Belgas (2019) na Tabela 11.

Sob o ponto de vista iónico, tendo em atenção que os elementos com maior representatividade esta água classifica-se como **bicarbonatada sódica**, pois apresenta 3,2 mg/L de Bicarbonatos e 4,8 mg/L de Sódio.

Por fim, sob o ponto de vista químico, menciona-se que pelos parâmetros pesquisados e seus resultados, que estão abaixo dos limites máximos admissíveis para garantir água potável para consumo humano (D.L.2007c) a água da Nascente do Mondeguinho, quimicamente é adequada para beber.

As análises microbiológicas da água da Nascente do Mondeguinho revelaram um resultado positivo para a presença de coliformes totais, com bactérias *Escherichia coli* (*E. coli*) o que pode ter implicações na saúde pública. Assumindo que durante a recolha da amostra de água e na realização das análises em laboratório não existiram erros de procedimento e que o resultado está correto, conclui-se que a água da Nascente do Mondeguinho se encontra microbiologicamente ***imprópria para consumo humano***.

Salienta-se que tendo em consideração a exposição pública daquela fonte, com uma afluência frequente à mesma por todos os cidadãos, urge fazer algo, no sentido de garantir a qualidade microbiológica daquela água, na própria fonte. Uma das possibilidades será impor uma zona de proteção, de modo ao não afluir à zona a montante da mesma, quer por animais selvagens, quer mesmo por pessoas, que devido a situações circunstanciais, por vezes usam a zona, em substituição de casa de banho.

#### **3.6.4 Modelo conceptual de escoamento subterrâneo**

O modelo conceptual do sistema aquífero da região em estudo é importante, pois desde logo permite orientar sobre tomadas de decisões de zonas mais favoráveis para fazer captações, de que tipo, bem como apoia na otimização da zona de proteção das mesmas. Considerando os resultados e estudos anteriores, desde logo geomorfológicos, geológicos, e ainda os hidrogeológicos, nomeadamente a convergência que a Nascente do Mondeguinho será abastecida fundamentalmente por precipitação que caia na sua própria bacia, resulta o esquema de princípio apresentado na Fig.3.31. Consideram-se dois tipos de situações, para a precipitação que cai no território: i) recarga em profundidade, com um trajeto subterrâneo muito curto, na ordem das dezenas de metros, ressurgindo em locais da própria sub-bacia ou bacia; é o caso da Nascente do Mondeguinho; ii) recarga em profundidade, com um trajeto subterrâneo relativamente longo a muito longo, em que a água vai percolando em movimento descendente ao longo do sistema rochoso fraturado, com predominância ao longo de filões, e com condicionamento de barreiras por falhas geológicas; estes fluidos, vão com grande probabilidade abastecer os sistemas aquíferos profundos, com águas muito mais mineralizadas do que a água da Nascente do Mondeguinho, e ressurgem naturalmente com grande probabilidade em outras bacias que aquelas que serviram de infiltração inicial.

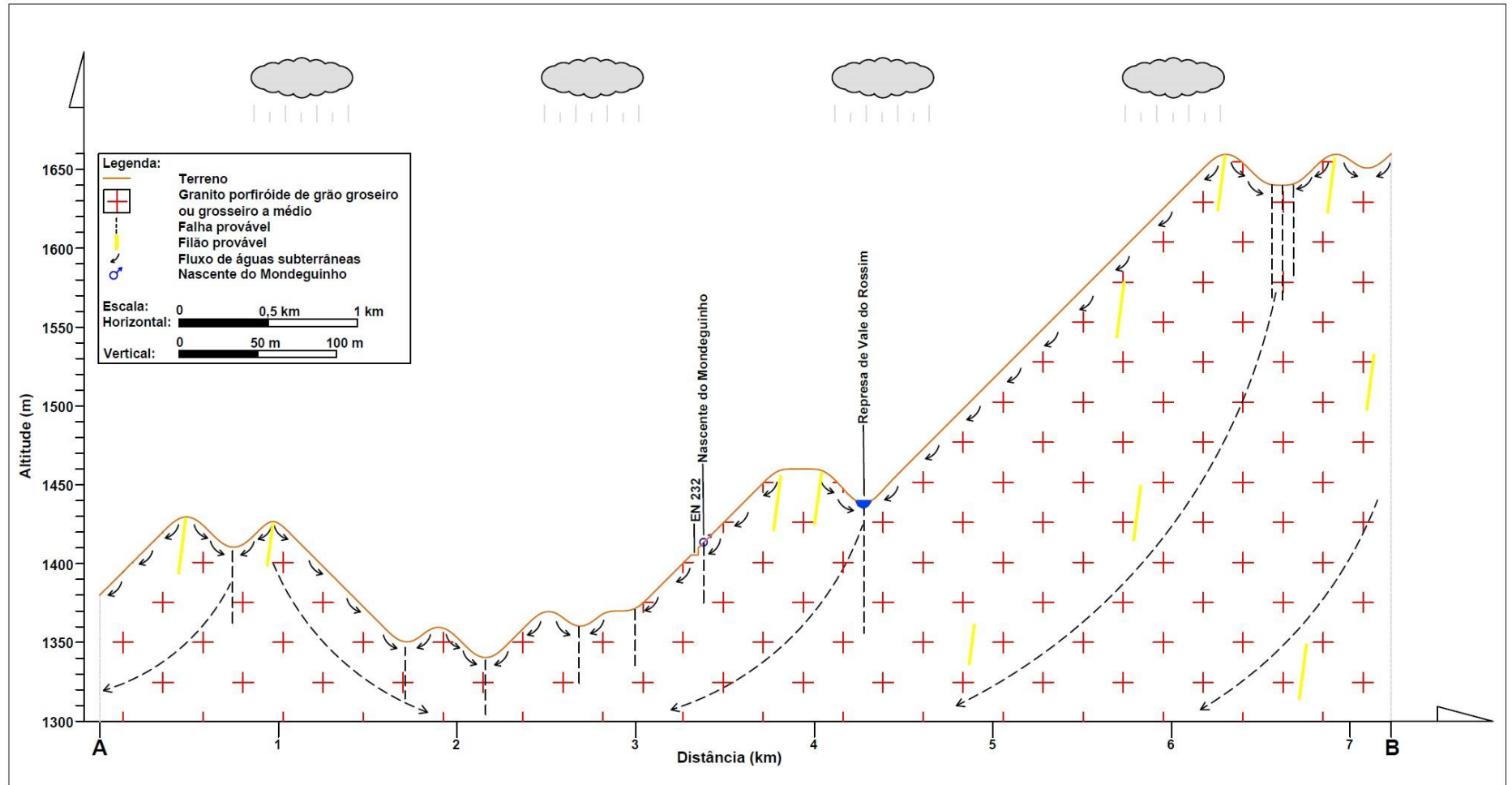


Figura 3.31 - Esboço do modelo hidrogeológico da zona em estudo (ver localização do corte A-B na Fig.3.2).

### 3.6.5 Otimização do Perímetro de Proteção da Nascente do Mondeguinho

Como se apresentou nos itens anteriores, a Nascente do Mondeguinho ocupa um lugar especial no panorama português, não só porque é considerado o “ponto mais especial” da bacia hidrográfica do maior rio de percurso total em território português, como ainda está considerado como um geossítio integrado no Estrela Geopark, património mundial da UNESCO. Por outro lado como se viu, sendo uma água físico-quimicamente adequada em termos de consumo humano, pois é relativamente similar à água de engarrafamento de “Serra da Estrela” e Glaciar, mas, apresenta-se imprópria em termos microbiológicos, orientando esta situação para a necessidade de impor um perímetro de proteção (PP) desta captação, não só no sentido de **preservação da qualidade do seu recurso como património geológico**, como também no sentido de se obter este **recurso adequado totalmente em termos de saúde pública**, para permitir até ser bebido e saboreado, aquando da sua visita.

Assim, neste item apresenta-se o estabelecimento do PP seguindo o método de Mendes (2006) apresentado no item 2.8. A este respeito, para o PP resultar o mais perfeito possível, deveria se disponibilizar do projeto da captação correspondente à Nascente do Mondeguinho, no entanto, após pesquisa intensa na literatura, inclusive após constatação de nada se encontrar nos arquivos da Câmara Municipal de Gouveia, admite-se a situação da captação ser considerada uma Nascente no local imediatamente atrás do fontanário. Nos sub-itens que se seguem explanam-se os aspetos teóricos de base da solução de PP em proposta para a Nascente do Mondeguinho.

#### 3.6.5.1 Parâmetros para a determinação do Perímetro de Proteção

Os Parâmetros a utilizar para a determinação do PP da captação da Nascente do Mondeguinho segundo o Decreto-Lei 382/99 e o Método de Wyssling, harmonizados com o método de Mendes (2006), são de acordo com o apresentado de seguida.

O caudal de exploração (Q), que à partida se iria considerar, seria o caudal médio medido ao longo do ano, de 17,3 m<sup>3</sup>/d (0,20 L/s). No entanto como se antevê que no futuro a captação será melhorada e permitirá obter um caudal superior ao obtido este ano, admite-se que o caudal aumentará cerca de 30%, ou seja, ter-se-á um valor de 0,26 L/s (Q=22,5=m<sup>3</sup>/d).

O tempo necessário para o poluente atingir a captação  $t_n$ , considera-se de 1 dia, 50 dias e 3500 dias para a zona de proteção imediata, intermédia e alargada respetivamente.

Em relação à porosidade efetiva ( $n_e$ ), utiliza-se o valor de  $n=0,002$  em linha com o apresentado na Tabela 4 de acordo com Lencastre e Franco (2006) sendo ainda de salientar que este valor está em concordância com o apresentado no decreto-lei 382/99 (DL 1999) para os terrenos do tipo 5 que inclui os tipos de rochas graníticas.

Em relação à espessura saturada do aquífero (H), adota-se o valor da diferença entre a cota da Represa do Vale de Rossim e a cota da Nascente do Mondeguinho, sendo assim igual a  $H = 30$  m, admitindo que no limite poderá haver contributos de recarga a partir da represa.

Sobre a condutividade hidráulica (k), considera-se o valor de  $3,2 \times 10^{-6}$  m/s, considerado valor típico para formações graníticas (Davis, 1969), tal como fez Mendes (2006) ao fazer o cálculo dos perímetros de proteção para as captações de água subterrânea para a zona da Covilhã em situações idênticas. Aquele valor corresponde, em termos do equivalente a maciços terrosos, ao intervalo típico de areia siltosa, segundo Lencastre e Franco (2006), apresentado na Tabela 5.

Sobre o gradiente hidráulico ( $i_{gh}$ ), correspondente ao declive da superfície freática, é considerado o declive médio entre a cota da Represa do Vale de Rossim e a cota da Nascente do Mondeguinho, sendo,  $i_{gh} = 0,003$ .

### **3.6.5.2 Proposta de Perímetro de Proteção**

O PP a estabelecer para a Nascente do Mondeguinho, de acordo com as leis portuguesas, e seguindo as orientações científicas internacionais, será, portanto, constituído por três zonas: Zona de Proteção Imediata (ZPI<sub>m</sub>), Zona de Proteção Intermédia (ZPI<sub>n</sub>), e Zona de Proteção Alargada (ZPA). Seguindo a metodologia como já se referiu, explanada com detalhe no item 2.8, e com base nos parâmetros da zona de estudo, apresentados no item anterior, resultam os cálculos apresentados nas tabelas 24 e 25, que permitem os vários ensaios gráficos e propostas finais como apresentado nas Fig.3.32 a Fig.3.36. De todos os elementos apresentados, no estabelecimento das soluções finais, salienta-se o facto, por questões de segurança, na otimização de ZPI<sub>n</sub> e ZPA, se ter dado prioridade ao critério geomorfológico, alargando as áreas, para zonas mais a montante, que a resultante dos cálculos pelos outros métodos, acautelando as zonas potenciais de recarga.

A solução final, para as diferentes zonas, apresenta-se na Fig.3.36, sendo de enfatizar as áreas das várias zonas de acordo com o seguinte:

-ZPI<sub>m</sub> = 0,0011 km<sup>2</sup>; ZPI<sub>n</sub> = 0,1304 km<sup>2</sup>; ZPA = 2,8161 km<sup>2</sup>.

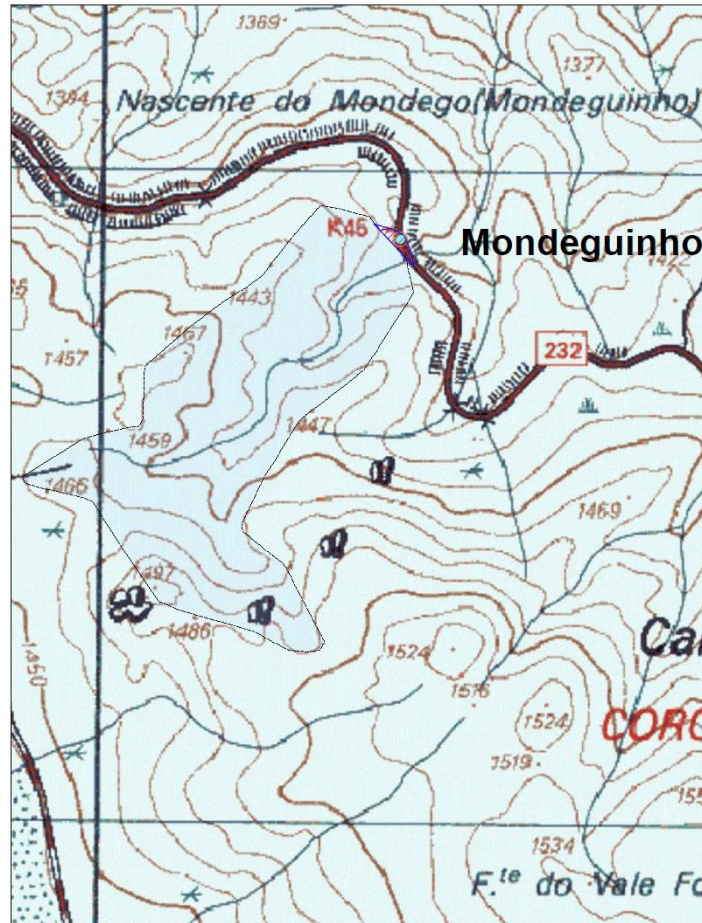


Figura 3.32 – Ensaio de ZPIIm em extrato do mapa militar com inclusão da bacia hidrográfica da Nascente do Mondeguinho.



Figura 3.33 - Estabelecimento da ZPIIm da Nascente do Mondeguinho no Google Earth (Adaptado do Google Earth, 2025).

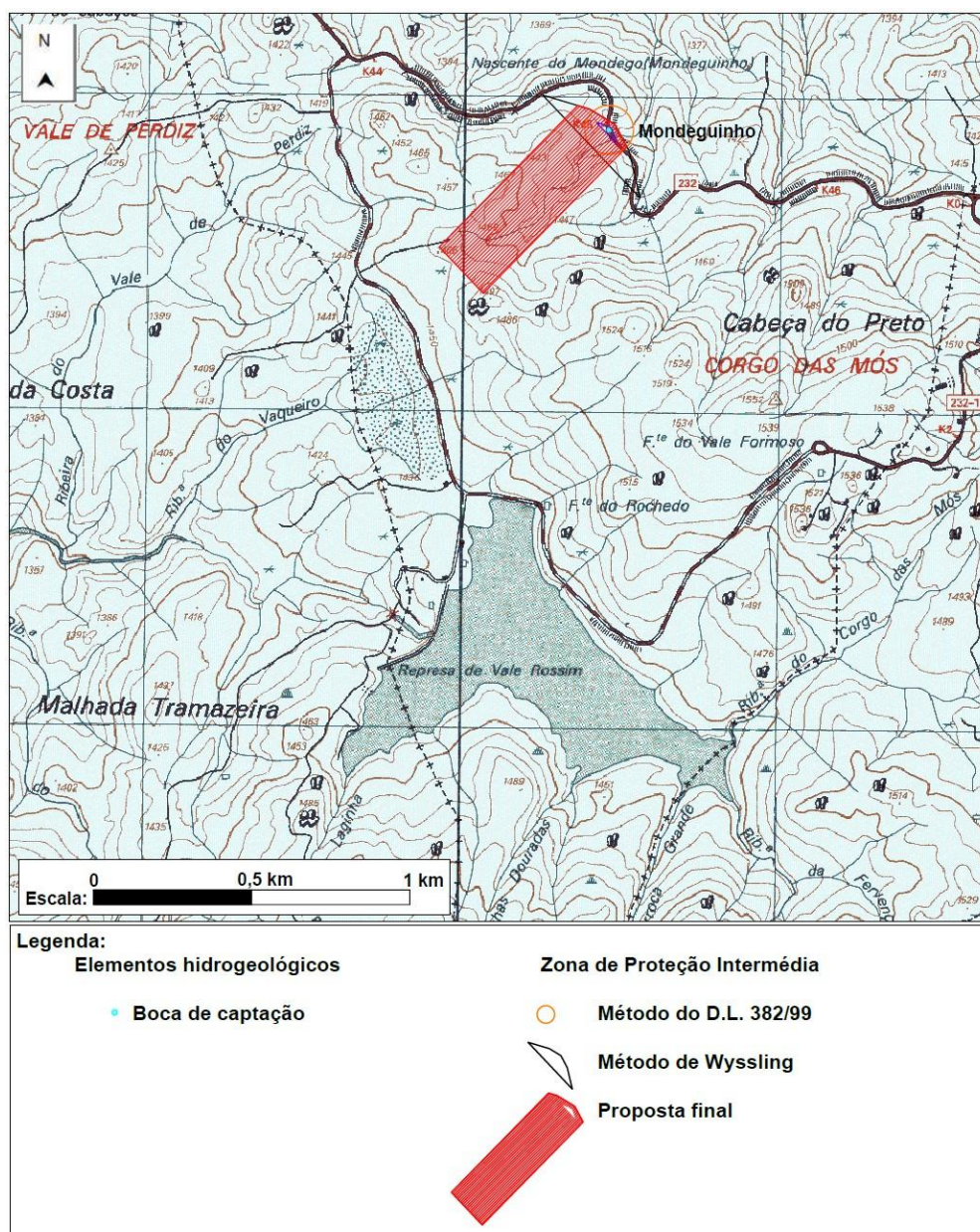


Figura 3.34 - Estabelecimento da ZPI da Nascente do Mondeguinho.

Tabela 24 – Resultados da aplicação do método do Decreto-Lei 382/99 para as várias zonas de proteção da Nascente do Mondeguinho.

Zona de Proteção	Q (m <sup>3</sup> /d)	Tempo	n	H	r(Q)
ZPI <sub>m</sub>	22,5	1	0,002	30	11
ZPI <sub>n</sub>	22,5	50	0,002	30	77
ZPA	22,5	3500	0,002	30	646

Tabela 25 - Resultados da aplicação do método Wyssling para as várias zonas de proteção da Nascente do Mondeguinho.

Zona de Proteção	Q (m <sup>3</sup> /d)	Tempo (d)	n (-)	H (m)	k (m/d)	i (-)	B (m)	X0 (m)	B' (m)	ve (m/d)	l (m)	montante S0 (m)	jusante Su (m)
ZPI <sub>m</sub>	22,5	1	0,002	30	0,28	0,03	90	14	45	4	4	13	9
ZPI <sub>n</sub>	22,5	50	0,002	30	0,28	0,03	89	14	45	4	210	235	25
ZPA	22,5	3500	0,002	30	0,28	0,03	89	14	45	4	14700	14728	28

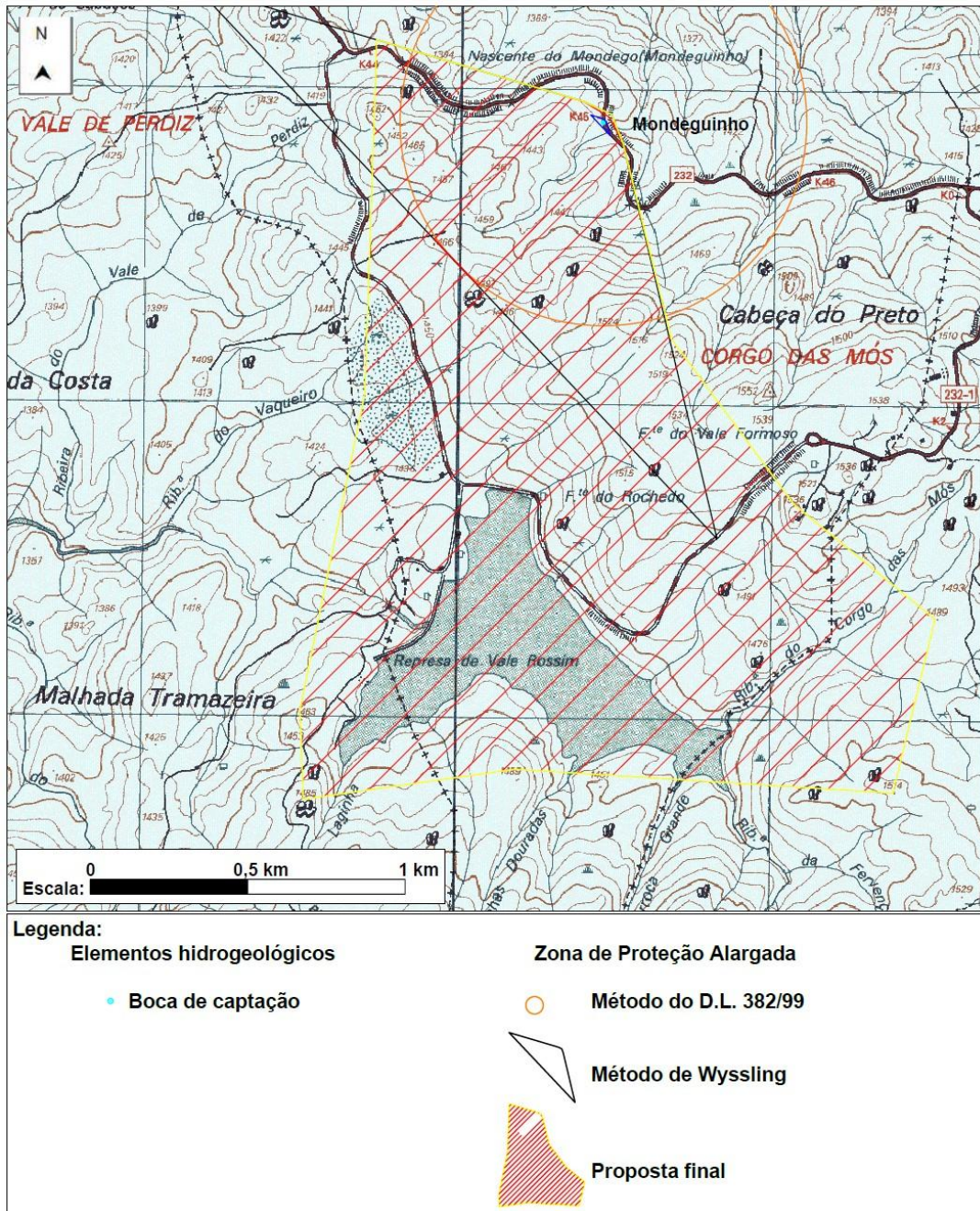


Figura 3.35 - Estabelecimento da ZPA da Nascente do Mondeguinho.

Desde já se oferece dizer, por questões de preservação do património geológico e também como preservação do recurso hídrico subterrâneo, de modo a garantir água de qualidade adequada ao consumo humano, e independentemente do PP vir a ser recalculado, no futuro, com base desde logo, do melhoramento da captação, ou até por aferição de um caudal mais provável, a ZPII deverá ser vedada por uma “rede invisível”, mas que impeça a circulação de pessoas e animais para o seu interior, com os devidos ajustes, na zona imediatamente a jusante da Fonte do Mondeguinho, porque até já tem uma área devidamente impermeabilizada e adequada a visitas para a comunidade.

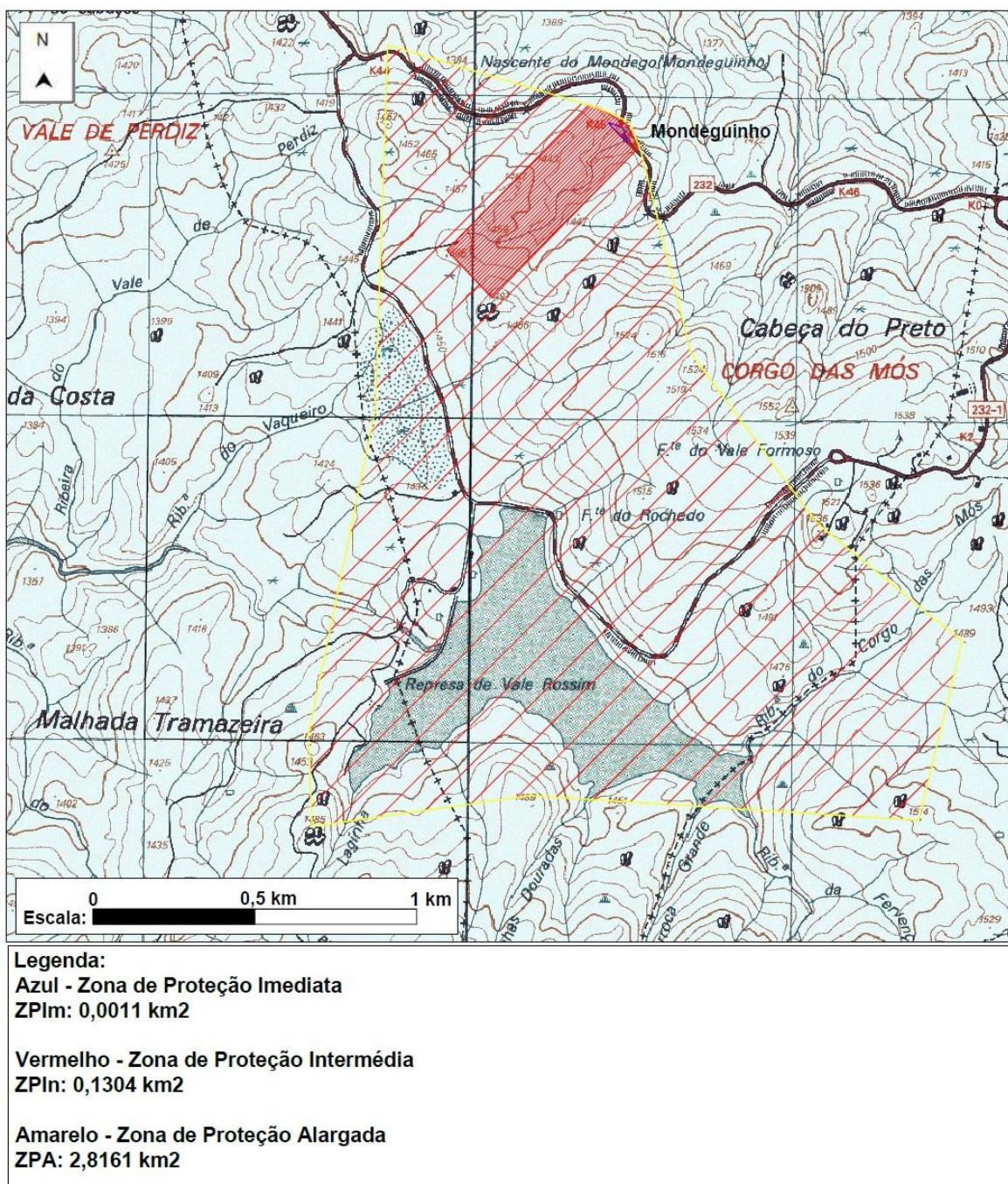


Figura 3.36 – Perímetro de Proteção da Nascente do Mondeguinho, em proposta.

## Capítulo 4

### CONCLUSÕES

Nesta fase da dissertação é importante desde logo referir, que a Fonte da Nascente do Mondeguinho mereceu um estudo muito cuidado durante um ano hidrológico, de modo a possibilitar o registo ao longo do ano, com medições mensais, não só do caudal emergente como da qualidade da sua água a partir de ensaios in situ com vários parâmetros físico-químicos, além de pontualmente se ter pesquisado a sua qualidade em termos químicos e microbiológicos, para auscultar em especial sobre a sua potabilidade.

A média dos caudais registados na Fonte da Nascente do Mondeguinho foi de 0,20 (L/s), com o caudal mínimo e máximo de 0,07 L/s e 0,42 L/s, respetivamente, com o menor valor no mês de setembro e o maior no mês de novembro.

Menciona-se neste ponto, que o caudal provável médio anual, para descarga num ponto da pequena bacia da Nascente do Mondeguinho, é de 0,7 L/S, estimado no decorrer da dissertação, com base em elementos geomorfológicos, geológicos, climáticos, hidrológicos, e outros, nomeadamente a partir do balanço hidrológico sequencial mensal, a partir do *super - havit* hídrico e consequentes recargas subterrâneas. Este caudal é da mesma ordem de grandeza dos caudais registados durante o ano hidrológico 2024/25, no entanto, estes últimos foram efetivamente mais baixos. Tal situação pode-se apontar essencialmente a duas razões: i) a primeira pelo facto de nos últimos anos a disponibilidade hídrica na região ter tendencialmente diminuído, como consequência das alterações climáticas associadas à região; tem-se a noção que o ano 2024/25 foi um ano relativamente seco e quente, em relação ao comum, mas infelizmente por não estarem disponíveis esses dados em tempo real, essa análise não foi realizada no presente estudo; ii) a segunda, atribui-se à qualidade do sistema da captação não ser perfeita, situação que desde logo se percebe por haver fugas de água laterais associadas ao próprio fontanário, admitindo-se que a captação não é totalmente adequada às boas regras da atualidade, entendendo-se que a captação será o resultado de um simples dreno e não muito extenso para o interior do maciço, a partir do tardo do fontanário. A este respeito, menciona-se que não foi possível obter o projeto da captação, admitindo-se que provavelmente nunca terá existido. Assim, nos cenários anteriores, admite-se que, com uma nova captação, construída dentro das boas regras, possibilitará num ano comum, ou de situação média, em termos climáticos, obter um caudal médio de 0,7 L/s ao longo do ano.

Da análise dos parâmetros físico-químicos da água da Nascente do Mondeguinho, obtiveram-se os seguintes valores médios: temperatura - T de 8,7°C, condutividade - C de 22,0 (µs/cm), total de sólidos dissolvidos - TDS de 14,7 (mg/L), pH de 6,35, e potencial

redox - Eh de 36,6 (mV). Afirma-se que pelos resultados obtidos se está perante um recurso relativamente estável no seu quimismo.

Menciona-se ainda que em complemento aos parâmetros físico-químicos anteriores, foi realizada uma análise físico-química detalhada, tendo levado no conjunto às classificações da água da Nascente do Mondeguinho, como:

- água hipossalina, em relação à mineralização total obtida no ensaio de laboratório, com o valor de 19,4 mg/L, e em convergência com os valores de TDS obtidos in situ,
- água branda, tendo-se obtido para a dureza total, um valor de 3,2 mg/L (CaCO<sub>3</sub>),
- água doce, pois obteve-se para o resíduo seco um valor de 15 mg/L,
- água ácida, dado que o valor de pH obtido na análise físico-química de laboratório (pH = 6,0) e nos registos in situ, sempre inferior a 7 (pH entre 6,01 e 6,63),
- bicarbonatada sódica, com base nos elementos químicos iónicos mais representativos, a partir da análise de laboratório, com 3,2 mg/L de Bicarbonato e 4,8 mg/L de Sódio.

Sob o ponto de vista físico-químico merece concluir que os dados agora obtidos são convergentes com os já verificados em outros estudos, como se pode verificar nos resultados de estudos muito detalhados de outros autores sintetizados na Tabela 11 e Figuras 2.29, 2.30 e 2.31, onde aparece a Água da Nascente do Mondeguinho, com o nº 14, muito similar e do mesmo grupo, das águas engarrafadas Serra da Estrela (nº 5 ) e a Água Glaciar (nº6).

Ainda sob o ponto de vista químico, menciona-se que pelos parâmetros pesquisados no estudo atual durante o ano hidrológico 2024/25, e seus resultados, estando abaixo dos limites máximos admissíveis para garantir água potável para consumo humano (D.L.2007c), a água da Nascente do Mondeguinho, quimicamente é adequada para consumo humano. No entanto, pelas pesquisas microbiológicas, a mesma água da Nascente do Mondeguinho revelou-se microbiologicamente imprópria para consumo humano.

Tendo em consideração a importância da fonte em estudo, e em particular a sua exposição pública, com uma afluência frequente à mesma por todos os cidadãos, urge fazer algo, no sentido de garantir a qualidade microbiológica daquela água, na própria fonte. Uma possibilidade premente será impor uma zona de protecção, de modo ao não afluir à zona a montante da mesma, quer por animais selvagens, quer mesmo por pessoas, que devido a situações circunstanciais, por vezes usam e abusam da zona, em substituição de casa de banho.

Assim, naquele sentido, a partir dos estudos hidrogeológicos desenvolvidos, de entre outros, realizou-se o modelo geohidráulico conceptual (Fig.3.31) e com base nos vários

elementos definiu-se o Perímetro de Proteção da Fonte da Nascente do Mondeguinho, constituído por três áreas

- a Zona de Proteção Imediata (ZPIIm),
- a Zona de Proteção Intermédia (ZPIIn), e
- a Zona de Proteção Alargada (ZPA).

A ZPIIm, corresponde a uma área relativamente pequena, muito próxima da captação com desenvolvimento para montante da mesma, ocupando uma área de  $0,0011 \text{ km}^2$  (Fig.3.33). Esta tem como o objetivo principal proteger a zona de descarga do sistema aquífero superficial associado à captação.

A ZPIIn, apresenta um desenvolvimento para montante da anterior, ocupando uma a área total de  $0,1304 \text{ km}^2$ , que de grosso modo corresponde à pequena bacia da Nascente do Mondeguinho (Fig.3.34). Esta, tem como objetivo fundamental preservar globalmente o sistema aquífero que fornece mais diretamente a captação.

A ZPA, com desenvolvimento ainda mais para montante da ZPIIn, envolve uma área global de  $2,8161 \text{ km}^2$ , que potencialmente se entende que contribui para a recarga a médio e longo prazo dos sistemas aquíferos da zona da captação, quer superficiais e outros mais profundos.

Como medida imediata para o futuro, perante a importância da Nascente do Mondeguinho, e suas características constatadas, urge com muita celeridade, que se cumpra a zona de proteção imediata, efetivando-se essa situação, colocando desde logo uma barreira transparente intransponível em situações normais, quer a pessoas quer para animais selvagens de modo a minorar a pressão antrópica do local que é muito vulnerável à contaminação de água subterrânea.

Como uma medida a médio prazo e perfeitamente ao alcance será a construção de uma nova captação de água subterrânea, constituída por um furo semi-horizantal, com entubamento de aço inoxidável do tipo AISI 316, com cimentação no seu espaço anular, nos primeiros cerca de 50m. Devido às eventuais dificuldades de constituir a anterior solução, poder-se-á ter que optar por solução tipo-dreno, com escavação a céu aberto, colocar a captação com características similares à referida anteriormente, e depois repor o terreno de modo a garantir a situação inicial em termos topográficos e outras, pois com o tempo o revestimento vegetal retomará a situação comum do local.

Por fim, acredita-se que com o presente estudo se estabeleceram as bases para que a Fonte da Nascente do Mondeguinho venha a melhorar na sua qualidade em relação às suas funções, quer como lugar singular no panorama turístico local e nacional, associado

ao Parque Natural da Serra da Estrela, quer ainda como geossítio integrado no Estrela Geopark – Património Mundial da UNESCO, contribuindo desse modo para o cumprimento dos pilares fundamentais da “geoconservação e proteção” daquele património geológico.

## BIBLIOGRAFIA

AGE (2025). Estrela Geopark Mundial da UNESCO. Geossítios. Hidrogeológicos. H2 – Nascente do Mondeguinho. Website: <https://www.geoparkestrela.pt/geossitios> (Acedido em 2025).

Almeida Soeiro, C. M. (2009). “Estudos hidrogeoambientais para a implementação de uma nova unidade termal - Caso de estudo da água sulfúrea da fonte Santa de Águas - Penamacor”. Diss. de Mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 86p.

Barata dos Santos, P.M. (2014). “Potencial Hídrico Subterrâneo da Ribeira das Cortes”. Diss. de Mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 88p.

Cardielos, J.P.; Lobo, R.; Peixoto, P.; Mota; Duxbury, N.; Caiado, P. (2016). Mondego: o surdo murmúrio do rio. Em livro: A Água como Património, Experiências de requalificação das cidades com água e das paisagens fluviais. Imprensa da Universidade de Coimbra. Website: [http://dx.doi.org/10.14195/978-989-26-1025-2\\_6](http://dx.doi.org/10.14195/978-989-26-1025-2_6), pp.97-112.

Carvalho, A. H. (1961). Guia de Análise Química das Águas (Potáveis, Minerais e para a Indústria). Editora da Associação de Estudantes do IST, Lisboa, 162p.

ChatGPT (2024). Importância dos hidrogeossítios. Website: <https://openai.com/> (Acedido em 2024).

Coelho Ferreira, P.J. (2023). “Modelação de Sistemas Geohidráulicos Profundos Associados a Fraturas Extensas da Região da Meda”. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 294p.

Costa Brito, F. (2011). “Modelação do escoamento subterrâneo do sector do Ribeiro Frio do sistema aquífero da água da Fonte da Fraga”. Diss. de Mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 171p.

Custódio, E.; Llamas, M. R. (2001). “Hidrologia Subterrânea”, 2ª ed. Ed. Omega, 2 vols.,

2359p.

Davis, S.N. (1969). "Porosity and permeability of natural materials", Academic Press, New York.

DGEG (2024a). Exploração de Águas Minerais Naturais. Tipo de Aproveitamento. Website: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/geologia/recursos-hidrogeologicos/exploracao-de-aguas-minerais-naturais/aguas-minerais-naturais/> (Acedido em 2024).

DGEG (2024b). Exploração de Águas Minerais Naturais. Engarrafamento. Website: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/geologia/recursos-hidrogeologicos/exploracao-de-aguas-minerais-naturais/engarrafamento/> (Acedido em 2024).

DGEG (2024c). Exploração de Águas Minerais Naturais. Termalismo. Website: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/geologia/recursos-hidrogeologicos/exploracao-de-aguas-minerais-naturais/termalismo/> (Acedido em 2024).

DGEG (2024d). Exploração de Águas De Nascente. Website: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/geologia/recursos-hidrogeologicos/exploracao-de-aguas-de-nascente/aguas-de-nascente/> (Acedido em 2024).

DGEG (2025). Caldas de S. Paulo. Website: <https://hidrogenoma.dgeg.gov.pt/aqua-mineral-natural/caldas-de-s-paulo> (Acedido em 2025).

DGT (2024). Carta do uso e ocupação do solo para o cidadão de Portugal. Website: <https://smos.dgterritorio.gov.pt/coscid/> (Acedido em 2024).

DL (1990a). Decreto-lei n.º 84/90 de 16 de março, "Aprova o regulamento de exploração das águas de nascente", Diário da República n.º 63/1990, série I de 1990-03-16, pp.1242-1244.

DL (1990b). Decreto-lei n.º 85/90 de 16 de março, "Aprova o regulamento das águas minerindustriais", Diário da República n.º 63/1990, série I de 1990-03-16, pp.1244-1254.

DL (1990c). Decreto-lei n.º 86/90 de 16 de março, "Aprova o regulamento das águas minerais", Diário da República n.º 63/1990, série I de 1990-03-16, pp.1254-1264.

DL (1990d). Decreto-lei n.º 87/90 de 16 de março, “Aprova o regulamento dos recursos geotérmicos”, Diário da República n.º 63/1990, série I de 1990-03-16, pp.1264-1273.

DL (1990e). Decreto-lei n.º 90/90, de 16 de março, “Disciplina o regime geral de revelação e aproveitamento dos recursos geológicos”, Diário da República n.º 63/1990, série I de 1990-03-16, pp.1273-1290.

DL (1997). Decreto-Lei n.º 235/97 de 3 de Setembro, “Transpõe para o direito interno a Directiva n.º 91/676/CEE, do Conselho, de 12 de Dezembro de 1991, relativa à protecção das águas contra a poluição causada por nitratos de origem agrícola”, Diário da República n.º 203/1997, Série I-A de 1997-09-03, pp.4640 – 4644.

DL (1998). Decreto-lei n.º 236/98, de 1 de agosto, “Estabelece normas, critérios e objetivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos. Revoga o Decreto-Lei n.º 74/90, de 7 de Março”, Diário da República n.º 176/1998, Série I-A de 1998-08-01, 47p.

DL (1999). Decreto-lei n.º 382/99, de 22 de setembro: “Estabelece perímetros de proteção para captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público”, Diário da República n.º 222/1999, Série I-A de 1999-09-22, 5p.

DL (2005). Decreto-lei n.º 58/2005, de 29 de dezembro, “Aprova a Lei da Água, transpondo para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro, e estabelecendo as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas”, Diário da República n.º 249/2005, Série I-A de 2005-12-29, 31p.

DL (2006). Decreto-lei n.º 77/2006, de 30 de março, “Complementa a transposição da Diretiva n.º 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro, que estabelece um quadro de ação comunitária no domínio da política da água, em desenvolvimento do regime fixado na Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro”, Diário da República n.º 64/2006, Série I-A de 2006-03-30, 24p.

DL (2007a). Decreto-lei n.º 226-A/2007, de 31 de maio, “Estabelece o regime da utilização dos recursos hídricos, Diário da República n.º 105/2007, 2º Suplemento, Série I de 2007-05-31”, Diário da República n.º 105/2007, 2º Suplemento, Série I de 2007-05-31, 26p.

DL (2007b). Decreto-lei n.º 235/1997, de 3 de setembro, “Transpõe para o direito interno a Diretiva n.º 91/676/CEE, do Conselho, de 12 de Dezembro de 1991, relativa à proteção das águas contra a poluição causada por nitratos de origem agrícola”, Diário da República n.º 203/1997, Série I-A de 1997-09-03, 5p.

DL (2007c). Decreto Lei n.º 306/07. Diário da República 1ª Série – n.º 164, de 27 de Agosto de 2007; pp.5747-5765.

DL (2008). Decreto-lei n.º 166/2008, de 22 de agosto, “Aprova o Regime Jurídico da Reserva Ecológica Nacional e revoga o Decreto-Lei n.º 93/90, de 19 de Março”, Diário da República n.º 162/2008, Série I de 2008-08-22, 20p.

DL (2008). Decreto-lei n.º 208/2008, de 28 de outubro, “Estabelece o regime de proteção das águas subterrâneas contra a poluição e deterioração, transpondo para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2006/118/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 12 de Dezembro, relativa à proteção da água subterrânea contra a poluição e deterioração”, Diário da República n.º 209/2008, Série I de 2008-10-28, 7p.

DL (2012). Portaria n.º 259/2012 de 28 de agosto, “Estabelece o programa de ação para as zonas vulneráveis de Portugal continental”, Diário da República n.º 119/2015, Série I de 2015-06-22, pp.4772 – 4795.

DL (2015). Lei n.º 54/2015 de 22 de junho, “Bases do regime jurídico da revelação e do aproveitamento dos recursos geológicos existentes no território nacional, incluindo os localizados no espaço marítimo nacional”, Diário da República n.º 119/2015, Série I de 2015-06-22, pp.4296 – 4308.

DL (2017). Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro, “Altera o regime da qualidade da água para consumo humano, transpondo as Diretivas nos 2013/51/EURATOM e 2015/1787”, Diário da República n.º 235/2017, Série I de 2017-12-07, 22p.

Enes, P.S. O.M. (2011). “Contribuição para o conhecimento hidrogeológico da freguesia de Creixomil no concelho de Barcelos”. Diss. de Mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 124p.

Espinha Marques, J. (2007). “Contribuição para o conhecimento da hidrogeologia da Região do Parque Natural da Serra da Estrela”, Tese de Doutoramento, Universidade do Porto, Porto, 378p.

Fernandes, M. M. (2016). "Mecânica dos Solos: Conceitos e Princípios Fundamentais". 4. Ed. Porto: FEUP Edições, 463p.

Ferreira Gomes, L.M. (2011a). "Ocorrência das Águas Subterrâneas", Capítulo 2.1, Geotecnia Ambiental. Universidade da Beira Interior, Covilhã, 26p.

Ferreira Gomes, L.M. (2011b). "Tipos de Águas Subterrâneas e seus usos", Capítulo 2.2, Geotecnia Ambiental. Universidade da Beira Interior, Covilhã, 69p.

Ferreira Gomes, L.M. (2021). "Protection perimeter of a new mineral water in an essentially urban environment: the case of the São Tiago Medical Spa (Portugal)". IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering; 1203, 022054, 8p. doi:10.1088/1757-899X/1203/2/022054.

Ferreira, H.A. (1970). "O clima de Portugal, normas climatológicas do continente, Açores e Madeira correspondentes a 1931-1960". Lisboa: Serviço Meteorológico Nacional, 207p.

Fetter, C.W. (2001). "Applied Hydrogeology", (4 ed.). Prentice Hall, 598p.

Freeze, A. R.; Cherry, J. A., (2017). "Águas subterrâneas". Tradução de: "Groundwater". Traduzido por Everton de Oliveira et al. Editora de São Paulo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 581p.

Gomes da Costa, T. C. (2018). "Modelo geohidráulico das águas sulfúreas da Bacia do Rio Dão". Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 135p.

Gonçalves Belgas, A. (2019). "Contribuição para um Geoparque na Região da Serra da Estrela com recurso a SIG". Diss. de Mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 90p.

Google Earth (2024). Coordenadas do Mondeguinho (Nascente do Rio Mondego). Website: [https://earth.google.com/web/search/Nascente+do+mondeguinho/@40.4146505,-7.5878793,1414.30147713a,625.12789438d,35y,0h,0t,0r/data=CoUBGlcSUQokMHhkM2NkODQ3Yjk3ZmExZDk6MHg1NGQ4NjcyNzlkZWlwNDFhGZFIgEQTNURAIUP7\\_Qf9WR7AKhdOYXNjZW50ZSBkbyBtb25kZWd1aW5obxgCIAEiJgokCXtCX46MQURAEVgKebPsO](https://earth.google.com/web/search/Nascente+do+mondeguinho/@40.4146505,-7.5878793,1414.30147713a,625.12789438d,35y,0h,0t,0r/data=CoUBGlcSUQokMHhkM2NkODQ3Yjk3ZmExZDk6MHg1NGQ4NjcyNzlkZWlwNDFhGZFIgEQTNURAIUP7_Qf9WR7AKhdOYXNjZW50ZSBkbyBtb25kZWd1aW5obxgCIAEiJgokCXtCX46MQURAEVgKebPsO)

0RAGb98IHInLB7Albu9F\_6jmx7AQgIIAUICCABKDQj\_8BEAA (Acedido em 2024).

Google Earth (2025). “Nascente do Mondeguinho”. Website: [https://earth.google.com/web/@40.41457548,-7.58777845,1415.37288282a,266.40789303d,35y,-0.54379409h,5.01193217t,360r/data=CgRCAggBQgIIAEoNCP\\_wEQAA](https://earth.google.com/web/@40.41457548,-7.58777845,1415.37288282a,266.40789303d,35y,-0.54379409h,5.01193217t,360r/data=CgRCAggBQgIIAEoNCP_wEQAA) (Acedido em 2025).

Google Maps (2024). Mapa da Europa. Website: [https://www.google.com/maps/place/Europa/@47.5529806,1.0347459,4z/data=!4m6!3m5!1s0x46ed8886cfadda85:0x72ef99e6b3fcf079!8m2!3d54.5259614!4d15.2551187!16zL20vMDJqOXo?entry=ttu&q\\_ep=EgoyMDI1MDIxOC4wIKXMDSoJLDEwMjExNDUzSAFQAw%3D%3D](https://www.google.com/maps/place/Europa/@47.5529806,1.0347459,4z/data=!4m6!3m5!1s0x46ed8886cfadda85:0x72ef99e6b3fcf079!8m2!3d54.5259614!4d15.2551187!16zL20vMDJqOXo?entry=ttu&q_ep=EgoyMDI1MDIxOC4wIKXMDSoJLDEwMjExNDUzSAFQAw%3D%3D) (Acedido em 2024).

Hipólito, J. R.; Vaz, Á. C. (2017). “Hidrologia e Recursos Hídricos”. 3. ed. Lisboa: IST Press. 814p.

INE (2021a). Instituto Nacional de Estatística. Densidade populacional (N.º/km<sup>2</sup>) por Local de residência à data dos Censos (2021) (NUTS - 2013). Website: <https://tabulador.ine.pt/indicador/?id=0011613> (Acedido em 2025).

INE (2021b). Instituto Nacional de Estatística. População residente (N.º) por local de residência à data dos Censos (2021) (NUTS - 2013). Densidade populacional (habitantes/km<sup>2</sup>) (2022). Website: <https://tabulador.ine.pt/indicador/?id=0011609> (Acedido em 2025).

INE (2023). Instituto Nacional de Estatística. Gabinete de Estratégia e Estudos. Distrito: Guarda. População residente (nº) 2023. Densidade populacional (habitantes / km<sup>2</sup>) 2022. Website: [https://www.gee.gov.pt/pt/lista-publicacoes/estatisticas-regionais/distritos-concelhos/guarda/3124-distrito-da-guarda/file?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.gee.gov.pt/pt/lista-publicacoes/estatisticas-regionais/distritos-concelhos/guarda/3124-distrito-da-guarda/file?utm_source=chatgpt.com) (Acedido em 2025).

Lencastre, A. (2004). “Hidráulica Fluvial e Agrícola”. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). 446p.

Lencastre, A.; Franco, F. M. (2006). “Lições de hidrologia”. 3ª edição.: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Caparica. 451p.

Magalhães Carvalho, A. M. (2008). “Contribuição para o Conhecimento da Hidropedologia e da Hidrogeologia Ambiental na Região do Parque Natural da Serra da Estrela (Sector de Nave de Santo António-Torre)”. Tese de Mestrado. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto.

Magalhães Carvalho, A. M. (2013). “Hidrogeologia Ambiental da região do Parque Natural da Serra da Estrela (setor de Seia-Torre-Covilhã): uma abordagem multidisciplinar”. Tese de Doutoramento. Universidade do Porto e Universidade de Aveiro, 266p.

Mendes, E. (2006). “Perímetros de protecção de captações de água subterrânea para consumo humano em zonas de montanha - Caso de estudo da cidade da Covilhã”. Diss. de Mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 122p.

Mendes, E. (2010). “Modelos geohidráulicos em meios fracturados de rochas graníticas - Caso de estudo do aquífero da Fonte da Fraga - Serra da Gardunha”. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 195 p.

Mendes, E.; Ferreira Gomes, L.M. and Condesso de Melo, M.T. (2009). “A methodology for definition of groundwater protection zones in highland areas - Case study in the granitic massif of Serra da Estrela (Portugal)”. Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe. Vol. 34, pp.165-178. ISSN:0213-4497. Website: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-68149183031&partnerID=MN8TOARS>

Município de Gouveia (2024). Freguesias. Mapa da Cidade. Website: <http://www.cm-gouveia.pt/freguesias/> (Acedido em 2024).

NOAA (2021). Khan Academy. Ciclo da água. Website: <https://pt.khanacademy.org/science/5-ano/matria-e-energia-a-gua-na-terra/a-agua-na-terra/a/the-water-cycle-article> (Acedido em 2024).

Palace Hotel & Spa. (2025). Termas de São Miguel. Website: <https://termasdesaomiguel.com/hotel/palace-hotel-spa-termas-de-sao-miguel/> (Acedido em 2025).

Pilar, L., Peinador Fernandes A.; e Tavares Rocha, A. (1967). Notícia explicativa. Carta Geológica de Portugal, Escala 1/50000, Folha 17-D, Gouveia, 1ª Ed., Serviços Geológicos de Portugal. Website: [https://geoportal.lneg.pt/pt/dados\\_abertos/cartografia\\_geologica/cgp50k/17-D](https://geoportal.lneg.pt/pt/dados_abertos/cartografia_geologica/cgp50k/17-D) (Acedido em 2024).

Piper, A. M. (1944). "A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. Transactions, American Geophysical Union", v. 25, n. 6, 914p-928p. Website: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1944TrAGU..25..914P/abstract> (Acedido em 2025).

Plácido, E. P. (2007). "Qualidade da água mineral do campo geotérmico e hidromineral de São Pedro do Sul". Diss. de Mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 238p.

Progeo (2023). "Inventário Nacional do Património Geológico". Website: <https://geossitios.progeo.pt/> (Acedido em 2024).

Quintela, A. C. (1996). "Hidrologia e recursos hídricos", Instituto Superior Técnico, Lisboa. 256p.

Quintela, V.M.A. (2009). "Estudos geohidráulicos, ambientais e de ocupação urbana na área da Estância Termal e Climatológica de Unhais da Serra". Mestrado (antigo) em Geotecnia Ambiental, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 146p.

Ribeiro, L. (2003). "Recursos Hídricos Subterrâneos de Portugal Continental". Lisboa: Instituto da Água. 114p.

Rodrigues, J. D.; Ferreira, J. P. L.; Dos Santos, J. B.; Miguéns, N. (1989). "Caracterização Sumária Dos Recursos Hídricos Subterrâneos De Portugal". Lisboa: Sector de Artes Gráficas - LNEC, 1990. 31p.

Santos Marcos, T. M. (2016). “Contribuição para o conhecimento do potencial geotérmico do distrito da Guarda”. Diss. de Mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 136p.

SCE (2024). Cartas topográficas militares, folhas 201, 202, 212, 213, 223, 224, 234, 235, 245, 246 à escala 1:25000.

SGP (1992). Carta geológica de Portugal, escala 1/500 000. Folha Norte. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa. Website: [https://geoportal.lneg.pt/pt/dados\\_abertos/cartografia\\_geologica/cgp500k/folhanorte/](https://geoportal.lneg.pt/pt/dados_abertos/cartografia_geologica/cgp500k/folhanorte/) (Acedido em 2025).

SNIAMB (2024). Mapas da evapotranspiração real, da insolação, da precipitação anual média e da temperatura média do ar em Portugal Continental. Website: <https://sniamb.apambiente.pt/content/geo-visualizador> (Acedido em 2024).

SNIRH (2024). Dados de Base. Estação meteorológica de Penhas Douradas. Precipitação mensal média. Website: <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=2&idItem=1> (Acedido em 2024).

Teixeira, C.; Brito de Carvalho, L.H.; Peres, A.M.; Santos, J.P.; Barros, R.F; (1966). Carta Geológica de Portugal, Escala 1/50000, Folha 17-D, Gouveia, 1ª Ed., Serviços Geológicos de Portugal. Website: [https://geoportal.lneg.pt/pt/dados\\_abertos/cartografia\\_geologica/cgp50k/17-D](https://geoportal.lneg.pt/pt/dados_abertos/cartografia_geologica/cgp50k/17-D) (Acedido em 2024).

Termas Centro (2025a). Termas de Manteigas Website: <https://www.termascentro.pt/pt/termas/distrito-da-guarda/termas-de-manteigas> (Acedido em 2025).

Termas Centro (2025b). Termas de Unhais da Serra. Website: <https://www.termascentro.pt/pt/galeria/estancias-termas/termas-de-unhais-da-serra> (Acedido em 2025).

Torgal, Carla Gomes Lourenço (2024). “Uma nova perspetiva sobre as águas minerais naturais de Portugal continental” - Tese de Doutoramento em Geologia, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Website: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas->

setoriais/geologia/recursos-hidrogeologicos/divulgacao-documentacao/publicacoes/

(Acedido em 2025).

Wikipédia Enciclopédia livre. (2024a). Distrito da Guarda. Website:  
[https://pt.wikipedia.org/wiki/Distrito da Guarda](https://pt.wikipedia.org/wiki/Distrito_da_Guarda) (acedido em 2024).

Wikipédia Enciclopédia livre. (2024b). Gouveia (Portugal). Website:  
[https://pt.wikipedia.org/wiki/Gouveia \(Portugal\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Gouveia_(Portugal)) (acedido em 2024).

Wikipédia Enciclopédia livre. (2024c). Piper diagram. Website:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Piper diagram](https://en.wikipedia.org/wiki/Piper_diagram) (Acedido em 2024).

# Anexos

**Anexo I - Relatório das análises físico-químicas e microbiológicas da água da Nascente do Mondeguinho.**

# RELATÓRIO ANALÍTICO

---

## ANÁLISE DE ÁGUA

Responsável	<b>Pedro Rodrigues</b>		
Data	05 de dezembro de 2024	Ref <sup>o</sup>	837/24 e 838/24

294DIRC.009.02

**1. IDENTIFICAÇÃO DO CLIENTE**

Cliente: Carlos Eduardo da Cunha Aragão NIF: 2 1 0 5 1 5 9 2 9  
 Morada: Avenida da Estação nº 18  
 Localidade: Guarda Código Postal: 6 3 0 0 - 8 3 2  
 Boletim nº.: 0 0 8 3 8 Orçamento nº.: 0 0 3 9 6

**2. DADOS DA AMOSTRA**

Tipo de amostra: Água Local da colheita:  
 Responsável pela colheita: Cliente  
 Data da colheita: D M A Hora da colheita: H M  
 Data da receção: 2 4 0 9 2 0 2 4 Hora de receção: 1 5 : 5 0  
D M A H M

**3. RESULTADOS**

Análise (método analítico)	Resultados	Unidades	Observações
Aparência (Método Interno)	Cristalina	-	
Cor (Std Mth. 2120B)	< 5	NTU	
Cheiro (Std Mth. 2150B)	N.D.	-	
Depósito (Método Interno)	N.D.	-	
pH (Potenciometria)	6,0	Escala de Sorensen	
Alcalinidade (Std Mth. 2320B)	7,3	mg/L CaCO <sub>3</sub>	
Resíduo seco 180°C (Método Interno)	15	mg/L	
Dureza (Método Interno)	3,2	mg/L CaCO <sub>3</sub>	
Condutividade eléctrica (NP EN 27888)	37,9	µS/cm a 20° C	
Resistividade (Método Interno)	0,03	MΩ.cm a 25°C	
Silica (Método Interno)	6,3	mg/L SiO <sub>2</sub>	
Cloretos (ISO 10304)	3,9	mg/L Cl	
Nitratos (ISO 10304)	1,2	mg/L NO <sub>3</sub>	
Sulfatos (ISO 10304)	0,8	mg/L SO <sub>2</sub>	
Nitritos (ISO 10304)	0,3	mg/L NO <sub>2</sub>	
Fluoretos (ISO 10304)	< 0,1	mg/L F	
Bicarbonatos (Std Mth. 2320B)	3,2	mg/L CaCO <sub>3</sub>	
Sódio (ISO 9964-1)	4,8	mg/L Na	
Potássio (ISO 9964-2)	0,7	mg/L K	
Cálcio (ISO 7980)	0,9	mg/L Ca	
Magnésio (ISO 7980)	0,4	mg/L Mg	
Mineralização total (Método Interno)	19,4	mg/L	
Ferro total (Método Interno)	3,7	µg/L Fe	
Oxidabilidade (Método Interno)	0,7	mg/L O <sub>2</sub>	
Azoto amoniacal (Método Interno)	0,03	mg/L NH <sub>4</sub> -N	

Nota: N.D. - Não Detetado

**4. O RESPONSÁVEL DO LABORATÓRIO**

Data: 0 5 1 2 2 0 2 4  
D M A  
 Assinado por: Ricardo Miguel Martins Rodrigues  
 Data: 2024.12.05 12:42:04+00'00'  
 Assinado por: Pedro Miguel dos Santos Melo Rodrigues  
 Data: 2024.12.05 22:35:21 +0000  
Técnico do Laboratório Responsável do Laboratório

